



2-5 June 2021

GLOBAL CONFERENCE on ENGINEERING RESEARCH

Conference Proceedings

ISBN: 978-625-44365-9-8

PROCEEDINGS BOOK

Global Conference on Engineering Research (GLOBCER'21)

02-05 June 2021



GLOBAL CONFERENCE on ENGINEERING RESEARCH

02-05 June 2021

Editors

Assoc. Prof. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN

Dr. Mustafa Cem ALDAĞ

ISBN: 978-625-44365-9-8

Bandirma Onyedi Eylul University



GLOBAL CONFERENCE on ENGINEERING RESEARCH

02-05 June 2021

Organization Board

Assoc. Prof. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN

Dr. Mustafa Cem ALDAĞ

Scientific Board

Prof. Dr. Ahmed Kadhim Hussein
Prof. Dr. Alexandre Jean Rene SERRES
Prof. Dr. Degan ZHANG
Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ
Prof. Dr. Goran Putnik
Prof. Dr. Hui CHEN
Prof. Dr. İbrahim DEVELİ
Prof. Dr. Jianjun WANG
Prof. Dr. Jue-Sam CHOU
Prof. Dr. Ke-Lin DU
Prof. Dr. Lianggui LIU
Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
Prof. Dr. Metin ASLAN
Prof. Dr. Miladin Stefanović
Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR
Prof. Dr. Osman YILDIZ
Prof. Dr. Paweł LULA
Prof. Dr. Recep ÇALIN
Prof. Dr. Zitaun CAI
Assist. Prof. Dr. Abdul QAYYUM

Assoc. Prof. Dr. Abdullah YEŞİL
Assoc. Prof. Dr. Bülent BÜYÜK
Assoc. Prof. Dr. Emre ÇELİK
Assoc. Prof. Dr. Fahmina TARANUM
Assoc. Prof. Dr. Filmor MURILLO
Assoc. Prof. Dr. H.Oktay ERKOL
Assoc. Prof. Dr. Halit ÖZTEKİN
Assoc. Prof. Dr. Héctor F. MIGALLON
Assoc. Prof. Dr. M. Hanefi CALP
Assoc. Prof. Dr. Muharrem PUL
Assoc. Prof. Dr. Neelamadhab PADHY
Assoc. Prof. Dr. Ning CAI
Assoc. Prof. Dr. Onur ÜLKER
Assoc. Prof. Dr. Oye Nathaniel DAVID
Assoc. Prof. Dr. R. Gökhan TÜRECİ
Assoc. Prof. Dr. Sasmita MOHAPATRA
Assoc. Prof. Dr. Selim ÖNCÜ
Assoc. Prof. Dr. Serhat DUMAN
Assoc. Prof. Dr. Ziyodulla YUSUPOV
Assist. Prof. Dr. Abdullah GÖKYILDIRIM
Assist. Prof. Dr. Abdollah Doosti-AREF
Assist. Prof. Dr. Adem DALCALI

Assist. Prof. Dr. Akif KARAFİL
Assist. Prof. Dr. Alex Michailovic ASAVIN
Assist. Prof. Dr. Alican KARACA
Assist. Prof. Dr. Asit Kumar GAIN
Assist. Prof. Dr. Behnaz HASSANSHAHİ
Assist. Prof. Dr. Charles Z. LIU
Assist. Prof. Dr. Diego Real Mañez
Assist. Prof. Dr. Evren İŞEN
Assist. Prof. Dr. Harun ÖZBAY
Assist. Prof. Dr. Hayri YAMAN
Assist. Prof. Dr. Igor Simplicio MOKEM FOKOU
Assist. Prof. Dr. İlyas ÖZER
Assist. Prof. Dr. Kamarulzaman KAMARUDIN
Assist. Prof. Dr. M.M. KARMRUZZAMAN
Assist. Prof. Dr. Mahmut ÜNVER
Assist. Prof. Dr. Marlon Mauricio Hernandez CELY
Assist. Prof. Dr. Maxim A. DULEBENETS
Assist. Prof. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN
Assist. Prof. Dr. Minh Trong HOANG
Assist. Prof. Dr. Mohammed Hassan DIGHIRI

Assist. Prof. Dr. Mustafa EKER
Assist. Prof. Dr. Onursal ÇETİN
Assist. Prof. Dr. Osman ÇAMLİBEL
Assist. Prof. Dr. Radu Emanuil PETRUSE
Assist. Prof. Dr. Rahim DEHKHARGHANİ
Assist. Prof. Dr. Semih Korkmaz
Assist. Prof. Dr. Serhat Berat EFE
Assist. Prof. Dr. Taşkın EROL
Assist. Prof. Dr. Tingting ZHAO
Assist. Prof. Dr. Yifang WEI
Assist. Prof. Dr. Yuan TIAN
Assist. Prof. Dr. Farooque Hassan KUMBHAR
Assist. Prof. Dr. Hasan ŞAHİN
Assist. Prof. Dr. Mingxiong ZHAO
Assist. Prof. Dr. Quang Ngoc NGUYEN
Assist. Prof. Dr. Vandana ROY
Assist. Prof. Dr. Alican KARACA
Assist. Prof. Dr. Abdullah ELEN
Assist. Prof. Dr. Volodymyr Gennadievich
SKOBELEV

Table of Contents

A comparative Study of Control Techniques for Tracking Aircraft Pitch Angle	11
Simulation of Pressure and Water Quality in A Water Distribution Network: A Case Study	26
Calibration of the Highway Safety Manual for Cold Region Environments.....	39
Analysis of the Gate-To-Channel Capacitance Variation for the Tri-Gate Nanowire Junctionless Transistors	54
TLBO ile Ahşap Çerçeve Yapıların Yangın Durumunda Optimum Maliyeti	61
Effect Of Production Parameters On Elastic Modulus And Flexural Strength Of Alumina Ceramics	75
Classification of Power Quality Signals Using Random Forest and Discrete Wavelet Transform	81
Improving the Efficiency of Thermochemical Processes With Shot Peening.....	86
Effect of Similarity Functions in Case Based Reasoning Models for Conceptual Cost Estimation	95
Raya Etki Eden Gerilmeler ve Ray Kusurları.....	102
Evaluation of Fresh State and Mechanical Properties of Cementitious Grouts.....	117
Determination of The Effect of Fiber Orientation on Buckling Behavior of Glass Fiber Reinforced Polymer Composites	128
Low-Cost Portable Sensor Information and Image Acquisition System	134
Renewable Energy Sources in Terms of Environmental Sustainability.....	145
Application of Artificial Neural Networks (ANN) in the Prediction of PM10 Concentration in Ostim, Ankara	155
Design of Voltage-Mode PID Controller Based on Current Follower Transconductance Amplifiers	165
Dönme Tabanlı Yatay Toprak Basıncı.....	179
Marmara Adası Enerji Nakil Hattının Modellenmesi	186
Raspberry Pi Based Object Detection and Drawing	194
Enerji Verimliliğinde Yalın Üretim Tekniklerinin Bayes Ağları Yöntemiyle İncelenmesi.....	202
Deep Learning Based Mask Detector for Coronavirus.....	212
Seydisuyu Havzasında CBS Destekli Peyzaj Envanter ve Karakter Analizi Çalışması	222
Pürüzlü Yüzey Üzerinde Granüler Malzemelerin Duruş Açılarının Slump Deneyi ile Belirlenmesi	233
Inpainting for Digital Images of Paintings.....	245

Cennetyatağı Mahallesi’ndeki Zeminlerin (Edremit-Balıkesir, Türkiye) Sıvılaşma Potansiyeli	250
Akçay Mahallesi Batı Kısımının (Balıkesir- Türkiye) Zeminlerinin Jeolojik-Jeoteknik Özelliklerinin Mekânsal Dağılımı.....	265
Hastanelerde Enerji Verimliliğinin Arttırılması İçin Genel Yaklaşımlar	280
Reliability Assessment of Aircraft Hybrid Electric Propulsion Architecture Candidates.....	286
Covid-19 Etkisi ile Sanayilerde Değişim.....	292
Simulation of Airborne and UAV Remote Sensing Data with Computer Graphics Tools.....	300
Development of Neural Network Based on Deep Reinforcement Learning to Compensate for Damaged Actuator of a Planar Robot	310
Döner Kanatlı İHA’lar için Şarj Pedi Tasarımı ve Geliştirilmesi.....	318
Automated Diagnostic Tool for Hypertension Using Deep Learning Model	327
Reduction of Losses due to Wear on Conveyor Support Roller	342
Sustainable Development in Palestine: Aqaba Green School Case Study.....	352
Experimental Determination of Mechanical Properties of Medium Density Balsa Wood	364
Atık Cam ve Obsidiyen Kullanılarak Yapay Taş Üretimi.....	373
Artificial Intelligence and Machine Learning as a Process Optimization driver under Industry 4.0 framework, the role of the people in the process	391
Artificial Intelligence Based Optimization Approach for Container Loading Problem	400
Evaluation of Link Prediction Methods on Temporal Networks	412
Investigation of Absorption Performance of Frequency Selective Surfaces in Simulation Programs	421
Experimental Study of a Hydraulic Jump Controlled by A Thin Sill in A Non-Rectangular Channel with Triangular Convergent.....	428
New Generation Production Systems: Cobots.....	443
Optimization for Insulation Thickness of Electric Combi Boiler Tank	453
Impact of Supplier Selection Criteria on Final Product Quality: A Structural Equation Modeling Analysis.....	465
Development and Implementation of Ordering Process and Sampling Plan for Supplied Products	480
Doğal Taşlarda Vakumlu Blok Sağlamlaştırma (Bohçalama) Yöntemi.....	493
Investigation of The Effect of Vermiculite (Yıldızeli/Sivas) Addition on The Properties of Ceramic Brick	503

CFD Study for NO _x Formation in Turbulent Jet Flames with Syngas Fuel	515
Net Load Forecasting Model for a Power System Grid with Wind and Solar Power Penetration 525	
Investigation Of Coating Applications to Increase Life in Sheet Metal Forming Molds	532
Measurement of Area Moment of Inertia From Micrographs by Image Processing	537
An Application on Identification with The Face Recognition System	548
ANN Based Removal for Salt and Pepper Noise.....	558
Design and Control of Single Axis Attitude Control System	567
A Comparison of Diameter Distribution Models for Uneven-aged Kazdağı Fir Stands in Kastamonu Region of Turkey	578
A Review Paper: The Dynamics, Kinematics, Design and Control Of Satellite Simulators With Spherical Air Bearing.....	591
Sensör Tabanlı Solunum Apnesi Algılama Yöntemi.....	609
Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Farklı Tasarım Seçimlerinin Güç Kaybı ve Maliyet Analizleri	619
Dynamic Green Light Duration Adjustment for Intelligent Traffic Light Systems	632
Şebeke Bağlantılı 113,92 kWp Fotovoltaik Santralin Modellenmesi ve Performans Analizi	640
Comparative Analysis of Offline Recommendation Systems with Machine	649
Learning Algorithms	649
Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Bulanık- Kesir Dereceli PID ile Alan Yönlendirmeli Hız Kontrolü	660
Fabrication, Characterization and Wear Properties of Mullite Reinforced Al ₂ O ₃ -Doped ZrO ₂ Ceramic Composites	673
İzmir İlinin Hayvansal Kaynaklı Atıklarının Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma	687
The Current State of Smart Packaging Systems in The Food Industry	695
Effect of Distribution Selection to Frequency Analyses: A Case Study	709
A Novel Approach to Develop High Performance Recycled Poly (Butylene Terephthalate): Chain Extension Of Recycled Poly (Butylene Terephthalate)	710
Performance Evaluation of Recent Excavatability Classifications Based on the GSI Parameter	712

Determination of Suitable Biological Treatment Method for the City of Bartın	713
Blood Products Supply Chain Design: A Case Study	714
Keban-Batı Fırat (Cu-Mo)-Pb-Zn Skarn Yatağının Nadir Toprak Elementleri Jeokimyası (D Türkiye): Mineralizasyon Koşullarının Tayininde Nadir Toprak Elementlerinin İndikatör Olarak Kullanımı	715
Synthesis, Characterization And Electrochemical Properties Of Poly (Phenoxy-Imine) Containing Naphthalene Unit	717
Gama Işınım Şiddet Fonksiyonlarının (g,n) Reaksiyonlarının Tesir Kesitleri Üzerindeki Rolü	718
Investigation of Electrical Conductivity and Flexural Strength of Different Graphene Oxide Additive Mortars	720
Toughening Method of Glass Fiber Reinforced Thermoset Matrix Composite Materials: Thermoplastic Addition	721
Bulanık Mantık Denetleyici ile Maksimum Güç Noktası Takibinin Gerçekleştirilmesi	722
Koagülasyon ile Olgun Sızıntı Suyundan Amonyak Gideriminde Proses Optimizasyonu	726
Kavun Çekirdeği ile Zenginleştirilmiş Eriştelerin Fizikokimyasal Özellikleri ve Aminoasit Kompozisyonunun İncelenmesi.....	728
Brix and CO ₂ Precision Mixing In Carbonated Drink Mixer Machines	730
Yeni Tür Katyonik Esaslı Kopolimerik Hidrojellerin Sentezi ve Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Gideriminde Kullanılması.....	732
Kür Edilmiş Et Ürünlerinde Biyojen Amin Oluşumu ve Nitrozaminler.....	736
Electrochemical Deposition and Characterization of Sn-rich Sn-Zn Thin Films	738
Development of Molecularly Imprinted Cryogels For Antibiotics Removing from Environmental Water	743
Preparation of the Low-Temperature Sintering Porcelain Tile Composition by Addition B ₂ O ₃ and MgO Components	744
Investigation of Blanking Process with Negative Clearance	745
Risk Assessments for Migration of Cesium And Strontium Solidified Wastes In Glass And Ceramic Matrices In Radioactive Waste Repository	746
Development Of Functional Fruit Products by Vacuum Impregnation Technology	747
Comparison of The Effects of Temperature And Solar Irradiation On Performance Of Monocrystalline, Polycrystalline And Thin-Film PV Panels.....	748

Sliding Mode Observer-based Estimator for Epidemic SIR Model with Generalized Incidence Function: Application to Covid-19	750
Study of New Scintillator Materials Based on Lanthanide Halides in the Field of Non-Destructive Testing	753
Memristor Based 2 dof PID Controller Design and Speed Control Test in DC Motor	754
Molecularly Imprinted QCM Sensor for Real- Time Anti-Depressant Detection	756
Geomechanical Assessments and Estimation of Bearing Capacity of the Buyukyenice Dam Site (Balıkesir, Turkey)	757
Uygulama Katmanında Desen Arama Tabanlı Güvenlik Duvarı.....	758
Molecular Docking Prediction of Metamizole on CA15-3 Tumor Marker	760
Solution Approach for Exam Scheduling Problem Under Pandemic Conditions.....	762
Application of HIDROTURK 1-D Hydrodynamic Sub-Model To Nif Stream.....	763
Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Bazı Verim Unsurlarının Belirlenmesi	764
Virtual Reality Applications in Logistics 4.0.....	766
Zonguldak İli Hava Kirleticisi Verilerinin Facebook Prophet Algoritması ile Mevsimselliğinin Saptanması ve 12 Aylık Tahminlerinin Yapılması	767
Biocompatibility of High Entropy Alloys Based on FeMoTaTiZr AND MoTaNbTiZr	769
Soğuk Bükme Çelik Profilin EN-15512 Kapsamında Deneylerinin Yapılarak Etkili Alanının Bulunması	772
Development of a Mobile Application with Gamification Approach for Contact Center	774
Effect of Vegetable Fiber's Nature on Mechanical Performance and Transfer Properties of Mortars Containing Metakaolin.....	775
Kumaş Boya Prosesinde Soğutma Suyunun, Soğutma ve Boyama Amaçlı Tekrar Kullanılması	776
Classification of Radio-Frequency Signals from Drones with Deep Learning Models.....	778
Gender Recognition over Medical Record Using BiLSTM A Case Study: Mesothelioma's Disease	780

A comparative Study of Control Techniques for Tracking Aircraft Pitch Angle

Jawad Ali^{1*}, Nadir Mehmood²

*engr.jawadmarwat@gmail.com

^{1,2}Department of Electrical Engineering, CUST, Islamabad, Pakistan

Abstract Control of high-performance low-cost unmanned air vehicles involves the problem of incomplete measurements and imperfections in models which leads to challenging control design frameworks. Aircraft pitch control is fundamental to improve the performance of unmanned aerial vehicles. This paper is aimed to present a comparative study of the control techniques involved to track the aircraft pitch angle. The aircraft pitch control system is designed for Linear model and the effect of various parameters is studied based on the overall performance of various controllers in Flight control system (FCS). In order to reach our objective, four different prevalent control techniques are presented in this work which includes the Proportional Integral (PI) Control technique, Linear Quadratic regulator (LQR) control technique, Input Output Feedback linearization (IOFL) control technique and Sliding Mode Control (SMC) technique are analyzed to track an aircraft pitch angle. The performance of aforementioned controllers are investigated and analyzed based on tracking response in order to identify the best control strategy for aircraft pitch angle. The simulation results are carried out in Matlab/Simulink environment by using the system's linearized model. The outcome of this work suggests that sliding mode control technique provides high precision regarding tracking of pitch angle and leads the performance contest by providing fast dynamic response and achieve the steady state quickly with zero steady state error.

Keywords: *Input output feedback linearization technique, Linear quadratic regulator, Overshoot, Proportional integral control, Rise time, Settling time, Sliding mode control, Variable structure control.*

I. INTRODUCTION

An aircraft dynamical system contains certain nonlinearities and constraints which include maximum possible load factor, surface deflections and angle of attack. By considering such limitations, the design of aircraft control system is becoming a popular and increasingly important subject due to ever increased complexity and demand for high performance. The design of Flight controller for a piloted aircraft has become more complex over a past few years. PID control being a simplest control technique, is considered one of the most important closed loop controller that is used in all most every industrial application [1][2].

The simplest design structure, high transient and steady state control performance makes it an attractive choice for the vendors to make and advantage. However, this control technique comes up with a limitation where it requires tuning of the closed loop control gains when a disturbance is introduced in the system. As PID gains remain constant throughout the process, the need for optimally tuned gains puts a limitation for the use of PID control which makes them unable to control system parameters with zero steady state error in the presence of disturbance.

In 2000, a mathematical model was presented in order to develop an automatic control technique that controls the aircraft landing by using fuzzy logic control [3]. Initially, the presented model was non-linear, however later it was developed as linearized model that enabled to implement the linear control mechanism. Afterwards, a mathematical model for aircraft motion had been developed which described the aircraft motion but its major limitation involved the assumption which include certain constraints over the range of aircraft motion.

By the end of 2011, another mathematical model was presented that described the translational and rotational aircraft motion in 3D space by considering the dynamics of missile and aircraft system [4]. The mathematical model of an aircraft system presents highly nonlinear and complicated dynamics mainly including a set of six coupled dynamic equations. Based on certain assumptions, the nonlinear dynamic model is decoupled and linearized into various lateral and longitudinal equations. Furthermore, an aircraft control techniques can be divided into two groups which include i) lateral control and ii) longitudinal control [4]. Where pitch angle control problem is a longitudinal control technique and roll and yaw control presents the lateral control of an aircraft system.

An aircraft pitch angle is defined as a rotation of aircraft along the lateral axis. It can be mathematically calculated as the angle of direction of speed in vertical plane where the elevator of aircraft act as an actuator where it is used to control the aircraft pitch angle. The linearized model of an aircraft basically exhibits three state variables.

Being longitudinal control, the aircraft pitch angle linearized model is considered to develop the control techniques for the tracking of aircraft pitch angle. Pitch angle control has remained an attractive research topic over past few decades where many researchers tried to design different control algorithms in order to develop the pitch, roll and yaw angle control of an aircraft system. These control parameters deliberately allow us to stabilize the closed loop control of aircraft pitch model. The control of these parameters is a significant and challenging topic for present and future research [5][6][7].

As PID control is most simple technique that can be used for the control of aircraft Pitch, however it is quite sensitive towards disturbances and parametric uncertainties which puts a limit towards its wide spread use. The LQR control technique provides poor control performance when used in practical scenario in the presence of disturbances. The performance of adaptive control is also greatly affected when large variations are introduced in plant dynamics.

Sliding mode control is a non-linear control technique which does not depend on parametric uncertainties and provides fast and robust performance even in the presence of large disturbances and variations in system models [8]. Therefore this paper uses SMC to obtain the results with desired dynamic and steady state responses.

This paper uses simulation of the aircraft linearized pitch model with PI control, LQR and IOFL in Matlab/Simulink environment. Whereas the design of the control law for SMC and simulations of the model in MATLAB are done by using Matlab's S-function tool. Sliding Mode Control technique is a nonlinear control technique which is suitable for systems with nonlinear dynamics where parameters of the system continue to vary due to uncertainties. SMC is observed to give a better control performance than PI, LQR, IOFL.

The paper structure is organized as follows; Section II presents a model of aircraft pitch control system whereas section III provides its open loop step response. Section IV is dedicated towards

the discussion of proposed control schemes. The results are provided to verify the control techniques in section V and finally the conclusion is presented in section VI.

II. AIRCRAFT PITCH CONTROL MODELING

Under this section, the mathematical model for pitch control of an aircraft is developed. In order to avoid the complexity in analysis we made certain assumptions, based on these assumptions the linearized longitudinal model is obtained [9]. The Fig. 1 (b) shows the general overview of the aircraft pitch angle whereas Fig. 1 (a) represent the aircraft pitch angle control in two dimensional plane. Pitch angle is angle between horizontal axis and vertical axis of the plane.

For the sake of simplicity, the basic assumption involves that the aircraft speed, altitude and velocity are constant. Thus all the forces acting on aircraft are balancing each other along horizontal and vertical axis therefore the speed of pitch angle is not changed and remains constant. The equations governing the motion of an aircraft are a very complicated set of six nonlinear coupled differential equations. However, under certain assumptions they can be decoupled and linearized into longitudinal and lateral equations. The linearized model of an aircraft longitudinal motion is presented in (1).

$$\begin{aligned}\dot{\alpha} &= -0.313\alpha + 56.7q + 0.032\sigma \\ \dot{q} &= -0.0139\alpha - 0.426q + 0.0203\sigma \\ \dot{\theta} &= 56.7q\end{aligned}\tag{1}$$

α = Angle of attack

σ = Elevator deflection angle

q = Pitch rate

θ = Pitch angle

In above dynamics α is input and θ is output of the system. The transfer function can be written as expressed by (2) [10], [11] and [12].

$$\frac{\theta(s)}{\alpha(s)} = \frac{1.151s+0.1774}{s^3+0.739s^2+0.921s}\tag{2}$$

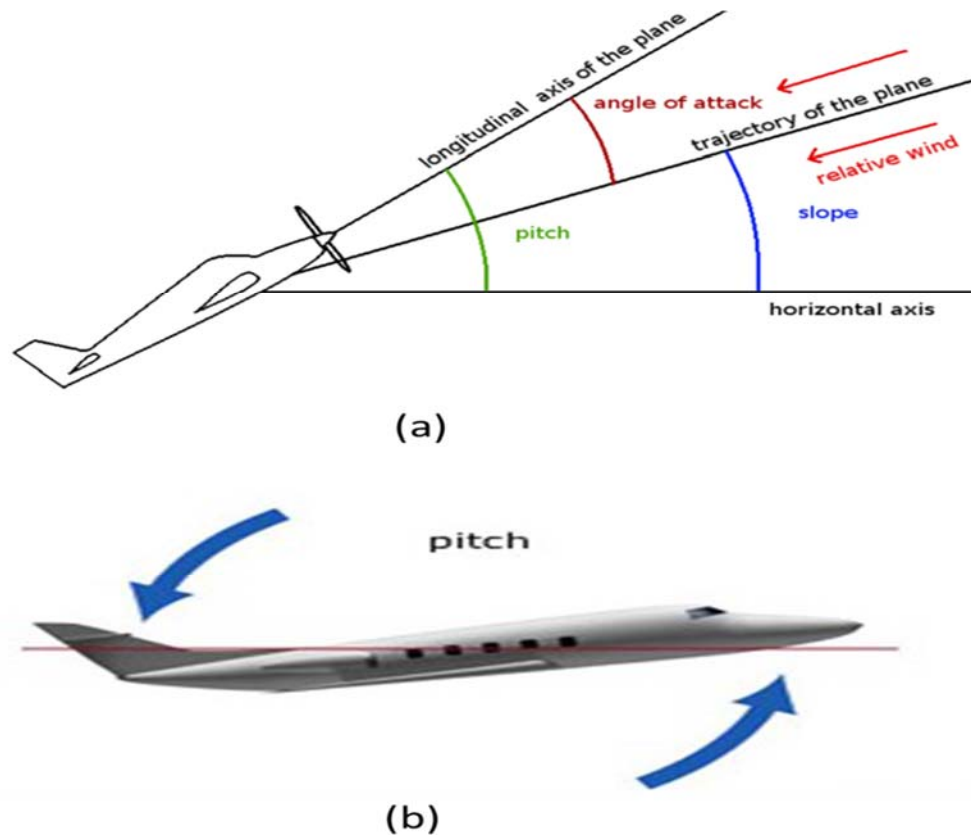


Fig. 1. Pitch Control System (a) Detailed view of aircraft pitch angle in two dimension (b) overall view of aircraft pitch angle

III. OPEN LOOP RESPONSE OF AN AIRCRAFT PITCH ANGLE CONTROL

In this section the open loop response of the system is obtained, where the system output has no influence on control input of the system. Without having the knowledge of the system output, open loop response can be used to predict the stability of the entire system model. Therefore the unit step input is used for the aircraft system to analyze the open loop stability of the system. It can be seen from Fig. 2 that the pitch angle is neither decreasing nor attaining a constant value, in fact it is following an open loop step response with unstable and ever increasing behavior.

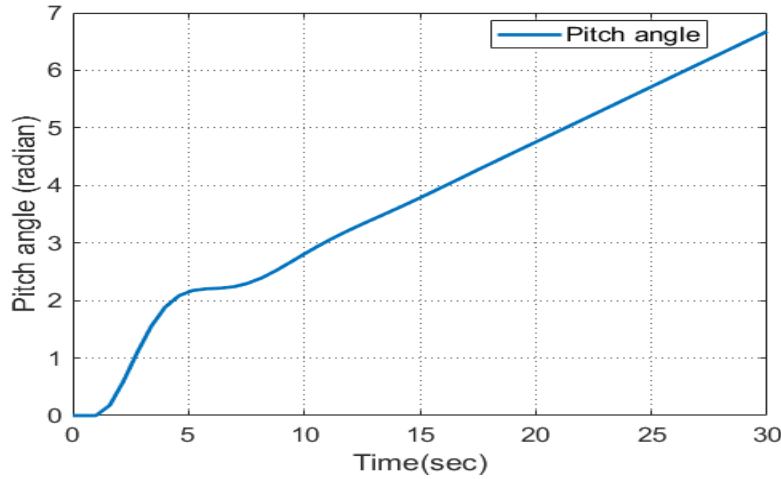


Fig. 2. Open loop step response of an aircraft pitch angle control

IV. CONTROL TECHNIQUES

In this section we have described four basic control techniques in detail, which include PI control, LQR control, IOFL control and SMC control technique for the tracking of the aircraft pitch angle. The results are evaluated, on the basis of results the most suitable control technique is investigated among all previously discussed control techniques which can provide fast and stable steady state and dynamic responses.

A. Proportional Integral (PI) Control

The PI control is the most simple and basic control that is used for the control of models with linear dynamics. These attributes make it an attractive choice for vendors to utilize it in almost every industrial and commercial application [13]. The desired performance of the PI controller can be achieved by proper controller proportional K_p and integral K_i gains [14]. The variations in the parameter values due to disturbances and uncertainties cause the variation in output response. The mathematical expression of a PI control is written in (3).

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) E(s) \quad (3)$$

K_p and K_i are the gains of the proportional part and integral part of the PI controller respectively. The tuning of gains in PI controller enables to achieve the optimal values of proportional and integral gains in order to achieve the desired closed loop response. The values of proportional and integral gains are tuned optimally by using the Matlab/Simulink design tool. Therefore the best possible response is achieved for the tracking of pitch angle tracking.

B. LQR Control

The LQR technique is modern control technique in control system research and widely used in literature [15][16][17]. Its design structure involves the investigation of optimal control by minimizing the cost function;

$$J = \frac{1}{2} \int (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (4)$$

Where $Q >$ and $R >$ are positive semi definite matrices, the control law can be defined as;

$$u = -kx \quad (5)$$

For reference tracking problem;

$$u = -k(x - x_d) \quad (6)$$

$$u = -R^{-1} B^T W (x - x_d)$$

Where W is positive definite matrix, calculate W using riccati equation;

$$A^T W + W A - W B R^{-1} B^T W + Q = 0 \quad (7)$$

The weighted matrices can be written as;

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & q_n \end{bmatrix}_{n \times n} \quad R = \begin{bmatrix} r_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & r_n \end{bmatrix}_{n \times n}$$

Weight-age matrices used in LQR control are presented as follows;

$$Q = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 \\ 0 & 200 & 0 \\ 0 & 0 & 300 \end{bmatrix} \\ R = [1]$$

C. Input Output Feedback Linearization (IOFL)

In this section the proposed model of aircraft pitch angle is controlled by using input output feedback linearization technique. In this scheme the controller takes information from the states and generates the control signal by using the state information. As this technique provides an explicit relationship between input control signal and output control signal therefore it differentiates the output until control input occurs to obtain the relationship between input and output. If y is the output than the system states are expressed as following;

$$y = \theta \\ \dot{y} = \dot{\theta}$$

$$\begin{aligned}\dot{y} &= 56.7q \\ \ddot{y} &= \ddot{\theta} \\ \ddot{y} &= 56.7\dot{q} \\ \ddot{y} &= -788\alpha - 24.15q + 1.15\sigma\end{aligned}\tag{8}$$

The set of equations presented by (8) shows the state feed-back model of aircraft pitch angle where \ddot{y} is an equivalent of σ which is the output of the system, the system has degree three and whereas the relative degree of the system is two.

$$\ddot{y} = f + b\sigma\tag{9}$$

Here $f = -0.788\sigma - 24.15q$ and $b = 1.15$,

Define $\sigma = \frac{1}{b}(-f + v)$.

So;

$$\ddot{y} = v\tag{10}$$

Here $v = -k_1\dot{e} - k_2e$,

Define $e = ref - \theta$ and $\dot{e} = -\dot{\theta}$

So finally the control input becomes:

$$\sigma = \frac{1}{b}(-f + v)\tag{11}$$

D. Sliding Mode Control (SMC)

- 1) Sliding Surface: SMC is the robust and powerful technique for the systems with nonlinearities and parametric uncertainties [18]. It is often used in the worst for example; in the presence of the bounded disturbances, it tackles parametric variations with in both bounds i.e. upper bound and lower bound. The precise dynamics of the model and the controller can be easily used to get implemented in order to achieve the optimal performance of pitch angle tracking and system stability even without having the knowledge of exact system parameters. For pitch angle tracking we define an error surface, our goal is to achieve the zero tracking error so that the pitch angle tracks the reference input reference command. The sliding surface is designed as follows;

$$s = ce + \dot{e} + \int edt\tag{12}$$

- 2) Control Input: The aircraft pitch angle model is a system with third degree and it is also in non regular form. Our control objective is to design the pitch angle tracking system using the sliding mode control. Pitch angle is taken as output and by using the above mentioned control law, the SMC technique based on Output Feedback Linearization law can be written as follows;

$$\sigma = \frac{1}{b}(-f + v) + M\text{sign}(s) + ks\tag{13}$$

The sign function is a discontinuous function and it is described as follows;

$$\text{sign}(s) = \begin{cases} M & \text{for } n > 0 \\ 0 & \text{for } n = 0 \\ -M & \text{for } n < 0 \end{cases}$$

- 3) Internal Dynamics: The stability of internal dynamics is very important for the stability of entire system [19]. The aircraft pitch angle control system has relative degree of order 2 employing one zero in its the transfer function in left half plane, so the internal dynamics is stable.
- 4) Variable structure control (VSC): Sliding mode control is also known as variable structure control. In practical scenario, the perfect uncertainties rejection and reference command tracking is required therefore SMC technique becomes the appropriate choice to achieve the fast and stable system response. Variable Structure Control is type of a nonlinear and discontinuous feedback control where the control input switches rapidly between two states and alter its state with very high switching frequency as the states cross the discontinuous surface.

V. IMPLEMENTATION AND RESULTS

This section is dedicated towards the implementation of all the foregoing control techniques on the pitch angle aircraft model expressed in (1) that we have discussed in the previous sections. The subsequent section provides the simulation results with PI control, LQR control, IOFL control and then finally SMC control. All the results are discussed in detail with their dynamic and steady state responses in their respective sections.

- A. PI controller: Fig. 3 shows the simulation results using PI controller, pitch angle track the reference input command with the time delay of 22 seconds, the response is damped however renders high overshoots. High overshoots are not desirous in practical situations and the system may wear and tear out due to successive overshoots. Fig. 3 (a) shows the reference step following whereas Fig. 3 (b) shows the steady state error offered by PI controller.
- B. LQR: Fig. 4 shows the simulation results of aircraft pitch angle control model by using LQR control technique. The pitch angle is tracked according to the reference command input with the maximum time delay of 13 seconds. LQR technique provides better dynamic response then PI with no overshoots. Fig. 4 (a) shows pitch angle reference command tracking whereas Fig. 4 (b) shows the steady state error encountered with respective control technique.
- C. Input Output Feedback Linearization (IOFL): Fig. 5 shows the simulation results using IOFL controller, pitch angle tracks the reference input with the maximum time delay of 6seconds. From Fig. 5 (a), it can be seen the response of pitch angle control with IOFL is better than PI and LQR control techniques. It provides well damped, smooth response with no overshoots and peaks which is highly desirous. But as we want fast dynamic response it is faster than PI and LQR as well. Fig. 5 (b) shows the steady state error with IOFL control technique.

D. Sliding Mode Control: Fig. 6 shows the simulation results using SMC control technique, pitch angle tracks the reference input with the maximum time delay of 3 seconds. Fig. 6 (a) shows the aircraft pitch angle reference command tracking by using sliding mode control whereas Fig. 6 shows the steady state error encompassed during the tracking of pitch angle by SMC. The results show that SMC provides well damped, smooth and fast dynamic response with no overshoots and stable steady state performance. SMC performs better than all of the foregoing presented control techniques in this section.

Fig. 7 shows comparison of all the techniques that are developed and implemented to control the aircraft pitch angle. It can be analyzed that PI being the simplest and old control technique provides the poor control as compared to LQR, IOFL and SMC.

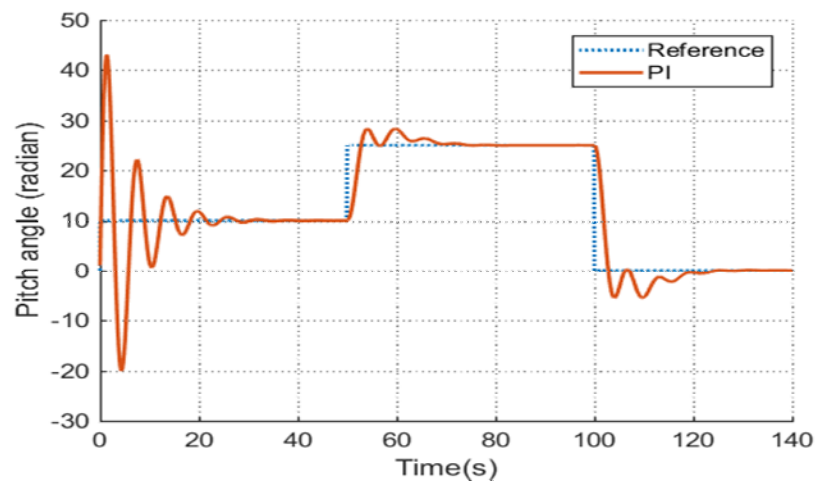
LQR performs better than PI but its performance is limited because it offers more time delay as compared to IOFL technique while tracking the reference command. IOFL technique provides better dynamic response than PI and LQR control system however the time lag it offers in tracking the reference command is still high.

Sliding Mode Control gives best performance in comparison to that of PI, LQR and IOFL techniques. The dynamic response is well damped with least time delay. The system incorporates smooth and overshoots free reference command tracking. This result shows that SMC provides fast dynamics along with highly stable closed loop system with zero steady state error.

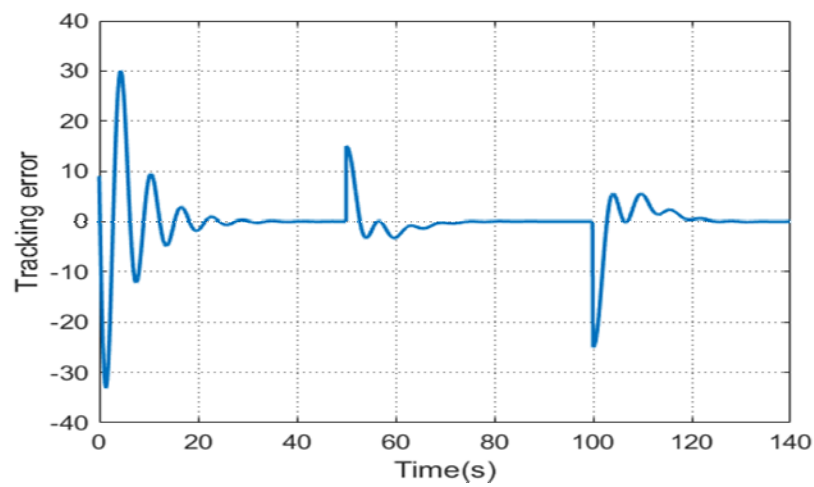
Table. I presents the comparative analysis of the dynamic response of aircraft pitch angle control with PI, LQR, IOFL and SMC technique and provides evident results that SMC is a better control technique which renders fast and stable dynamic response.

VI. CONCLUSION

This paper presented the development and investigation of pitch control system using PI, LQR, IOFL and SMC. Pitch control system of an aircraft is a system that requires a controller to maintain angles at the desired angle value. The developed control schemes have been implemented within Matlab/Simulink environment where the performance is evaluated on the basis of time domain specifications. Based on the simulation outcomes, this work provides evident results which support SMC being a fast dynamical control technique as compared to all of the prevalent and previously existing control techniques including PI, LQR and IOFL.

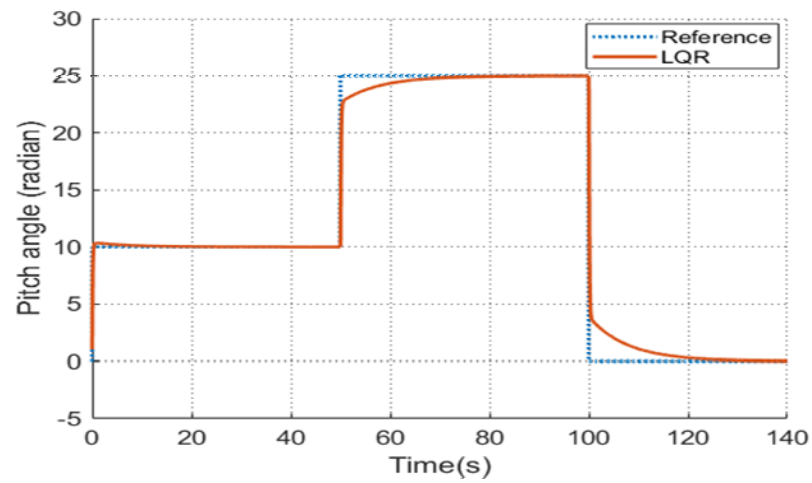


(a)

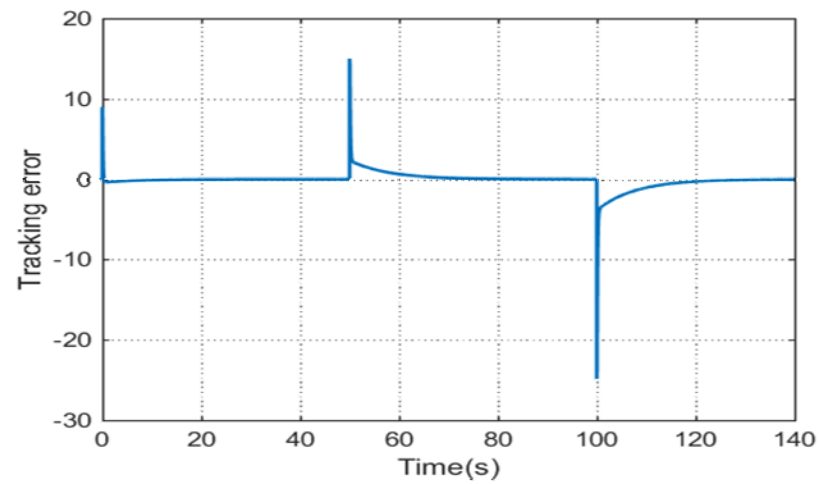


(b)

Fig. 3. Pitch angle control using Proportional Integral (PI) Controller, (a) Pitch angle tracking, (b) Tracking error.

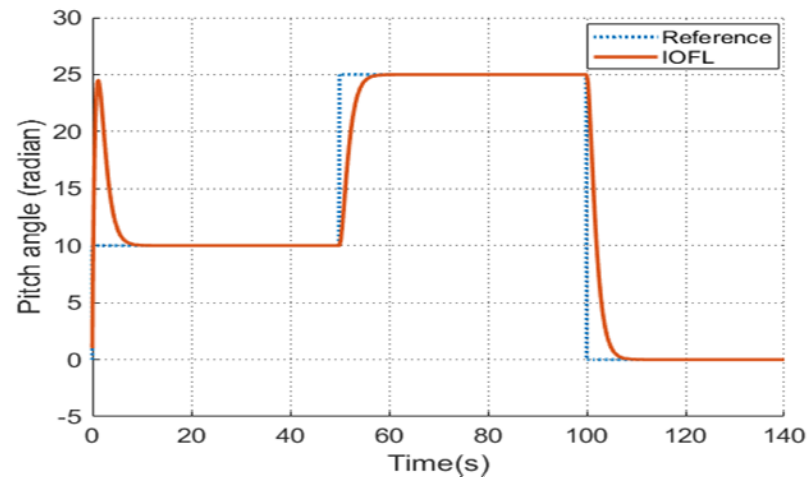


(a)

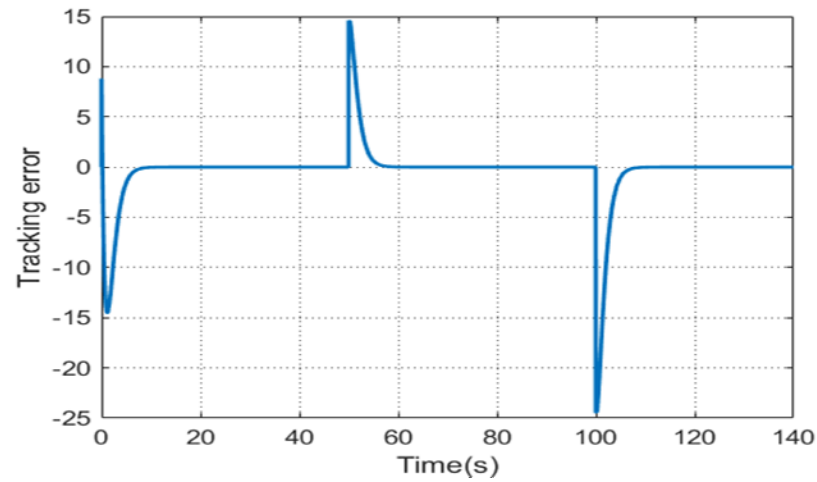


(b)

Fig. 4. Pitch angle control using Linear Quadratic Regulator (LQR) Controller, (a) Pitch angle tracking, (b) Tracking error.



(a)



(b)

Fig. 5. Pitch angle control using Input Output Feedback Linearization (IOFL) Controller, (a) Pitch angle tracking, (b) Tracking error.

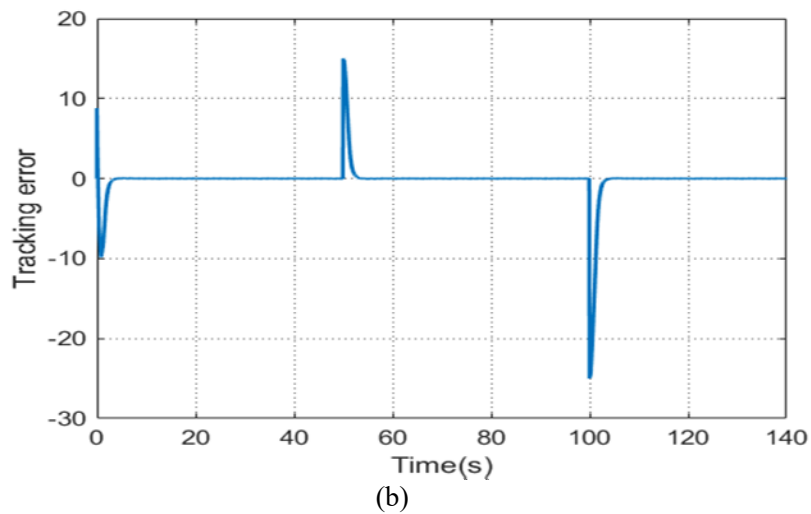
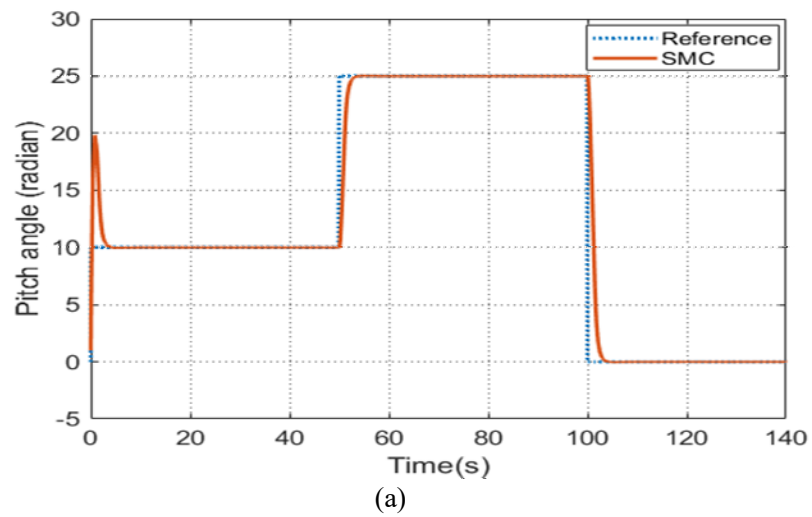


Fig. 6. Pitch angle control using Input Sliding Mode Controller (SMC), (a) Pitch angle tracking, (b) Tracking error.

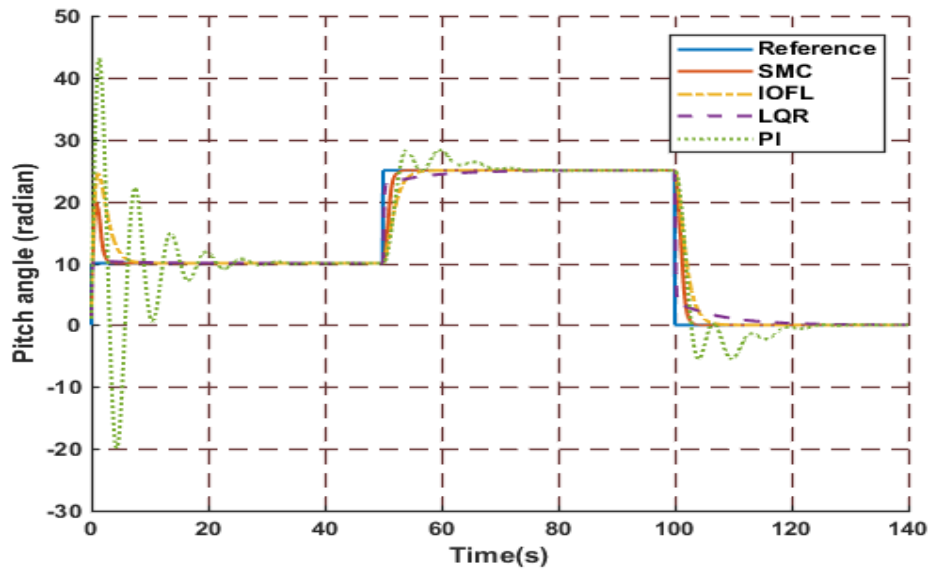


Fig. 7. Open loop step response of an aircraft pitch angle control

TABLE I
COMPARISON OF PROPOSED CONTROLLERS FOR AIRCRAFT PITCH CONTROL USING LINEAR MODEL

Comparison of Proposed Strategies					
Parameters		Controllers			
		PI	LQR	IOFL	SMC
1	Settling Time	21 seconds	18 seconds	7 seconds	3 seconds
2	Rise Time	3.5 seconds	9 seconds	5 seconds	2 seconds
3	Steady State Error	0	0	0	0

TABLE II
THE PARAMETERS OF SMC, LQR, IOFL, PI

Controller Parameters					
Parameters		Values			
		PI	LQR	IOFL	SMC
1	SMC	$k_1 = 5$	$k_2 = 4$	$M = 5$	$k = 1$
2	LQR	$k_1 = 9$	$k_2 = 575$	$k_3 = 55$	
3	IOFL	$k_1 = 5$	$k_2 = 2$		
4	PI	$k_p = 3$	$k_i = 0.5$		

REFERENCES

- [1] H. Meneses, O. Arrieta, F. Padula, R. Vilanova, and A. Visioli, "PI/PID control design based on a fractional-order model for the process," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 1, pp. 976–981, 2019.
- [2] R. P. Borase, D. Maghade, S. Sondkar, and S. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *International Journal of Dynamics and Control*, pp. 1–10, 2020.
- [3] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," in *Proceedings of the institution of electrical engineers*, vol. 121, pp. 1585–1588, IET, 1974.
- [4] R. C. Nelson et al., *Flight stability and automatic control*, vol. 2. WCB/McGraw Hill New York, 1998.
- [5] N. Wahid and N. Hassan, "Self-tuning fuzzy PID controller design for aircraft pitch control," in *2012 Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation*, pp. 19–24, IEEE, 2012.
- [6] N. Wahid, M. F. Rahmat, and K. Jusoff, "Comparative assesment using LQR and fuzzy logic controller for a pitch control system," *European Journal of Scientific Research*, vol. 42, no. 2, pp. 184–194, 2010.
- [7] A. Torabi, A. A. Ahari, A. Karsaz, and S. H. Kazemi, "Intelligent pitch controller identification and design," *Journal of mathematics and computer science*, pp. 113–127, 2014.
- [8] O. Mofid and S. Mobayen, "Adaptive sliding mode control for finite-time stability of quadrotor UAVs with parametric uncertainties," *ISA transactions*, vol. 72, pp. 1–14, 2018.
- [9] J. Jiang and M. S. Kamel, "Pitch control of an aircraft with aggregated reinforcement learning algorithms," in *2007 International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 41–46, IEEE, 2007.
- [10] I. S. Hothi, J. R. Stoackley, and S. J. Stoackley, "Aircraft," May 7 2013. US Patent 8,434,710.
- [11] J. H. Blakelock, *Automatic control of aircraft and missiles*. John Wiley and Sons, 1991.
- [12] A. Kisabo, F. A. Agboola, C. Oshoku, M. Adetoro, and A. Funmilayo, "Pitch control of an aircraft using artificial intelligence," *Journal of Scientific Research and Reports*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2012.
- [13] G. C. Goodwin, S. F. Graebe, M. E. Salgado, et al., *Control system design*, vol. 240. Prentice Hall New Jersey, 2001.
- [14] M. S. Saad, H. Jamaluddin, and I. Z. Darus, "PID controller tuning using evolutionary algorithms," *Wseas transactions on Systems and Control*, vol. 7, no. 4, pp. 139–149, 2012.
- [15] B. D. Anderson and J. B. Moore, *Optimal control: linear quadratic methods*. Courier Corporation, 2007.
- [16] S. Franko, "LQR based trajectory control of full envelope, autonomous helicopter," in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, vol. 1, pp. 351–356, 2009.
- [17] E. Kuantama, I. Tarca, and R. Tarca, "Feedback linearization LQR control for quadcopter position tracking," in *2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pp. 204–209, IEEE, 2018.
- [18] S. Vaidyanathan and C.-H. Lien, *Applications of sliding mode control in science and engineering*, vol. 709. Springer, 2017.
- [19] H. K. Khalil, *High-gain observers in nonlinear feedback control*. SIAM, 2017.

Simulation of Pressure and Water Quality in A Water Distribution Network: A Case Study

M. Kherouf*,¹, R. Mansouri

* kherouf.mazouz@univ-guelma.dz, ORCID: 0000-0003-0405-6274

^{1,2} *Department of civil engineering and hydraulic, Civil engineering and hydraulics laboratory, University of 8 May 1945, Guelma, Algeria.*

Abstract: Protecting and maintaining water distributions systems is crucial to ensuring high quality drinking water. Distribution systems consisting of pipes, pumps, valves, storage tanks, reservoirs, meters, fittings, and other hydraulic appurtenances.

The main problem in the operation of water distribution systems is the pressure deficit resulting from events such as losses due to leaks and explosions and the loss of hydraulic capacity due to the deterioration of ageing water pipes. This article examines the hydraulic behavior and water quality of a selected water distribution network in the new city of Guelma by using EPANET software. The EPANET modeling software, developed by the US Environmental Protection Agency, enables the hydraulic and quality behavior of a water distribution network to be simulated on the basis of its parameters

The system was simulated under a variety of hydraulic conditions, including a loss of hydraulic capacity with the age of the pipes and the presence of 50% of the leaks in the network under varying time conditions using extended period simulation models. The results show that the increase in pipe roughness with age resulted in a decrease in pressure at the end of the system, particularly during peak hours. It also led to an increase in the rate of chlorine decomposition. Leaks in the system significantly affect the pressure, resulting in a pressure deficit at certain points in the system.

In this study, the following conclusions can be drawn:

- The increase in pipe roughness with the age of the pipes led to a significant decrease in pressure loads at the end of the network during peak hours. As the population grows and per capita water demand increases, the likelihood of low water pressure in water supply systems will increase.
- A leak in the network leads to a waste of water and energy. The presence of a 50% leakage rate has led to a lack of pressure at some points in the network.
- The distribution of chlorine concentration in the network is affected by hydraulic conditions. Increased pipe roughness due to aging of the pipes has resulted in an increase in the rate of chlorine degradation.

Keywords: *Simulation, Hydraulic performance, Leakage, Water distribution network, Water quality.*

I. INTRODUCTION

Water distribution systems provide adequate water needs for a variety of uses, including domestic, commercial and industrial. They must meet the demands at each node at all times and at a sufficient pressure head. However, the main challenge in the operation of water distribution systems today is pressure shortages resulting from events such as leakage and burst pipes, as well as the loss of hydraulic capacity due to the deterioration of aging water mains. These conditions affect the hydraulic performance of the system and water quality. Thus, it is necessary to consider the effect of these conditions on the hydraulic performance and water quality in these water distribution systems.

1.1. Leaks in water distribution systems

Leaks in water distribution systems are a well-documented problem that affects both customers and suppliers. According to the World Bank [1], the "real losses" from these systems globally amount to more than 32 billion m³ of treated water per year - an estimated global average of 20%. In Algeria, the leakage rate of water systems is estimated at about 50% of the water supplied [2].

Existing models attempt to model leakage from water distribution systems using the Orifice Flow Equation (Eq. 1), which suggests that leakage is proportional to the square root of the pressure head in the pipe.

$$q = C_d A_o \sqrt{2gh} \quad (1)$$

Here, q is the flow rate, C_d is the discharge coefficient, A_o is the orifice area (leakage area), g is the gravitational acceleration and h is the pressure head. In practice, a more general leakage Eq (2) is used [3].

$$q = Ch^{N1} \quad (2)$$

Where C and $N1$ are the leakage coefficient and the leakage exponent, respectively.

However, field and experimental studies [4, 5] show that leakage rates may be much more sensitive to the pressure head of the pipe than the orifice flow equation suggests (i.e., leakage exponent with a theoretical orifice value of 0.5). Leakage differs with pressure in response to a power exponent value between 0.36 and 2.95, indicating that leakage in water distribution systems is strongly affected by pressure [4].

1.2. Loss of hydraulic capacity with the age of the pipes

A number of research studies have examined the impacts of aging pipes on water transmission [6, 7]. Colebrook and White examined the issue of changes in pipe roughness over time and found that the accumulation of material on the inside wall of the pipe increased pipe roughness and reduced pipe diameter. The effect of aging infrastructure is shown in the Hazen-Williams CHW coefficients (Table 1). These data indicate that the load carrying capacity of a 30 year old pipe is approximately 60% of the capacity of a new pipe.

TABLE I
CHANGE OF FRICTION COEFFICIENTS OVER TIME FOR CAST IRON PIPES [8].

Age	Values of CHW
new	130
5 years	120
10 years	107-113
20 years	90-100
30 years	75-90

1.3. Deterioration of water quality in distribution systems

Herson et al. [8] proved that coliform and indigenous non-coliform organisms are able to accumulate on the inner surfaces of pipelines. Consequently, large differences in microbial numbers may exist between the pipe inner surfaces and the bulk water phase. These findings support the conclusions of Le Chevallier et al. [6, 7].

The deterioration of water quality in distribution systems has been studied by many researchers. Seyoum and Tanyimboh [9] have indicated that lack of pressure in distribution systems is the main determinant of water quality deterioration. Lack of pressure leads to low flow velocities, resulting in long water travel and retention time, which in turn contribute to the loss of disinflation residue. Nkontcheu et al. [10] conducted a study on pesticides as water pollutants and concluded that imidacloprid and lambda- cyhalothrin products should be handled with care and away from water bodies. In a case study, Khudair and al [11] predicted the quality of groundwater for drinking purposes based on a water quality index. They used an artificial neural network model, which was found to offer high predictive efficiency; however, other important parameters, such as chloride and pH, influenced the model's prediction. Mohammed and Abdulrazzaq [12] developed another WQI method to assess drinking water quality based on eight water quality parameters. The classifications suggested in this method are excellent, good, acceptable, poor and very poor. Clark et al. conducted laboratory tests to improve mathematical models of the spread of contaminants and chlorine in distribution systems [13]. They found that the chlorine demand of the pipes was significantly higher than the disintegration of chlorine in the bulk water phase. This finding was attributed to the existence of biofilm on their internal surfaces. Jami [14] studied the hydraulic behaviour and water quality of two different pipe materials - mild steel and high density polyethylene HDPE - and concluded that HDPE pipes performed better than steel pipes in terms of maintaining water quality in the system, as steel pipes consumed nearly twice as much chlorine as HDPE pipes.

Herson et al. [15] proved that coliform and indigenous non-coliform organisms are able to accumulate on the inner surfaces of pipelines. Consequently, large differences in microbial numbers may exist between the pipe inner surfaces and the bulk water phase. These findings support the conclusions of Le Chevallier et al. [16, 17].

Bensoltane et al. [18] proposed a method for improving the concentration of residual chlorine in a water supply system, combining numerical simulation using the EPANET software and field measurements. The model was then calibrated and the simulation tool used to predict chlorine decay behavior. Appropriate doses of chlorine could then be injected to increase the

concentration throughout the system.

Thus, researchers have made considerable efforts to study the hydraulic behaviour of water pipe systems from different points of view. However, each water distribution system has its own characteristics. In addition, because field measurements are often difficult, time-consuming and expensive, computer software is required to explore the hydraulic and water quality behaviour of a network.

This paper studies the hydraulic and water quality behaviour of a selected water distribution network in the new city of Guelma using the EPANET computer software. It models and simulates the pressure head and chlorine concentration in the network under different conditions.

2. METHODS

2.1. Hydraulic model

Various computer models are now available and used in the water industry to predict and evaluate the hydraulic performance of water distribution networks. Hydraulic analysis determines the pressure head, flow rate, velocity and pressure drop in each element of the system. EPANET is one of the most frequently used models; it has been widely used in research and industry and forms the basis of several commercial modeling software packages, including Picollo, Poteau and Water Cad [19].

The EPANET software has been developed by the US Environmental Protection Agency and can be used to simulate equilibrium conditions and extended period simulations of hydraulic behavior and water quality in water supply systems [20]. EPANET tracks the water flow in each pipe, the head at each node and the water head in each reservoir. It can also be used to simulate the concentration of a chemical species, the age of the water and the tracing of the source throughout the network during a simulation period.

2.2. Study area

The network of the new city of Guelma is a meshed network and the supply of the subscribers of this city is done by gravitation from an SP4 accumulation tank. This reservoir has a capacity of 1500 m³ located at an altitude of 459 m (figure 2). The network of the new city is 6.44 km long for the main lines and 8.87 km long for the secondary lines, representing a total length of about 15.31 km.

2.2.1. Water supply network model

The network is of medium size and similar in nature to many other networks in the city. The main source of water is the Bouhamdhane dam which feeds the 1500 m³ capacity water reservoir supplying the network. The reservoir is circular and 20m m diameter with a water depth of 6 m. It is located on the highest point (459 m), and the network is fed by gravity. The water reservoir draws treated water from the Bouhamdhane dam via a pumping station SP4.



Fig.1. Location of the Study Area

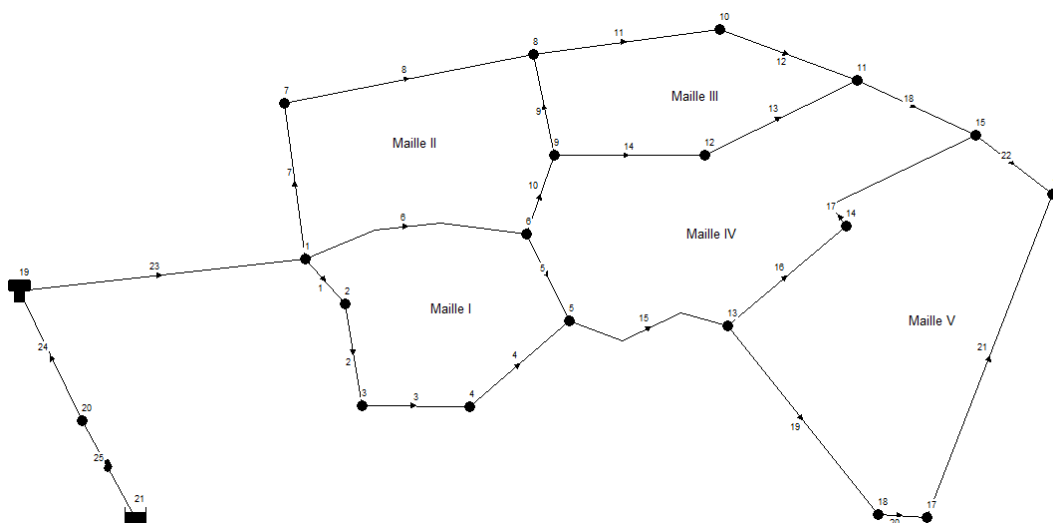


Fig. 2. Network model and node location.

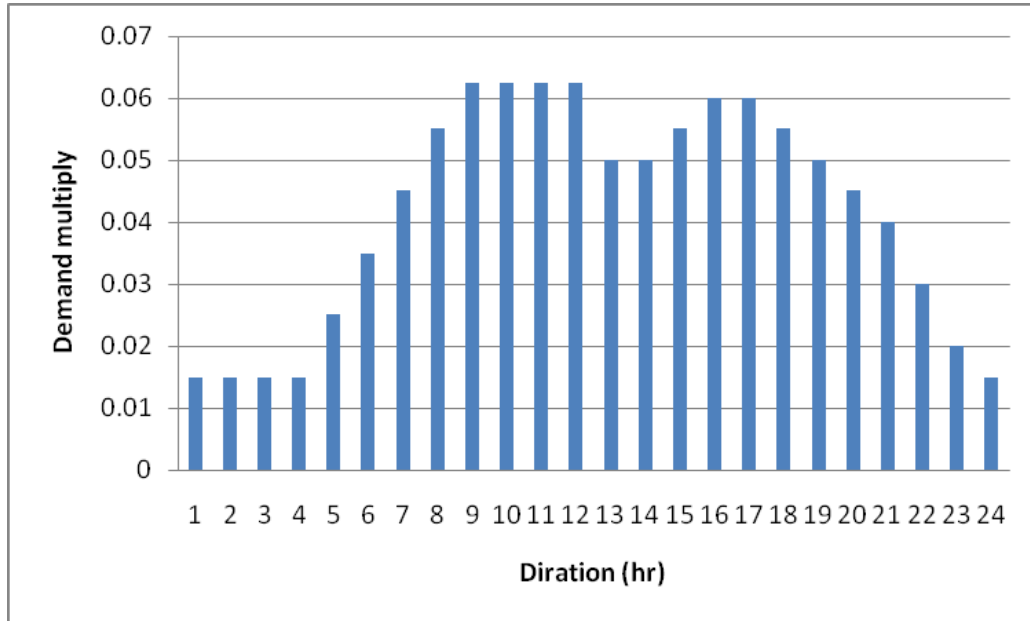


Fig.3. Daily demand curve for extended period simulation

With a coefficient of variation of the hourly flow rate of 1.5 the modulation curve takes the following form.

The EPANET water quality model is dynamic and incorporates relevant step processes such as transport (i.e. advection) and various conversion processes such as chlorine decay [9]. As reported by Rossman [20], EPANET tracks the fate of discrete water parcels that flow through pipes and mix at nodes between time steps of fixed length. For each step, the mixing of each segment reacts, and a cumulative count is kept of the total mass and volume of flow entering each junction; the locations of the segments are then updated. The concentration of chlorine leaving the node is essentially the flow weighted sum of the concentrations from the incoming pipes and external sources.

2.2.2. Daily demand curves

The demand for water is highly variable throughout the day. This study therefore adopted a daily curve that varies periodically throughout the day to make the simulation more realistic when analyzing an extended simulation period. The standard daily demand curve for medium-sized cities developed by AWWA [21] was used for the simulation in this study (Fig. 5). The curve shows how the rate of water consumption changes during the day (24 hours) and provides the highest demand factors as multipliers that can be applied to the average basic demand at a given time. The same approach has been adopted in other studies [7].

TABLE 2. ELEVATION AND DEMAND AT NODES

Node ID	Elevation (m)	Base Demand (l/s)	Node ID	Elevation (m)	Base Demand (l/s)
Node 1	417,00	9,73	Node 12	400,00	4,47
Node 2	414,50	2,10	Node 13	391,00	8,97
Node 3	441,00	4,32	Node 14	367,65	5,45
Node 4	419,50	5,01	Node 15	358,52	5,63
Node 5	396,30	5,66	Node 16	358,57	6,46
Node 6	389,90	7,68	Node 17	378,68	6,13
Node 7	402,00	8,81	Node 18	382,00	3,80
Node 8	382,50	10,76	Node 19	359,00	0
Node 9	404,45	5,44	Resvr 20	350	-
Node 10	381,50	7,04	Tank19	459	-
Node 11	379,50	9,06			

TABLE 3. LENGTHS AND DIAMETERS OF PIPE

Pipe ID	Length (m)	Diameter (mm)	Pipe ID	Length (m)	Diameter (mm)
Pipe 1	83	250	Pipe 13	259	100
Pipe 2	121	250	Pipe 14	176	100
Pipe 3	299	250	Pipe 15	245	150
Pipe 4	188	200	Pipe 16	308	100
Pipe 5	111	150	Pipe 17	221	100
Pipe 6	515	200	Pipe 18	242	100
Pipe 7	347	200	Pipe 19	318	100
Pipe 8	509	200	Pipe 20	51	100
Pipe 9	232	150	Pipe 21	544	100
Pipe 10	121	150	Pipe 22	84	100
Pipe 11	304	150	Pipe 23	347	350
Pipe 12	380	100	Pipe 24	20000	400

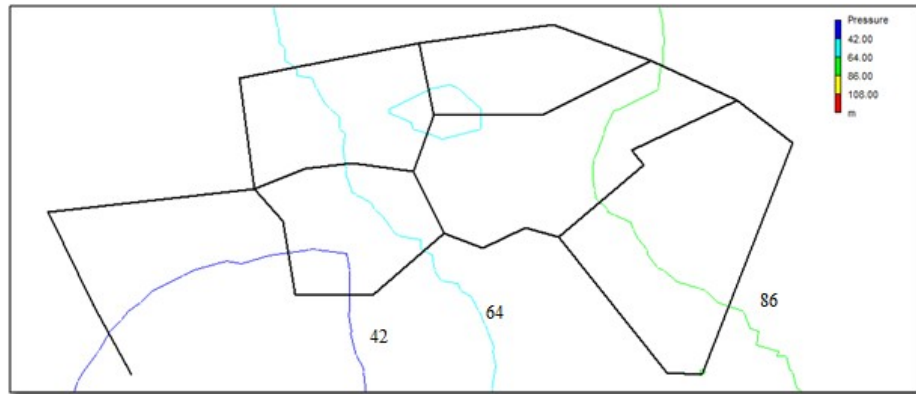
3. RESULTS AND DISCUSSION

The first tests using the simulation software EPANET revealed that the hydraulic behavior of the network was generally good. All the hydraulic parameters, including pipe velocities, node pressures and pressure drops, were checked throughout the network and found to be under control. After validation of the system, hydraulic performance was evaluated under various hydraulic conditions, including a loss of hydraulic capacity with the age of the pipe and the presence of 50% leakage in the system over varying time conditions using extended period simulation models.

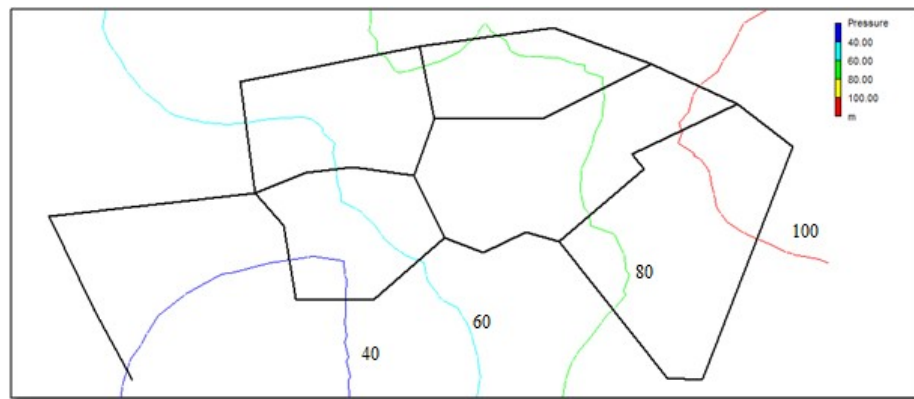
3.1. Effect of pipe age

The effect of the increase in pipe roughness with pipe age on the hydraulic performance of the network was analyzed at peak time (i.e. 9 am) and illustrated in Fig. (4). It can be seen that the discharge head in the system varies from 40 to 100 m for a Hazen-William roughness coefficient (CHW) of 130 (Fig. 4a); when the roughness coefficient is 80, the variation in pressure head is between 42 and 86 m (Fig. 4b). This clearly shows a significant drop in pressure head at some

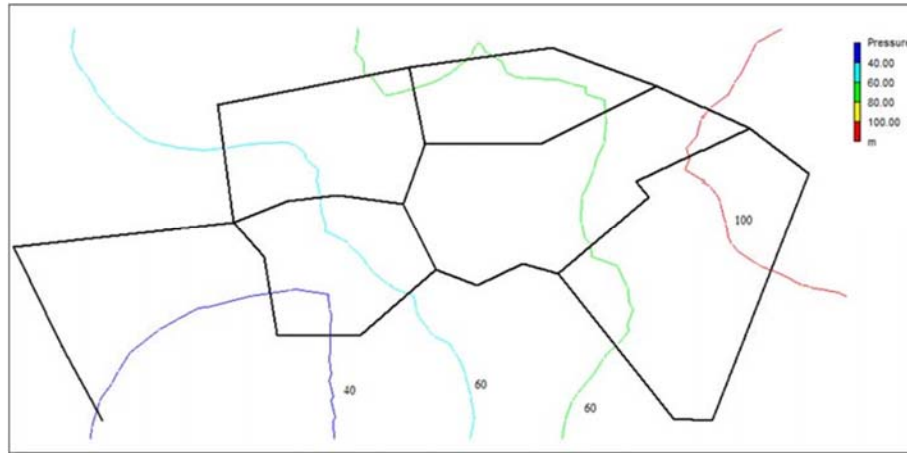
parts of the network, which in turn requires further increases in energy to pump water to consumers. Moreover, with a growing population and increasing per capita demand for water, the likelihood of low water pressure in water systems will certainly increase.



a



b)



c)

Fig. 4. Contours of the network pressure heads for different roughness coefficients. (a) Roughness Coefficient CHW (80), (b) Roughness Coefficient CHW (130), (c) Roughness Coefficient CHW (110)

Fig. 5. Shows the effect of changes in pipe roughness with pipe age on the pressure head at node 6 over one day (24 hours). The pressure head is also affected by water demand, which is highly variable throughout the day. It can be seen that the increase in pipe roughness (i.e. a lower Hazen-Williams CHW factor) resulted in significantly low pressure drops at peak demand (i.e. 9 a.m. and 12 p.m.). The pressure heads did not drop much.

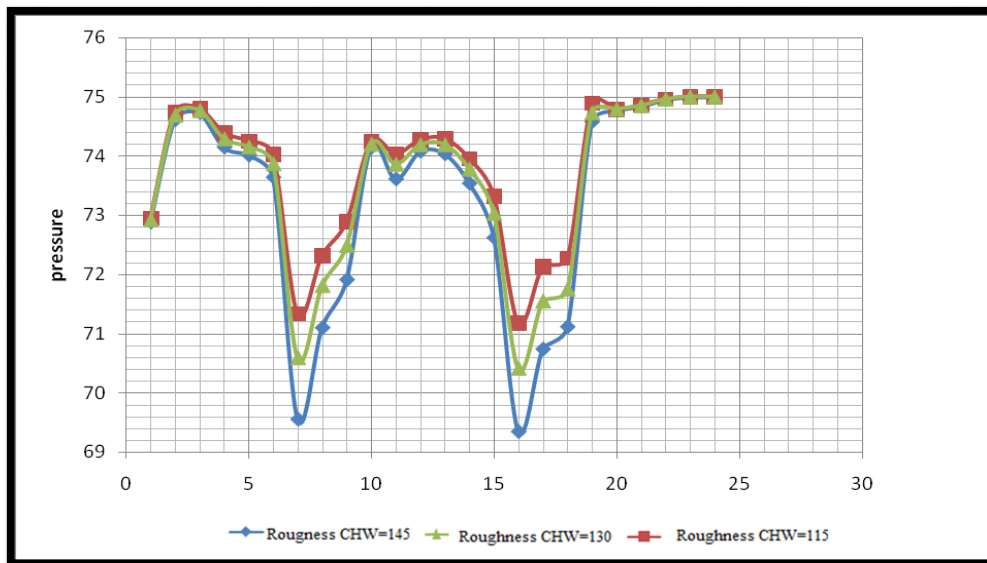


Fig. 5. Pressure head changes with pipe roughness at node 6 for 24 hour period

3.2. Chlorine concentration in the network

Fig. 8. Shows the chlorine concentration in the network during the initial run generated using EPANET at peak and lowest demand times of the day. The contours show that the chlorine concentration in all parts of the network remains above the 0.2 mg/L recommended by the WHO [22]. The contours (Fig. 8) show that the chlorine concentration in the system is higher during periods of low demand, and decreases during periods of higher demand. One of the reasons for this is that the water velocity in the system is higher and chlorine delivery is more efficient during peak water demand periods. As well, water velocity decreases during low demand periods; therefore, the flow of chlorine through the system slows down, resulting in lower concentrations.

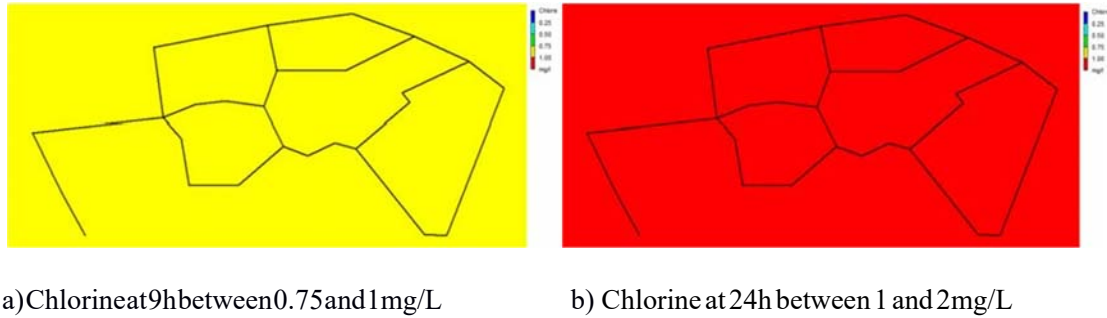


Fig. 6. Chlorine distribution in the network (a) at peak consumption times: 9:00 a.m.; (b) at low consumption times: 24:00 a.m.

3.3. Effect of leaks in the network

Leaks in drinking water supply networks are well documented; it is estimated that 50% of treated water is lost from the network in Algeria. Assuming that this leakage percentage of a total network water inflow of 167.6 L / s implies a leakage rate of 83.8 L / s. The modeling of leakage in a network can be obtained by adopting the approach of Cobacho et al [23] to include leakage in network models. The leakage rate (i.e. 83.8 L/s) was added as an additional demand at each node (i.e. 4.65 L/s). Considering that the pressure head in the network is about 60 m on average - and assuming a pressure exponent of 1.15 - the emitter coefficient C in Eq. 2 has a value of $83.3 / (60)^{1.15} = 0.75$.

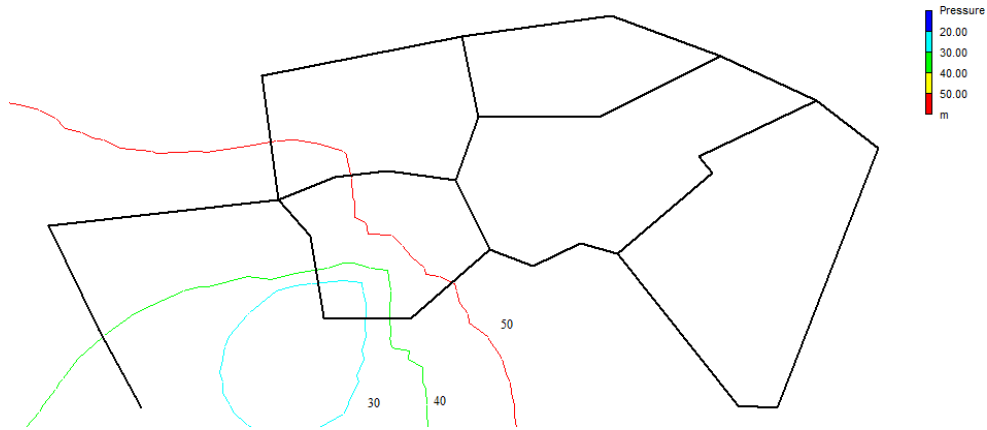


Fig. 7. Counter graphs of the pressure height distribution with 50% leakage and an emitter coefficient of 0.75. Roughness coefficient CHW (145).

Figure 7. Shows the effect of leaks on the distribution of pressure loads in the network. It can be seen that the pressure head drops from a span of 40 to 100 m (Figure 6.b) in the case of normal operation to a span of 30 to 50 m in the case of a 50% leak in the network.

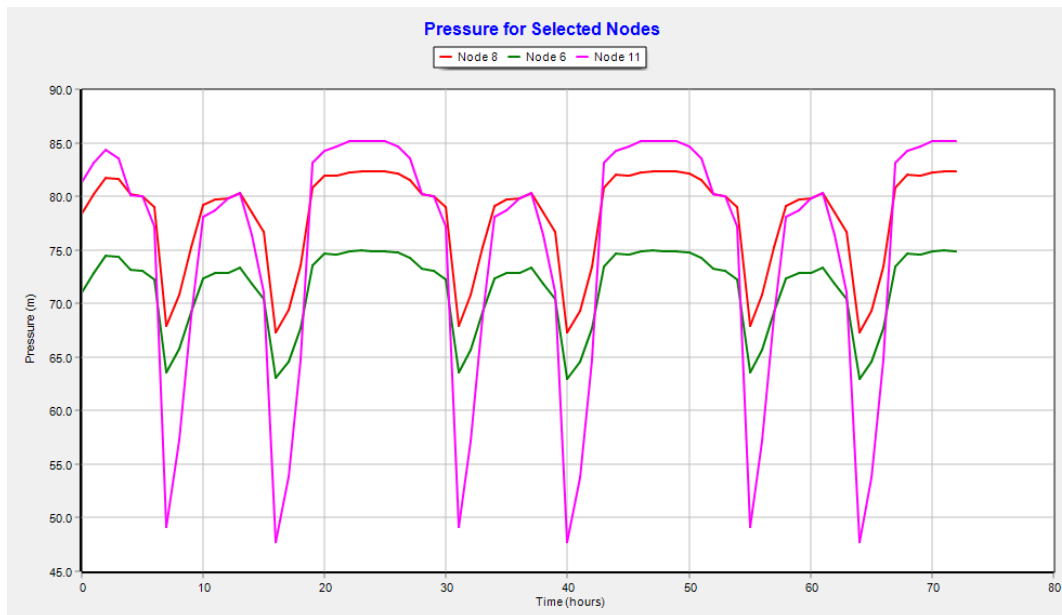


Fig.8. Pressure variation for knots 6.8.11 with 50% leakage rate

Fig. 8. Shows the variation in pressure over three days for the three different nodes in the network (nodes 6, 7 and 15). In general, it can be seen that pressure is higher during low demand periods (late evening to early morning) and lower during peak periods. The pressure can reach low values especially when leakage increases during peak periods. Leaks waste water and revenue and result in inefficient distribution of energy through the system (i.e. wasted energy to pump water). Mr. O. A. Alsaydalani [24], shows that the pressure heads dropped to about 5.5 m when the roughness coefficient was 130 below the minimum acceptable pressure of 14 m required to provide minimum flow and house piping in the second floor of the house.

CONCLUSION

The approach of this research study was to model and simulate the hydraulic and water quality behavior of a selected water distribution network in the new city of Guelma. EPANET was used to model and simulate the pressure head and chlorine decay in the network under different hydraulic conditions.

On the basis of this study, the following conclusions can be drawn:

- The increase in pipe roughness with the age of the pipes has resulted in a significant decrease in pressure loads at the end of the network during peak hours. As the population grows and per capita water demand increases, the likelihood of low water pressure in water supply systems will increase.
- A leak in the network wastes water and energy. The presence of a 50% leakage rate has led to a lack of pressure at certain points in the network. The leakage rate increases during periods of low demand, when the pressure level in the network is high.
- The distribution of chlorine concentration in the network is affected by hydraulic conditions. The increase in pipe roughness due to aging of the pipes has resulted in an increase in the rate of chlorine decay. Chlorine concentration in the system is higher during peak periods and decreases during periods of lower demand.
- Lack of pressure in some parts of the network leads to a deterioration of water quality in the network.

REFERENCES

- [1] B. Kingdom, R. Liemberger, and P. Marin, "The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries - How the private sector can help: A look at performance-based service contracting". Water Supply and Sanitation Sector Board discussion paper series, no.8. World Bank: Washington, DC, 2006.
- [2] Sud horizons electronic journal. Algeria publication October 14th, 2020.
- [3] A. Lambert, "What do we know about Pressure: Leakage Relationships?" In IWA Conference Proceedings, System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management 2001, pp. 1-8.
- [4] M. Farley and S. Trow, "Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, monitoring and control," IWA publishing, Alliance House, London, 2005.
- [5] B. Greyvenstein, and J.E. van Zyl, "An experimental investigation into the pressure - leakage relationship of some failed water pipes", J. Water Supply, vol. 56, no. 2, pp. 117-124,2007. [<http://dx.doi.org/10.2166/aqua.2007.065>]
- [6] C.F. Colebrook, and C.M. White, "The reduction of carrying capacity of pipes with age", J. Inst. Civ. Eng., vol. 7, no. 1, pp. 99-118,1937.

[<http://dx.doi.org/10.1680/ijoti.1937.14682>]

- [7] H.I. Mohamed, and G. Abozeid, "Dynamic simulation of pressure head and chlorine concentration in the City of Asyut water supply network in abnormal operating conditions", Arab. J. Sci. Eng., vol. 36, no. 2, pp. 173-184., 2011.
- [8] L. W. Mays and Y. K. Tung, "Hydro system engineering and management," McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, McGraw- Hill, 1992.
- [9] A.G. Seyoum, and T.T. Tanyimboh, "Pressure-dependent network water quality modelling", Proc.- Inst. Civ. Eng., vol. 167, no. 6, p. 342,2014.
- [10] D.B.K. Nkontcheu, N.N. Tchamadeu, F. Ngealekeleoh, and S. Nchase, "Ecotoxicological effects of imidacloprid and lambda-cyhalothrin (Insecticide) on tadpoles of the African common toad, *Amietophrynus Regularis* (Reuss, 1833) (Amphibia: Bufonidae)," Italian J. Sci. Eng. italic, vol. 1, pp. 49-53, 2017.
- [11] B.H. Khudair, M.M. Jasim, and A.S. Alsaqqar, "Artificial neural network model for the prediction of groundwater quality", Civil Eng. J., vol. 4, no. 12, p. 2959.
- [12] S.E. Mohammed, and K. Adel Abdulrazzaq, "Developing water quality index to assess the quality of the drinking water", Civil. Eng. J., vol. 4, no. 10, p. 2345, 2018.
- [13] E. Jafari Nodoushan, "Monthly forecasting of water quality parameters within bayesian networks: A case study of honolulu, pacific ocean", Civil. Eng. J., vol. 4, no. 1, p. 188, 2018.
- [14] R. Jamil, "Performance of a new pipe material UHMWPE against disinfectant decay in water distribution networks", Clean Technol. Environ. Policy, vol. 20, no. 6, pp. 1287- 1296, 2018.
- [15] Herson DS, Marshall DR, Baker KH, Victorin HT (1991) Association of microorganisms with surfaces in distribution systems. J AWWA 83:103–106.
- [16] Lechevallier MW, Lowry CD, Lee RG (1990) Disinfecting biofilms in a model distribution system. J AWWA 82(7):87–99.
- [17] Lechevallier MW, Lowry CD, Lee RG, Gibbon DL (1993) Examining the relationship between iron corrosion and the disinfection of biofilm bacteria. J AWWA 85(7):111–123M.A.
- [18] Bensoltane, L. Zeghadnia, L. Djemili, A. Gheid, and Y. Djebbar, "Enhancement of the free residual chlorine concentration at the ends of the water supply network: Case study of Souk Ahras city - Algeria", J. Water Land Dev., vol. 38, no. 1, pp. 3-9,2018.
- [19] R R.M. Clark, W.M. Grayman, and A.F. Hess, "Modelling contaminant propagation in drinking-water distribution system", J. Environ. Eng., vol. 119, no. 2, pp. 349- 364, 1993.
- [20] L.A.Rossman,"computer models/Epanet",In: L.W.Mays, Ed, water distribution systems handbook Mc Graw-hill: New York 2000,pp12.1-12.23.
- [21] AWWA,"Manual M32-Distribution network analysis for water utilities," Denver, Colo., AWWA, 1989.
- [22] World Health Organization, "Guidelines for drinking water quality," Volume 1, Recommendation, 2nd ed., W.H.O., Geneva. 1993. Available from: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq2v1/en/.
- [23] R. Cobacho, F. Arregui, J. Soriano, and E. Cabrera, "Including leakage in network models: An application to calibrate leak valves in EPANET", J. Water Supply, vol. 64, no. 2, pp. 130-138, 2015.
- [24] M. O. A. Alsaydalani "Simulation of pressure head and chlorine decay in a water distribution network: a case study" The Open Civil Engineering Journal., vol. 13, pp.58-68, 2019.

Calibration of the Highway Safety Manual for Cold Region Environments

Osama Abaza

oabaza@alaska.edu

¹*Department of Civil Engineering, University of Alaska Anchorage, Anchorage, Alaska USA*

Abstract The American Association of State Highway and Transportation Officials Highway Safety Manual (HSM) provides a system to quantitatively analyze the safety of existing roadways and identify which geometric characteristics of current sites are correlated with high crash rates. To raise awareness about the frequency, severity, and locations of crashes and provide a tool to mitigate the occurrence of crashes, the HSM was calibrated for Alaska as a prototype for northern cold region environments. This research determined the calibration for several main roadway facilities in the state, including four-way signalized intersections, unsignalized intersections, and two-lane rural highways. The research showed that calibration of most unsignalized intersections and two-lane rural highways provided consistent results. Calibration of four-way stop-controlled intersections in the Central Region and four-way signalized intersections statewide showed results that varied based on annual average daily traffic, with local calibration about four times that of the HSM. This finding is an indication that a safety performance function for these facility types should be determined for cold regions/Alaska to provide consistent results. Further investigation into causes and countermeasures are needed in this regard. Due to largely varying values across the state, Alaska cannot be blanketed with one CF value. Rather, the recommended value per region per facility type, generated as part of this research, should be applied during the design process to help reduce accidents. These values should not be used for enforcement, and the HSM should be recalibrated every 2 to 3 years to ensure accuracy. To increase accuracy of the HSM, state-specific SPFs should be developed, especially for the facility types with significantly high CF values. In the case of Alaska, these facility types include urban four-way signalized intersections and unsignalized intersections in the Northern and Central regions.

Keywords: *Highway Safety Manual, highway safety, calibration, cold regions, crashes/accidents*

I. INTRODUCTION

THE Highway Safety Manual (HSM) is a useful tool for traffic engineers because of its ability to assign quantitative values to various roadway facilities based on geometric features and conditions surrounding the facility. These values are assigned by using safety performance functions (SPFs) that provide crash prediction. Safety performance functions must be calibrated to local conditions to use them effectively. The resultant calibration factors (CFs) are applied to give the SPFs a more accurate, localized view of crash frequency. Calibration factors for the state of Alaska have been developed as a prototype for northern cold region environments.

II. RESEARCH SIGNIFICANCE

The current Highway Safety Improvement Program (HSIP) in the state of Alaska depends on past crash data for identifying problematic areas and countermeasures. Since this approach does not necessarily accurately predict future crash frequencies and severities, the Federal Highway Administration (FHWA) encourages states to adopt “a more comprehensive and proactive approach to prevent the most severe crashes by using risk analysis techniques within a data driven process to identify sites for potential safety improvement” (FHWA, 2013). The HSM provides a means for states to do this, but it works only once calibrated to local conditions. Due to the severe climate and unique conditions of cold regions (snow, ice, minimal winter daylight, and substantial wildlife population), calibration in this area is especially crucial to be able to utilize the tools given in the HSM, as cold regions are different from the areas for which the HSM’s SPFs were developed.

III. RESEARCH SIGNIFICANCE

The following is an overview of the HSM calibration methods used within the United States and in other countries, gleaned from a review of various studies. These methods will be presented and their modifications analyzed for applicability to cold regions like the state of Alaska, in order to provide insight into how the HSM may be calibrated for unique geographical and weather conditions.

Srinivasan and Carter (2011) detailed the SPFs for nine crash types in North Carolina. Four intersection site types were not calibrated due to lack of data. Road segments were classified by their geographical characteristics: coast, piedmont, and mountain. Pedestrian crashes were omitted. Initially, the study attempted to follow the sampling suggestions proposed in the HSM, but instead decided to select entire routes, using all segments and intersections from a route to increase efficiency. To minimize the bias that might be introduced by using this method, all routes were chosen from either a single county or adjacent counties. This method allowed for a mix of road classes in the samples. Roughly the same numbers of groups were selected from each of the three geographic areas.

Saito et al. (2012) calibrated rural, two-lane highways in Utah. This study used 426 crashes on 157 segments of rural, two-lane/two-way roads to develop the SPFs. Only 14 of these segments met the HSM base conditions. The researchers chose to remove segments with annual average daily traffic (AADT) values greater than 10,000 vehicles/day, justifying the procedure, because these roads were outliers when compared with the rest of Utah’s rural, two-lane highways. Eight

segments were removed through this process. Four segments were removed for having a speed limit of 40 or 45 mph, for the same reasons. The calibration included 3 years of data, from 2005 to 2007. Other than the obvious omissions above, the sample set was chosen at random, with an original size of 169 sites.

Xie et al. (2011) calibrated several facility types in Oregon. Three years of crash data (2004–2006) were collected from the Statewide Crash Data System of the Oregon Department of Transportation (ODOT). In keeping with standard procedure in the HSM, crashes were credited to intersections if they were within 250 ft. All other crashes were considered segment crashes. The study did not use default values, as the researchers were concerned that the level of precision would be impacted. Due to lack of information, medium pedestrian volume at intersections was assumed. Models were developed to estimate missing AADT values for some minor roads and their intersections. This study followed the general site selection guidelines in the HSM, with a few modifications. Instead of a sample size of 50–70, a sample size of 100 was chosen where possible.

Williamson and Zhou (2012) calibrated rural two-lane highways in Illinois. In accordance with the HSM, crashes within 250 ft of an intersection were classified as intersection crashes. Both the HSM SPF and the Illinois SPF were used in the study. Three years of data (2005–2007) were analyzed, a total of 165 crashes. Five segments were randomly selected from six randomly selected counties to ensure the prediction would be representative of the state.

Alluri et al. (2012) conducted a study to identify and prioritize calibration variables that most influence the calibration of the HSM in individual locations. There were not enough three-way and four-way signalized and unsignalized intersections identified, so a map was overlaid with the known signalized intersections to identify intersections without signals. Using this method, 1555 intersections were found.

Sun et al. (2013) calibrated several facilities in Missouri. This study was all-inclusive, recording calibration values for all the main site types in the HSM. The sampling procedures for this study were based on the guidelines presented by the HSM, with 30–50 sites for every type. Missouri is divided into seven MoDOT districts, and five random samples were selected from each district, producing 35 samples per type. Some samples were excluded due to location or inadequate data.

Bowie et al. (2014) calculated the CFs for four intersection site types—unsignalized three-leg intersections, unsignalized four-leg intersections, signalized three-leg intersections, and signalized four-leg intersections—in Anchorage, Alaska. These intersections were randomly sampled to produce a set for calibration. In this study, the CFs for three-way and four-way signalized intersections were 3.94 and 4.65, respectively. In contrast, the CFs for three-way and four-way unsignalized intersections were 1.48 and 3.46, respectively.

Sipple (2014) calibrated and developed SPFs for rural highway facilities in the state of Idaho. The scope of the thesis paper by Sipple includes calibrating existing HSM SPFs for the following three types of facilities: rural two-lane/two-way highways, rural three-way stop-controlled intersections, and rural four-way stop-controlled intersections. Sipple focused on developing new SPFs for each facility using binomial regression and Idaho crash data.

Mehta and Lou (2013) calibrated and developed SPFs for Alabama. This study aimed to evaluate the applicability of HSM predictive methods and develop models for two-lane/two-way rural roads and four-lane divided highways. For calibration of HSM base SPFs, SPF predictions for two-lane/two-way rural roads and four-lane divided highways were included.

The Ministère des Transports du Québec calibrated rural two-lane roads in the territorial branches of Quebec, Canada (Barber, 2014). This study focused on three kinds of rural

intersections: unsignalized three-way with stop control on the minor-road approaches, unsignalized four-way with stop control on minor-road approaches, and signalized four-way. “Rural” was defined by roads with a posted speed limit of 80–90 km/h. The proportion of crashes involving animals varied greatly between territorial branches, as well as within branches. Road safety experts determined that the calibration would be more accurate if these crashes were not included. A sample of approximately 50 sites was picked randomly for each category. These samples were reviewed to verify that their distribution was representative of the territorial branches. If later data collection proved impossible for a site, an alternate site within the same territory was chosen.

Young and Park (2012) calibrated HSM SPFs and compared them to jurisdiction-specific SPFs in Regina, Saskatchewan, Canada. The data for this study were from a 3-year span (2005–2009). Data were interpolated for segments or intersections with missing information. This study focused on three intersection categories: three-way unsignalized, four-way unsignalized, and four-way signalized. The study was limited to vehicle-vehicle crashes. The number of three-way signalized intersections (28) was low, so three-way signalized intersections were combined with four-way signalized intersections to create a sufficiently large sample size. The site types were divided randomly into two subsections: 70% to data and 30% to validation.

The literature review provided emphasis on the following aspects, critical for this research project: existing methodologies, outcomes, and recommendations for new methodologies because of said outcomes. The gathered literature made it apparent that some roadway segments and intersections in the state considered statistical outliers should be excluded, assumptions on typical values should be made if information such as pedestrian volume at intersections is missing, at least 5 years of crash data were needed, and crashes within 250 ft of the intersection should be considered intersection crashes. Calibration factor values will be developed for each of the three Alaska Department of Transportation and Public Facilities (DOT&PF) regions, and in case of lack of information, adequate sample size, or insignificant differences in the outcome, a representative sample will be taken from each region to be considered in the development of local calibration. Furthermore, for stop-controlled intersections, a mix of urban and rural samples will be considered.

IV. METHODOLOGY

The HSM-given methodology was followed in this study. This methodology has six steps: identifying facility types for which the applicable SPFs are to be calibrated, selecting sites for calibration of the SPF for each facility type, obtaining the necessary data for each sample site, applying the applicable predictive method to predict total crash frequency for each site during the calibration period, computing calibration factors, and validating the computed CFs.

Four-way signalized intersections, two-lane/two-way rural highway segments, and unsignalized intersections were calibrated for each Alaska region (Northern, Central, and Southcoast) as shown in Fig. 1. The three regions studied were expected to conclude with varying CFs due to the regions being significantly different from one another in many ways including driver behavior, congestion, AADT, wildlife, daylight hours, and weather conditions.

The sample size suggested by the HSM is a minimum of 30–50 sites per facility type, with a minimum of 100 crashes per year historically at these sites. It was found that all types of rural multilane intersections in all regions, and rural two-lane intersections and highways in the

Southcoast region lacked the required number of samples and/or crashes for determining the CF. Table 1 gives the available data and sample sizes for each facility type in Alaska.



Fig. 1. Alaska regional boundaries (DOT&PF)

TABLE 1
TOTAL SAMPLES AND NUMBER OF SAMPLES SELECTED

Facility Type	Region	Total Samples Available	Number of Samples Selected to be Used in the Calibration
Four-way Signalized Intersections	Northern	49	49
	Central	118	68
	Southcoast	13	13
Rural Two-lane Three-way Unsignalized Intersections	Northern	23	18
	Central	81	46
Rural Two-lane Four-way Unsignalized Intersections	Northern	13	9
	Central	15	10
Urban Three-way Unsignalized Intersections	Northern	95	80
	Central	225	69
	Southcoast	44	31
Urban Four-way Unsignalized Intersections	Northern	94	84
	Central	129	34
	Southcoast	17	11
Rural Two-lane Highway	Northern	333	30
	Central	371	30

The rural two-lane highway samples presented a problem, in that following the recommended sample selection method provided far fewer than 100 crashes per year. This low number of crashes is because of the relatively low volume of traffic on most rural two-lane highways in Alaska, hence, sparse historical crashes. Since the HSM is designed for facilities where crashes from various contiguous segments can be added together, an alternative sample selection method was devised. Instead of using single homogenous segments as samples, 5-mile sections of the road were sampled and the various homogenous segments within each section were added together to produce a total crash number. This method allowed a larger number of crashes to be included using a smaller sample size. Following sample selection, data were obtained for each site using the sources given in Table 2.

In several cases for unsignalized intersections, AADT was unavailable for one or more legs of the intersection. Each leg missing AADT data was visually inspected using Google Earth and then assigned a qualitative traffic volume value—very low, low, medium, or high—based on location and proximity to high traffic attractions. Statistical analysis of surrounding AADTs was used to estimate AADT on the intersections lacking this data.

Once data were collected for all necessary sites, the predictive methods provided by the HSM were applied. These methods vary by facility type. A total predicted crash frequency was determined for each site over a 5-year period. These values were compared with actual crash frequencies and a CF value for each facility type was computed per Equation 1.

$$CF = \frac{\text{actual crash frequency}}{\text{predicted crash frequency}} \quad (1)$$

For four-way signalized intersections and some unsignalized intersections, an additional step was taken of applying the computed CF to a validation data set to see if it could adequately predict crashes compared with the historical crash data. This comparison demonstrated whether the model could be accurately used in cold regions.

V. DATA CHARACTERISTICS

The current Highway Safety Improvement Program (HSIP) in the state of Alaska depends on past crash data for identifying problematic areas and countermeasures. Since this approach does not necessarily accurately predict future crash frequencies and severities, the Federal Highway Administration

A. Four-leg Signalized Intersections

Fig. 2 categorizes crashes on four-leg signalized intersections by severity type. The plot indicates that the predominant crash type is Property Damage Only (PDO) crashes, followed by Minor Injury crashes, with Major Injury and Fatal crashes playing a small part of the overall crash makeup. This distribution is expected.

TABLE 2
DATA NEEDS AND SOURCES

Facility	Data Needed	Data Source
Intersections	AADT for the major/minor roads	DOT&PF/MOA/estimated
	Number of approaches with left turn lanes	Google Earth/site visit
	Number of approaches with right turn lanes	Google Earth/site visit
	Presence of lighting	Google Earth/site visit
	Presence of left-turn phasing	Google Earth/site visit
	Type of left-turn phasing	Google Earth/site visit
	Use of right-turn-on-red signal operation	Google Earth/site visit
	Use of red-light cameras	None used in Alaska
	Pedestrian volume	Assumed to be med-high
	Maximum number of lanes crossed by pedestrians	Google Earth/site visit
	Presence of bus stops within 1,000 ft	Bus maps/Google Earth
	Presence of schools within 1,000 ft	Google Earth/site visit
	Presence of alcohol sales establishments within 1,000 ft	Google Earth/site visit
	Historical crash data (2008–2012)	DOT&PF
	AADT	DOT&PF
Highways	Lengths of curves and tangents	Historical as-builts
	Radii of horizontal curves	Historical as-builts
	Percent grade	Assumed to be level
	Lane width	Historical as-builts
	Shoulder type	Historical as-builts
	Shoulder width	Historical as-builts
	Roadside hazard rating	Google Earth
	Presence of lighting	Google Earth
	Driveway density	Google Earth
	Presence of passing lane	Google Earth
	Presence of short four-lane section	Google Earth
	Presence of TWLTL	Google Earth
	Presence of centerline rumble strip	Google Earth
	Use of automated enforcement	None used in Alaska
	Historical crash data (2008–2012)	DOT&PF

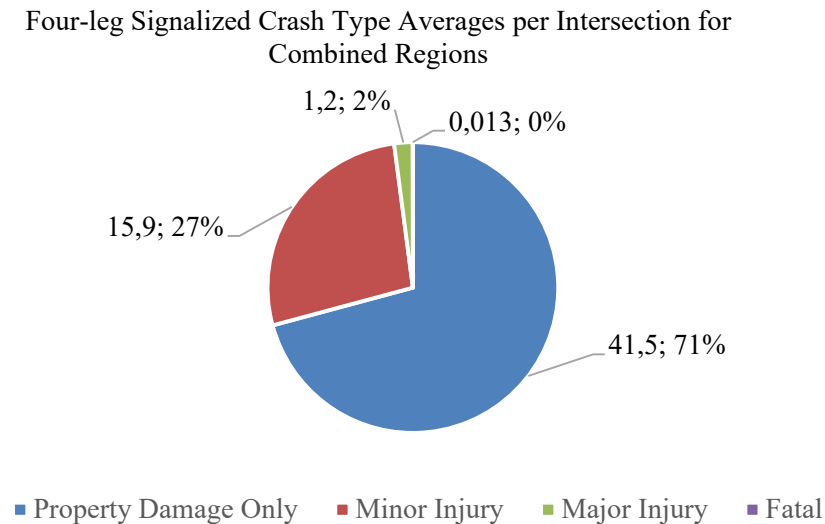


Fig. 2. Urban four-leg signalized intersection crash severities

Fig. 3 shows these crashes by region. Note in Fig. 3 that “South Central” refers to the Central region of Alaska, and “Southeast” refers to the Southcoast region of Alaska. Most of the crashes occurred in the Central region, because Anchorage, the largest city and busiest traffic area in the state, is located there. Calibration factors found in this study were computed by crash severity to detect any discrepancies between the crash types. Fig. 4 shows this analysis.

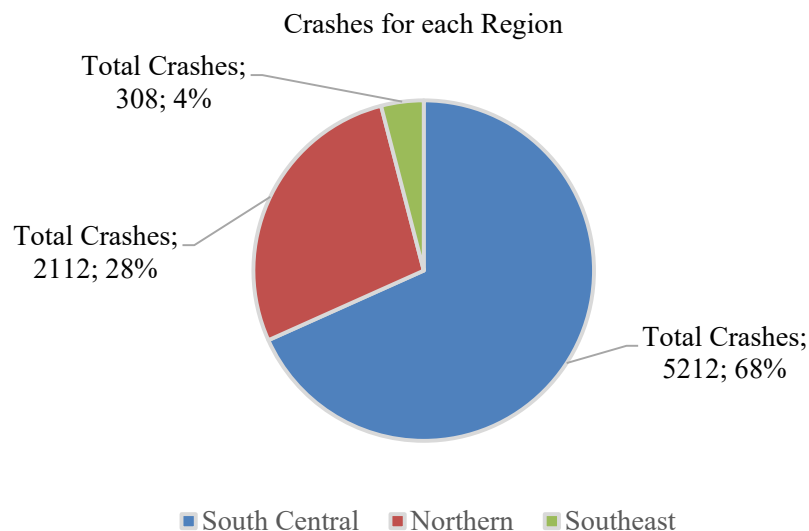


Fig. 3. Urban four-leg signalized intersection crash data by region

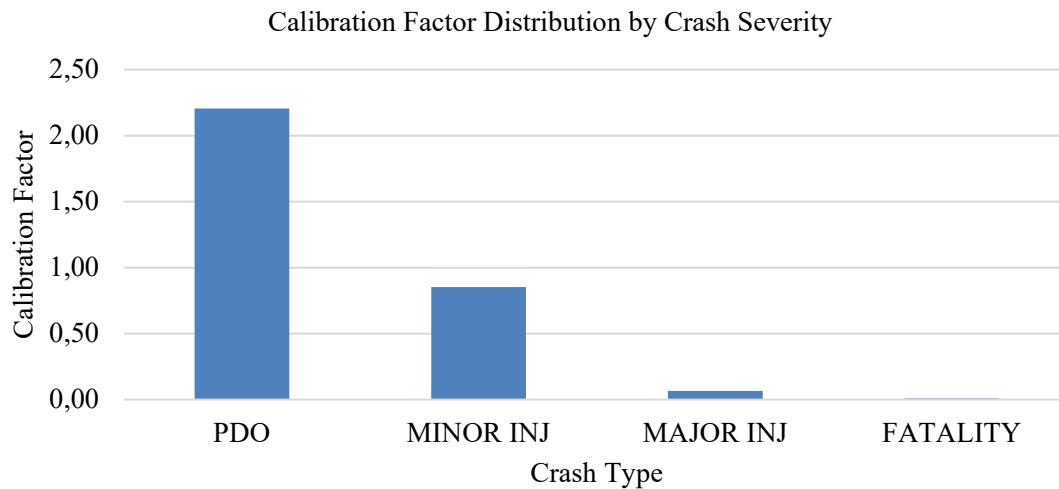


Fig. 4. Urban four-leg signalized intersections CF by crash type

Calibration factors were also compared with AADT to determine if any correlation existed. Fig. 5 addresses this trend. The plot clearly shows an increase in CFs as AADT increases. In other words, more crashes are expected at large urban congested four-leg signalized intersections than in smaller urban areas of low traffic volume.

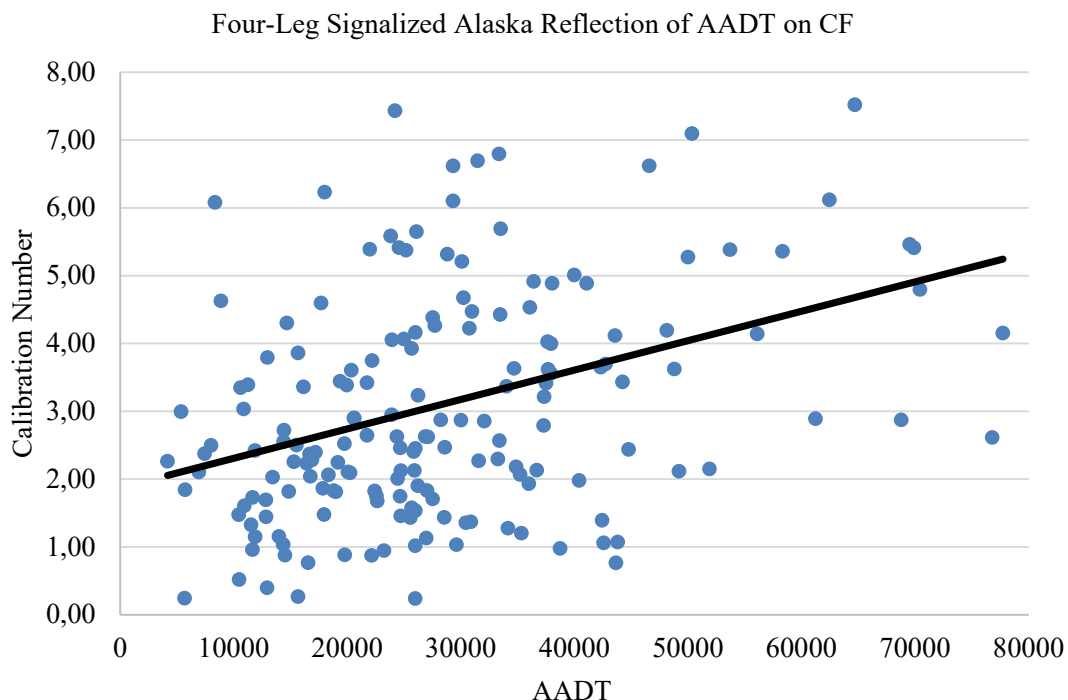


Fig. 5. CF vs. AADT, four-leg signalized intersections (U4ST)

Fig. 5 shows that most crashes per intersection occur in the Central region at urban four-leg unsignalized intersections and in the Central region at rural multilane three-leg unsignalized

intersections; these intersections are the most problematic. Most Central region urban four-leg intersections are located in Anchorage, where traffic volume is higher and thus the likelihood of crashes is greater. The data spike at rural multilane three-leg intersections, though, is most likely the result of lack of data for this facility type, and should not be considered significant.

B. Unsignalized Intersections

Fig. 6 compares crashes per intersection by region and facility type at unsignalized intersections. This comparison is helpful in determining the most problematic unsignalized facility type.

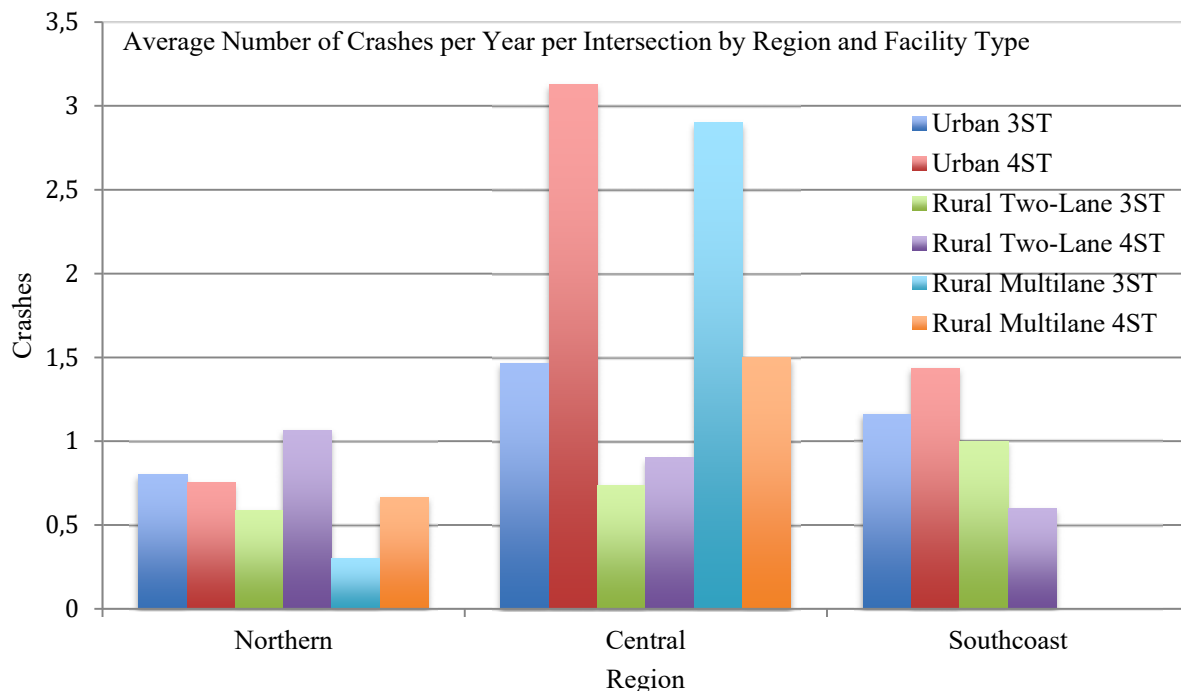


Fig. 6. Crashes per intersection, unsignalized intersections

Annual average daily traffic was compared with the CF in the three regions to determine if any correlation existed. This correlation was considered for both urban and rural areas. Examples from the Central region are shown in Fig.7 and Fig.8. In addition, the overall correlation of the three regions for unsignalized intersections is shown in Fig. 9. In all three figures, a weak positive correlation exists between CF and AADT for unsignalized intersections, which can be attributed to the relatively low traffic volume at these intersections compared with signalized intersections.

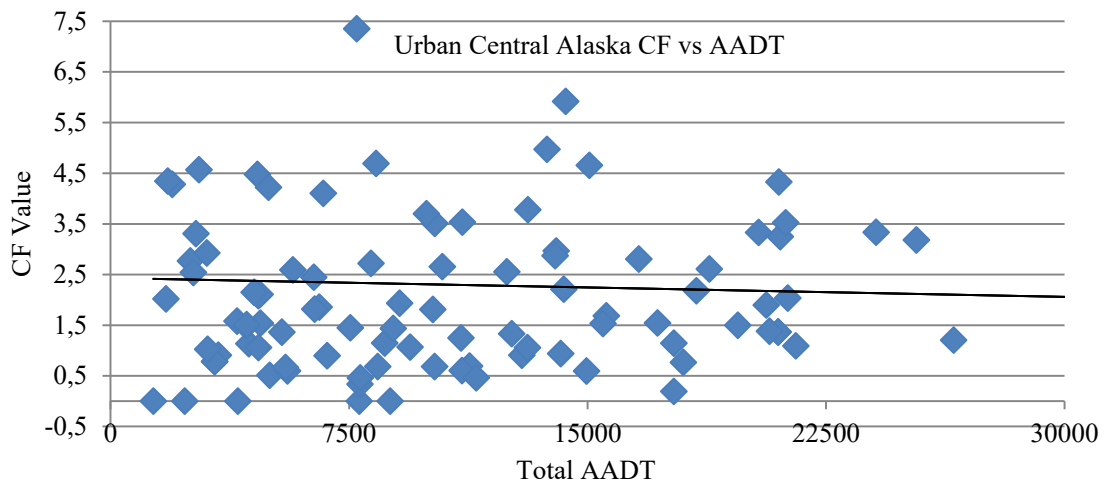


Fig. 7. Urban unsignalized intersections, Central region, Alaska, CF vs. AADT

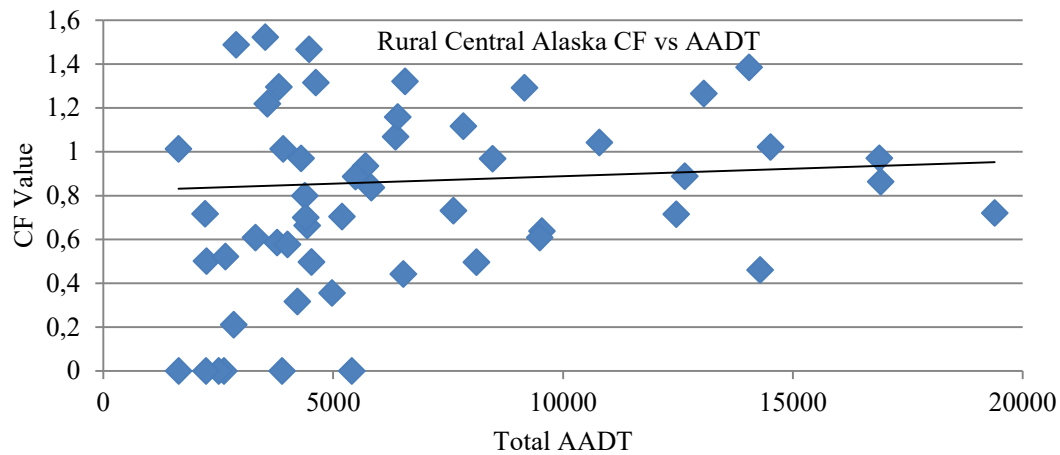


Fig. 8. Rural unsignalized intersections, Central region, Alaska, CF vs. AADT

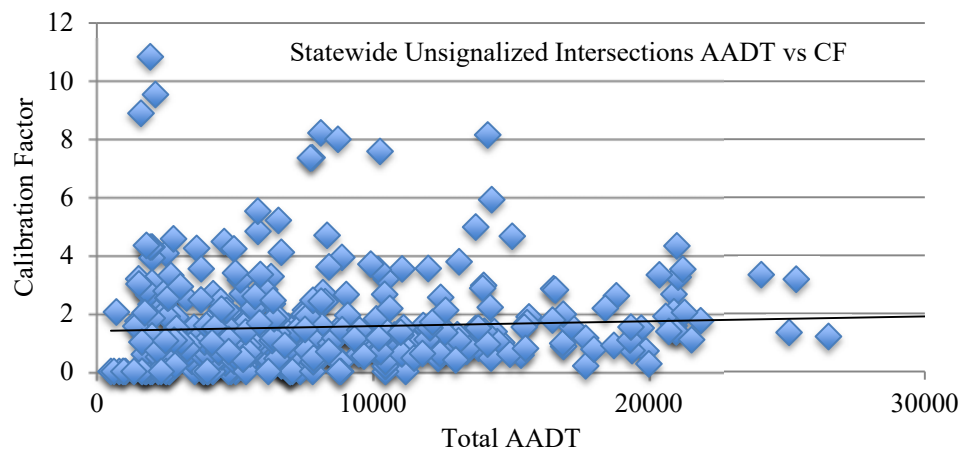


Fig. 9. Unsignalized intersections in Alaska, CF vs. AADT

C. Two-Lane Highway Segments

Calibration factors and AADT for two-lane highway segments were again compared. Plots for this comparison are shown in Fig. 10 and Fig. 11. Both of these plots show a slight negative trend, whereas AADT increases, CF decreases, which is opposite the trend seen on intersections in the previous two facility types. This difference is mainly attributed to the limited range of traffic volume on this type of facility.

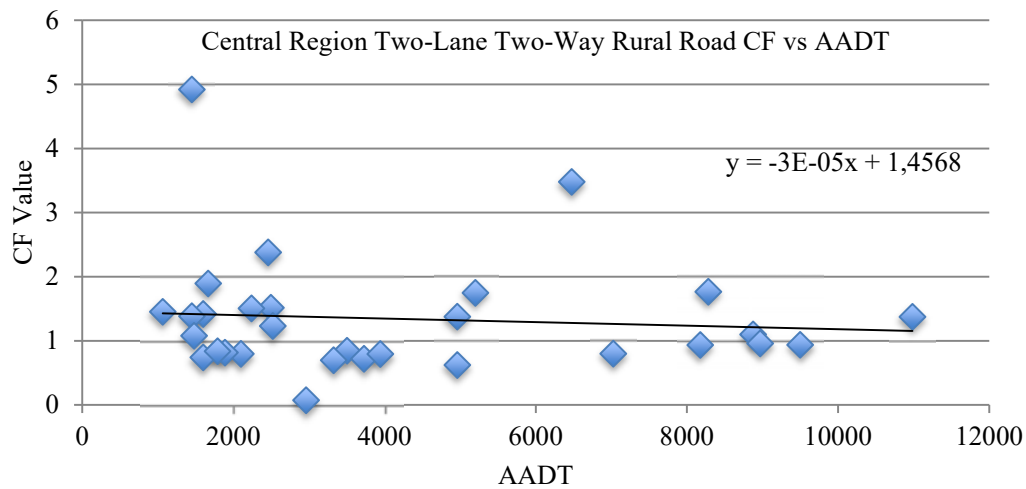


Fig. 10. Central region, Alaska, two-lane/two-way rural road CF vs. AADT

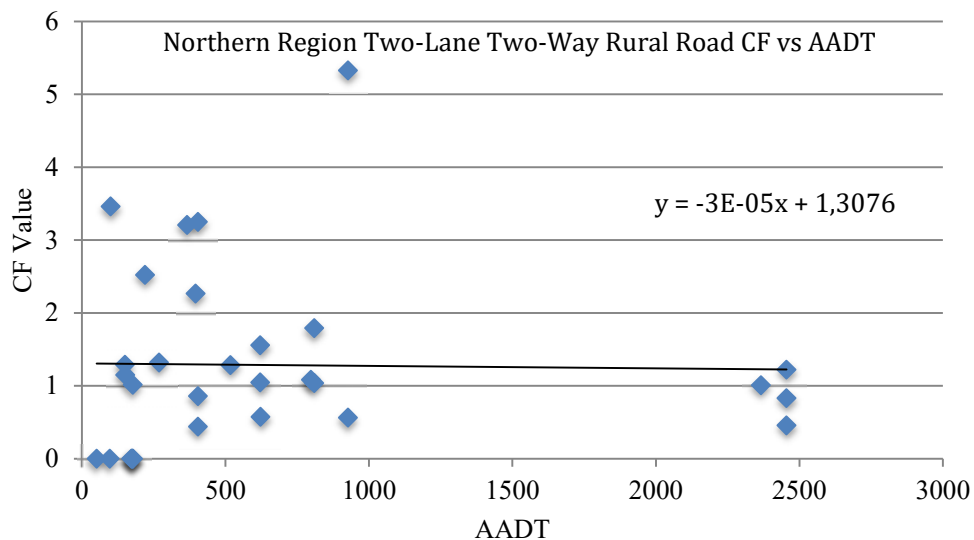


Fig. 11. Northern region, Alaska, two-lane/two-way rural road CF vs AADT

VI. RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 gives a summary of the calculated CF per region and facility type, along with the recommended CF for use. If CFs had been similar enough across regions, they may have been combined per facility type for easier and more realistic application.

TABLE 3
CALIBRATION FACTORS FOR ALASKA

Region	Facility Type	Calculated CF	Recommended CF
Northern	Two-Lane Highway Segments	1.22	1.25
	Rural Two-Lane Three-Leg Unsignalized Intersections	1.11	1.10
	Rural Two-Lane Four-Leg Unsignalized Intersections	0.93	
	Urban Three-Leg Unsignalized Intersections	1.33	
	Urban Four-Leg Unsignalized Intersections	0.99	
	Urban Four-Leg Signalized Intersections	3.29	3.29
Central	Two-Lane Highway Segments	1.25	1.25
	Rural Two-Lane Three-Leg Unsignalized Intersections	0.82	0.81
	Rural Two-Lane Four-Leg Unsignalized Intersections	0.80	
	Urban Three-Leg Unsignalized Intersections	1.72	1.72
	Urban Four-Leg Unsignalized Intersections	2.37	2.37
	Urban Four-Leg Signalized Intersections	3.66	3.66
Southcoast	Urban Three-Leg Unsignalized Intersections	1.60	1.60
	Urban Four-Leg Unsignalized Intersections	1.04	1.04
	Urban Four-Leg Signalized Intersections	1.84	1.84

Many of the values are greater than 1. While the value of greater than 1 indicates that crash rates in Alaska are higher than in the contiguous United States, this is not surprising due to driving conditions in the state's extreme weather. Other studies in similar regions, such as Regina, Canada, show similar values, indicating that the calibration process has been performed in a valid manner. Note that the CFs for signalized intersections in Alaska, especially in the Central region, are three to four times those of the HSM. This CFs reflects much higher crash rates on this type of facility compared with the rest of the nation and other countries for CFs calculated to date. High traffic volume in combination with aggressive driver behavior, congestion, wildlife, daylight hours, and weather conditions can be the cause of this outcome.

VII. CONCLUSION

Even though many of the CF values for Alaska are higher than the nation's average, for the most part, the HSM models were found to accurately predict for the state once the CF per region per facility type was applied. Special attention is needed when using the CFs for four-leg signalized intersections as being relatively high. The Alaska DOT&PF and agencies in other cold regions should consider the recommendations that follow.

VIII. RECOMMENDATIONS

Due to largely varying values across the state, Alaska cannot be blanketed with one CF value. Rather, the recommended value per region per facility type, generated as part of this research, should be applied during the design process to help reduce accidents. These values should not be used for enforcement, and the HSM should be recalibrated every 2 to 3 years to ensure accuracy.

To increase accuracy of the HSM, state-specific SPFs should be developed, especially for the facility types with significantly high CF values. In the case of Alaska, these facility types include urban four-way signalized intersections and unsignalized intersections in the Northern and Central regions.

Finally, a study concerning crash-reporting procedures in Alaska compared with other jurisdictions could ascertain the percentage of crash reporting in other states to further validate calibration accuracy.

ACKNOWLEDGMENT

Thank you to the Alaska Department of Transportation and Public Facilities (DOT&PF) and the Federal Highway Administration (FHWA), for providing funding for this project under grant number FHWA-AK-RD- 000S867, Z839380000.

REFERENCES

- [1] Alluri, P., Saha, D., Liu, K., and Gan, A. (2012). *Improved Processes for Meeting the Data Requirements for Implementing the Highway Safety Manual (HSM) and Safety Analyst in Florida*. Grant No. BDK80-997-37. Final Report.
- [2] Barber, P. (2014). *Calibration of the Highway Safety Manual Models for Quebec*. Prepared for the Road Safety Policy Development – Past, Present & Future Session at the 2014 Transportation Association of Canada Conference in Montréal, Québec.
- [3] Bowie, J., Martindale, R., and Fay, D. (2014). *Calibrating the HSM for Transportation Planning Projects in Alaska*. Prepared for the 2014 Joint Western/Midwestern ITE District Annual Meeting.
- [4] FHWA (Federal Highway Administration). (2013). Using Risk to Drive Safety Investments. FHWA-HRT-13-004, Vol. 76, No. 6.
- [5] Mehta, G., and Lou, Y. (2013). Calibration and Development of Safety Performance Functions for Alabama: Two-Lane, Two-Way Rural Roads and Four-Lane Divided Highways. Transport Research International Documentation – TRID. Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1242455>
- [6] Saito, M., Brimley, K. B., and Schultz, G. (2012). Calibration of Highway Safety Manual Safety Performance Function Development of New Models for Rural Two-Lane Two-Way Highways,

- Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2279, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 82–89.
- [7] Sipple, C. Matthew. (Dec 2014). Calibration and Development of Safety Performance Functions for Rural Highway Facilities in Idaho. Retrieved From digital.lib.uidaho.edu/cdm/ref/collection/etd/id/648
- [8] Srinivasan, R., and Carter, D. (2011). *Development of Safety Performance Functions for North Carolina*. North Carolina Department of Transportation.
- [9] Sun, X., Brown, H., Magri, D., and Shirazi, H. H. (2013). Calibration of the Highway Safety Manual for Missouri, Mid-America Transportation Center: *Report #MATC-MU: 177 Final Report 25-1121-0003-177*.
- [10] Williamson, M., and Zhou, H. (2012). Develop Calibration Factors for Crash Prediction Models for Rural Two-Lane Roadways in Illinois. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies. Changsha, China, August 1–3, 2012, pp. 330–338.
- [11] Xie, F., Gladhill, K., Dixon, D. K., and Monsere, C. (2011). Calibration of Highways Safety Manual Predictive Models for Oregon State Highways Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2241, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 19–28.
- [12] Young, J., and Park, P. (2012). *Comparing the Highway Safety Manual's Safety Performance Functions with Jurisdiction-Specific Functions for Intersections in Regina*. Prepared for the Implementation of Safety Prediction Methods in the Process and Procedures of a Transportation Agency Session of the 2012 Annual Conference of the Transportation Association of Canada in Fredericton, New Brunswick.

Analysis of the Gate-To-Channel Capacitance Variation for the Tri-Gate Nanowire Junctionless Transistors

B. Smaani^{*1,2}, Y. Yakhelef^{1,3}, F. Nafa⁴, M. S. Benlatreche⁵, S. Latreche²

^{*}b.smaani@univ-boumerdes.dz, ORCID: 0000-0002-6494-3708

¹*Ingénierie des Systèmes Electriques Department, Faculty of Technology, Boumerdes University, Algeria*

²*Laboratoire Hyperfréquences et Semiconducteurs, Constantine 1 University, Algeria*

³*LAIG research laboratory of Guelma, Algeria*

⁴*Laboratoire d'Ingénierie et Systèmes de Télécommunications, Faculté de Technologie, Boumerdes*

⁵*Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf Mila, Algeria*

Abstract In this paper, the gate-to-channel capacitance variation for the tri-gate nanowire junctionless transistor (JLT) has been analyzed. It is based on the 2-D electrostatic numerical simulation realized using Silvaco-TCAD Software. The flat-band voltage and the threshold voltage are extracted through the plotting of the derivative for the gate-to-channel capacitance versus the gate voltage. This plotting is performed for different values of the channel width and the channel height of the tri-gate JLT. Moreover, the physical effect of the back-gate biasing has been investigated.

Keywords: *tri-gate junctionless nanowire, gate-to-channel capacitance, flat-band voltage, threshold voltage*

I. INTRODUCTION

The multiple-gates (MG) field-effect transistors (FETs) have become an industrial choice for semiconductor companies to realize complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) circuits with a recent technology nodes [1, 2]. The good electrical performances and the simple manufacturing process make the MG FET as one of the best candidate for the scaling of CMOS circuits [3-5]. Also, the MG FETs are MOSFET transistor with different gates configuration built on the SOI (silicon-on-insulator) technology. In addition, these types of device offer excellent control of the channel electrostatic potential, which minimize the impact of short-channel effects (SCEs) [6-9].

In order to continue the Scaling of CMOS circuits, the channel lengths of the MG FETs are moving beyond 15nm [6]. However, manufacturing the nano-scale MG FETs with sub 15nm has become a technological challenge for the semiconductor companies [2]. In this context, the realization of a gradual doping and the formation of ultrafine junctions become more and more complex [2, 10]. To overcome this challenge, the junctionless transistors (JLT) are proposed. These types of transistors are defined as MOSFETs transistors without junctions [11]. Moreover, the gradual doping is not required in the JLTs. In the case of JNTs, only one type of doping is realized in the all the device. For this reason the JLTs offer a simple and compatible manufacturing process [12]. In the other hand, comparing the JLTs with the classical MOSFETs,

the JLTs transistors are accumulation mode devices with better electrical performances, excellent control of short-channel effects (SCEs) and a simpler fabrication process [13, 14].

In this work, we present the study and the analysis of the variation of the gate-to-channel capacitance for the tri-gate junctionless nanowire transistor (JLT). In this context, the threshold voltage and the flat-band voltage of the tri-gate JLT are extracted using the parameter extraction method through the numerical simulation results of the device performed with Silvaco-TCAD [15]. This type of study for the tri-gate JLTs offers helpful information for their practical applications as well as for a better understanding of the tri-gate JLTs behaviour, especially for the accurate description of the key parameters for the tri-gate JLTs device. Moreover, it is very useful for compact modeling of tri-gate JLTs devices.

II. ARCHITECTURE OF THE DEVICE

Let's consider the schematic view for the tri-gate junctionless transistor (JLT) shown in Fig.1 (a).

In this context, the structure of the gate-to-channel capacitance for the tri-gate JLT can be presented as shown in Fig.1 (b), it represents the cross section of a symmetrical tri-gate JLT device.

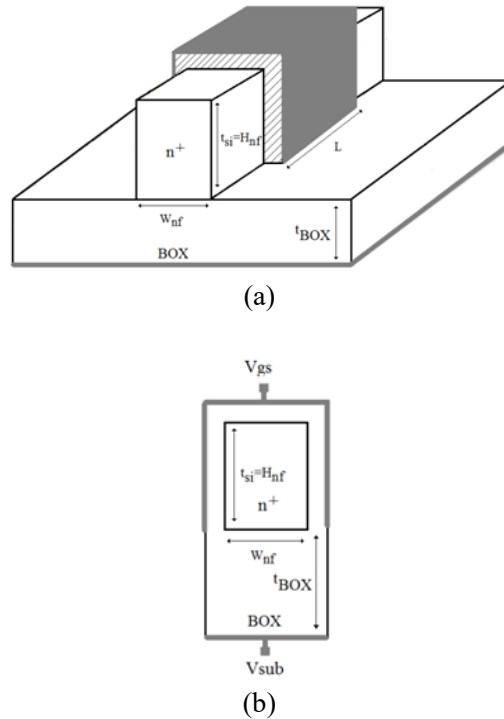


Fig. 1. (a) Schematic view of the tri-gate JLT. (b) Cross section of the tri-gate JLT.

In this case of study, we consider the gate-channel capacitance (Fig.1 (b)) for a heavily doped tri-gate JLT with a long channel. The technological parameters of this device are indicated in

Table.1. V_{gs} and V_{sub} are the gate bias and back-gate bias, respectively.

TABLE 1
PARAMETERS OF THE CONSIDERED STRUCTURE

Parameters	Symbol	Value
Channel width	W_{nf}	12, 20, 40, 60, 80, 100 and 150nm
Channel length	L_{nf}	100nm
Channel height	H_{nf}	8, 16, 24 and 32nm
Oxide thickness	t_{ox}	1.3nm
Doping concentration	N_D	$5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$
Buried oxide thickness	t_{BOX}	145nm

III. DESCRIPTION OF THE PARAMETERS EXTRACTION METHOD

Several methods have been developed and revised for the extraction of electrical parameters of JLN transistors, such as the flat-band voltage, the doping concentration, and the threshold voltage. Most of the proposed methods are based on the current-voltage characteristics or the capacitances-voltage measurement [16, 17].

To extract the flat-band voltage V_{fb} and the threshold voltage V_{th} of the gate-channel capacitance for tri-gate JLT, we use the gate-to-channel capacitance measurements based on the numerical simulations of the structure performed with Silvaco-TCAD.

Moreover, the considered method is based on the plotting of the average carrier concentration versus the gate voltage, for the extraction and the determination of important parameters such as the flat-band voltage, the threshold voltage, and also the doping concentration. Moreover, we use the GUMMEL method for the numerical solution calculation of the Poisson equation and the continuity equations for both electrons and holes.

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

Fig.2 shows the variation of the gate-to-channel capacitance C_{gc} versus the gate bias V_{gs} for the tri-gate JLT with a channel width of 20nm, and a channel height of 8nm. Indeed, the gate-to-channel capacity starts to increase, as a function of V_{gs} , it is related to the formation of bulk neutral channel in the initially fully-depleted channel.

The derivative of the gate-to-channel capacitance dC_{gc}/dV_{gs} versus the gate bias V_{gs} is presented in Fig. 3. We can see that the curves include two peaks, the first peak corresponds to the threshold voltage V_{th} , and the second peak indicates the flat-band voltage V_{fb} . In this case, the flat-band voltage is equal to 0.35V but the threshold voltage varies with the channel height H_{nf} and the channel width W_{nf} of the device.

Fig.3 (a) shows the derivative of the gate-to-channel capacitance versus the gate bias with

varying of channel width W_{nf} , from 12 nm to 150nm. We can conclude that reducing the channel width increase the position of the first peak which denotes the conduction threshold voltage. The reason for the important variation of the threshold voltage is that for narrow widths, the sidewall gate effect through the depletion region strongly affects the formation of the bulk neutral channel. Fig.3 (b) illustrates the derivative of the gate-to-channel capacitance versus the gate bias with varying of channel height H_{nf} , from 16nm to 32nm. In this case, the reduction of the channel height increase the threshold voltage described by the first peak. Also, the variation of the threshold voltage in this case is less important compared to the case of Fig.3 (a). This because the effect of the top-gate is very important compared to the sidewall gate effect. It can also be noted that the position of the second peak is still fixed, which means that the flat-band voltage does not change.

The increase of the carrier concentration is strongly related to the reduction of the channel height H_{nf} as shown on Fig.4. However, the significant reduction in the channel height creates a physical behavior equivalent to the planar JLTs devices.

In order to extract the doping concentration, we plot the average carrier concentration versus the gate voltage with varying the channel width as shown on Fig.5. The doping concentration and the flat-band voltage can be easily defined trough the curves intersection point. In this case, the doping concentration is equal to $5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$, which is the adequate value of the considered doping concentration. However, it is worth noticing that the flat band voltage is equal to 0.45V. A voltage difference of 0.1V is noted between the value of the flat-band voltage obtained with this method and the one obtained through the second peak shown in Fig.3. Moreover, the reason for the offset of the second peak of the derivative of the capacitance is the variation of the increment of the electronic charge density in the depletion zone. Although the electronic charge density is lower than the doping charge (and so one is not in accumulation), then it cannot be neglected near the flat-band voltage.

Fig.6 shows the effect of the back-gate biasing V_{sub} on the derivative of the gate-to-channel capacitance versus the gate bias. The first peck which indicates the threshold voltage conduction is decreasing when increasing the substrate bias V_{sub} . The reason is the reducing of the bulk neutral channel which squeezing the depleted region. But in the case of a strong negative value of V_{sub} , the fully-depletion regime becomes important compared to the partial depletion. In addition, there will be a strong formation of a neutral channel.

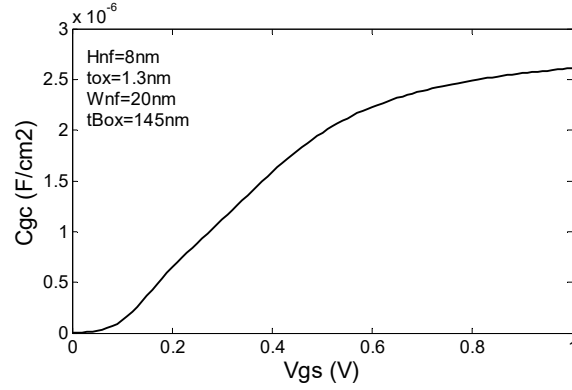


Fig. 2. The gate-to-channel capacitance C_{gc} versus the gate bias V_{gs} .

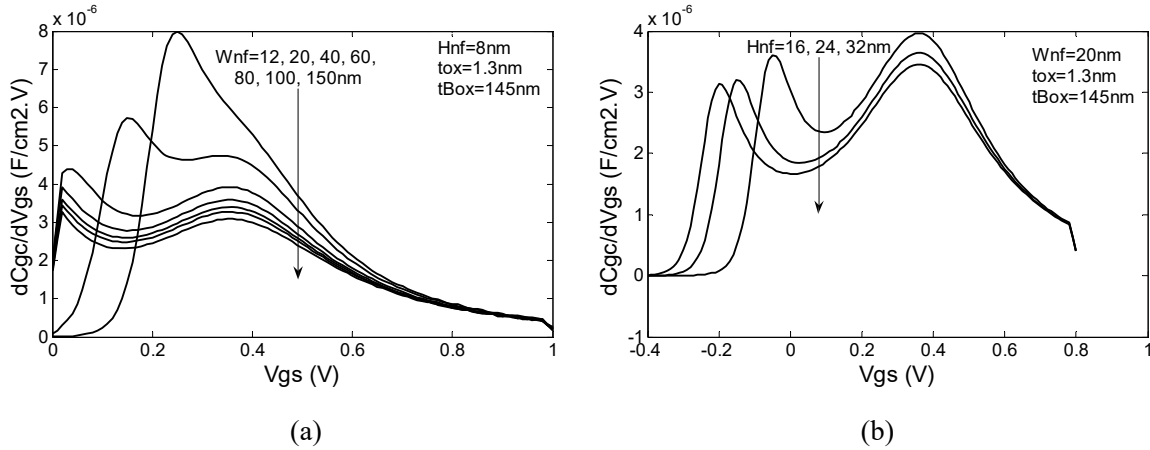


Fig. 3. (a) The derivative of the gate-to-channel capacitance C_{gc} versus the gate bias V_{gs} with varying the channel width W_{nf} . (b) The derivative of the gate-to-channel capacitance C_{gc} versus the gate bias V_{gs} with varying the channel height H_{nf} .

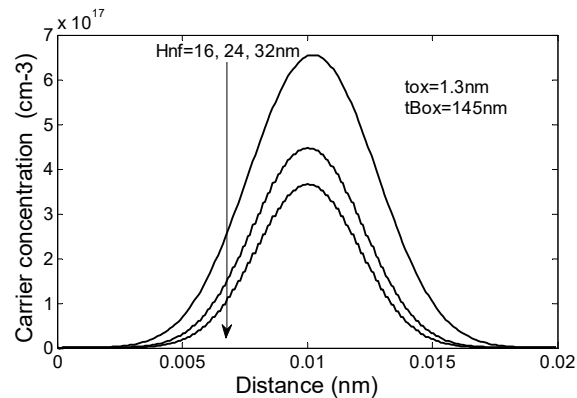


Fig. 4. The carrier concentration variation in the channel of the gate-to-channel capacitance.

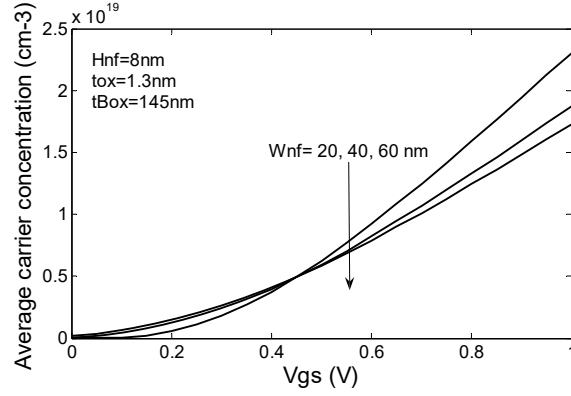


Fig. 5. The average carrier concentration as a function of the gate bias.

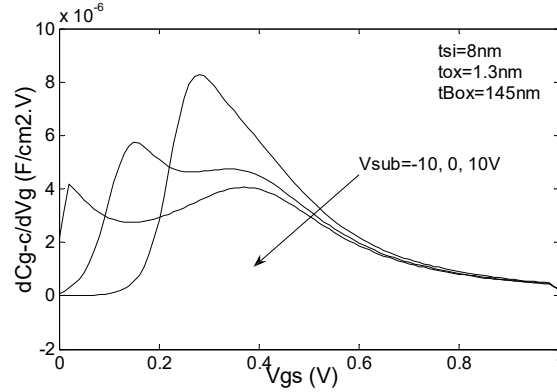


Fig. 6. The derivative of gate-to-channel capacitance C_{gc} versus the gate voltage V_{gs} with varying the substrate bias V_{sub} .

V. CONCLUSION

In this paper, we have extracted the parameters of the gate-to-channel capacitance in the tri-gate JLT, such as the flat-band voltage, the threshold voltage and the doping concentration. Moreover, we have analyzed the derivative of the gate-to-channel capacitance dC_{gc}/dV_{gs} versus the gate bias V_{gs} with varying the channel width, and also the channel height. The variation of dC_{gc}/dV_{gs} and the carrier concentration are strongly related to the channel height and especially the channel width. Indeed, the first peak in dC_{gc}/dV_{gs} variation, which denotes the threshold voltage, is influenced by the channel width variation through the sidewall gate effect of the structure. Moreover, the second peak in dC_{gc}/dV_{gs} variation, which describes the flat-band voltage, is shifted because of the increment of electronic charge density in the depletion zone. The presented study is very useful for developing analytical compact solutions for accurate description of the second peak in dC_{gc}/dV_{gs} variation of tri-gate JLTs.

REFERENCES

- [1] N. Arora, MOSFET Modeling for VLSI Circuit Simulation: Theory and Practice, World Scientific, 1993.
- [2] ITRS, International technology roadmap for semiconductors: executive summary, Int. Technol. Roadmap Semicond. www.itrs.net, 2016.
- [3] J-P. Colinge, FinFETs and Other Multi-Gate Transistors, Springer, 2008.
- [4] W. Xu, H. Wong, K. Kakushima, H. Iwai, "Quasi-analytical model of ballistic cylindrical surrounding gate nanowire MOSFET," Microelectronic Engineering., vol. 138, pp. 111–117, 2015.
- [5] O. Sang-Hyun, M. Don, H. JM, "Analytic description of shortchannel effects in fully-depleted double-gate and cylindrical, surrounding-gate MOSFETs," IEEE Electron Device Letters., vol. 21, pp. 445–7, 2000.
- [6] O. Samy, H. Abdelhamid, Y. Ismail, A. Zekry , "A 2D compact model for lightly doped DG MOSFETs (P-DGFETs) including negative bias temperature instability (NBTI) and short channel effects (SCEs)," Microelectronics Reliability, vol. 67, pp. 82–88, 2016.
- [7] F. A. Noor, C. Bimo, I. Syuhada, T. Winata, K. Khairurrijal, "A compact model for gate tunneling currents in undoped cylindrical surrounding-gate metal-oxide-semiconductor field-effect transistors," Microelectronics Reliability, vol. 216, pp. 11086, 2019.
- [8] Raksharam, Alope K. Dutta, "A unified analytical drain current model for Double-Gate Junctionless Field-Effect Transistors including short channel effects," Solid-State Electronics, vol. 130, pp. 33-40, 2017.
- [9] B. Smaani, S. Latreche, B. Iniguez, "Compact drain-current model for undoped cylindrical surrounding-gate metal-oxide-semiconductor field effect transistors including short channel effects," J. Appl. Phys., vol. 114, pp. 224507, 2013.
- [10] C-W. Lee, A. Afzalian, et al, "Junctionless multigate field-effect transistor," Applied Physics Letters, vol. 94, pp. 053511, 2009.
- [11] J-P. Colinge, C-W. Lee, et al., "Nanowire transistors without junctions," Nature Nanotech, vol. 5, pp. 225–9, 2010.
- [12] J-P. Colinge, A. Kranti, et al., "Junctionless Nanowire Transistor (JNT): Properties and design guidelines," Solid-State Electronics, vol. 65, pp. 33-37, 2011.
- [13] C.-H. Park, M. D. Ko, et al., "Electrical characteristics of 20-nm junctionless Si nanowire transistors," Solid-State Electronics, vol. 73, pp. 7–10, 2012.
- [14] T. Rudenko, R. Yu et al., "On the mobility behavior in highly doped junctionless nanowire SOI MOSFETs," Advanced Materials Research, vol. 854, pp. 35–43, 2014.
- [15] Device simulator ATLAS, Silvaco International, 2007
- [16] T. Rudenko, R. Yu, S. Barraud, et al., "Method for Extracting Doping Concentration and Flat-Band Voltage in Junctionless Multigate MOSFETs Using 2-D Electrostatic Effects," IEEE Electron Device Letters, vol. 34, 2013.
- [17] D.-Y Jeon, S.J. Park, M. Mouis, et al, "A new method for the extraction of flat-band voltage and doping concentration in Tri-gate Junctionless Transistors," Solid-State Electronics, vol. 81, pp. 113–118, 2013.

TLBO ile Ahşap Çerçeve Yapıların Yangın Durumunda Optimum Maliyeti

Optimum Cost Design of Timber Frame Structures in Fire with TBLO

Serdar Ulusoy

*: Serdar.ulusoy@tau.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6272-945X

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Türk-Alman Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet: Yapı tasarımında ekonomi ve güvenlik dengesinin sağlanabilmesi için yapısal taşıyıcı elemanların uygun kesitler ile boyutlandırılması, yapı mühendislerinin en önemli görevlerinden birisidir. Bu bağlamda, yapısal sistemlerin optimum maliyetlerinin elde edilebilmesi için farklı nümerik algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların önemli temsilcilerinden birisi ise metasezgisel algoritmalar. Metasezgisel algoritmalar doğada var olan içgüdüsel olaylardan esinlenerek amaç fonksiyonunu en aza veya maksimum değerine ulaştırmak için geliştirilmişlerdir. Yapı mühendisliğindeki temel görevi ise yapısal elemanların kesitlerini (tasarım değişkenleri) dikkate alarak, yapısal maliyet tasarımı (amaç fonksiyonunu) en aza indirmektir. Bu çalışmada, bir sınıf içerisindeki öğrenci ve öğretmen benzeşiminden esinlenerek orataya çıkan Öğretim-öğrenim tabanlı optimizasyon (TLBO) kullanılmıştır. Bu algoritmanın esaslarına göre ahşap taşıyıcı elemanların, F30-B (Yangına dayanıklılık süresi 30 dakikadan fazla), F60-B (Yangına dayanıklılık süresi 30 dakikadan fazla) ve F90-B (Yangına dayanıklılık süresi 90 dakikadan fazla) gibi farklı yangın durumları için optimum kesitleri elde edilmiştir. Bu kesitler elde edilirken, EN 1995 1-2 (Eurocode 5: Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 1-2 Genel yapısal yangın tasarımı) belirtilen iki farklı yöntemden biri olan azaltılmış karakteristik özellikler yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, ahşap çereceve sistemin yapısal elemanların optimum kesitleri ve ahşap tipi, kesit ve karakteristik özelliklerin zaman göre değiştiği yangın durumu için kısa sürede belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler— Ahşap Yapı, Öğretme-Öğrenme tabanlı Optimizasyon, Optimum yangın tasarım, Eurocode 5

Abstract: It is one of the most important mission of structural engineers to dimension the structural elements with appropriate cross-sections in order to ensure economic and safety balance. In this context, different numerical algorithms have been developed in order to obtain the optimum cost design of structural systems. One of the important representatives of these algorithms is metaheuristic algorithms. Metaheuristic algorithms which are inspired by the instinctive events that exist in nature have been developed to minimize or maximize the objective function. The main task of these algorithms in the structural engineering is to minimize the structural design cost (the objective function) by taking sections of the structural elements (the design variables) into account. In this study, Teaching-Learning-Based Optimization (TLBO) are used, which is inspired by student and teacher analogy in a classroom. According to the principles of this algorithm, the optimum cross-sections of the structural timber

elements are obtained for the different fire situations such as F30-B (Fire resistance time more than 30 minutes), F60-B (Fire resistance time more than 60 minutes) and F90-B (Fire resistance time more 90 minutes). While obtaining these sections, the reduced properties method, one of the two different methods specified in EN 1995 1-2 (Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2 General structural fire design) are used. As a result, the optimum cross section and the wood type of the frame structure made of timber are determined in a short time for the fire situation where the cross section and characteristic properties change with time.

Keywords— *Teaching-Learnig based optimization, Frame Timber Structure, Eurocode 5 Fire Design.*

I. GİRİŞ

Yapı mühendisliğinde, güvenlik ve maliyet dengesinin sağlanabilmesi için bazı uygulamalar ve basitleştirmeler geliştirilmiştir. Böylece karmaşık problemlerin çözümünde geleneksel matematiksel yöntemler, yerini bu uygulama ve basitleştirmelere bırakmıştır. Geliştirilen bu uygulama ve basitleştirmeler arasında metasezgisel algoritmaların en önemli avantajı ise doğada var olan olaylardan esinlenerek amaç fonksiyonun maksimum veya minimum değerini kısa süre etkili sonuçlar elde edebilmesidir.

Metasezgisel algoritmalar doğada var olan içgüdüsel davranışları matematiksel denklemler ile ifade eden çözüm kümesinin içerisinde uygun çözümü sunan algortimlardır. Her bir metasezgisel algoritmanın yapısını oluşturan matematiksel ifadeler farklılıklar gösterebilir, en başarılı sonucu çözüm olarak seçme özelliği tüm algortimların ortak özelliğidir. Metasezgisel algoritmalar üç gruba sınıflandırılır. Bunlar sürü zekasına dayalı algortimlar, evrimsel algortimlar ve diğer metasezgisel algortimlardır. Balık, kuş, karınca ve arı gibi sürü halinde yaşayan canlıların iç güdüsel hareketlerinin matematiksel olarak ifade eden karınca koloni optimizasyonu (ACO) [1], parçacık sürü optimizasyonu (PSO) [2], çiçek tozlaşma algoritması (FPA) [3], yarasalar algoritması (BA) [4], ateş böceği algoritması (FA) [5] ve yapay arı kolonisi (ABC) [6] sürü zekasına dayalı algortimlardır. Genetik algoritma (GA) [7] evrimsel algortimların en önemli temsilcisi iken uyum arama algoritması (HSA) [8] öğrenme- öğretme tabanlı algortima (TLBO) [9], Jaya algoritması (JA) [10] diğer metasezgisel algortimların önemli temsilcileridir.

Literatürde, var olan, modifiye edilerek geliştirilen veya yeni geliştirilen metasezgisel algortimlar ile yapısal elemanların optimum olarak tasarlanması katkı sağlayan bir çok çalışma bulunmaktadır.

Betonarme çok açıklıklı ve çok katlı çerçeve sistemin statik yükler altında optimum kesitlerinin uyum arama algoritmasıyla [11], betonarme kesitin yarasalar, öğrenme-öğretme ve uyum arama algoritması ile optimum yapı maliyetini belirlenmesi [12], ardgermeli eksenel silindirik duvarın uyum arama algoritması ile ardından hibrid metasezgisel algortimları ile farklı duvar yüksekliklere sahip modellerin farklı yüklemeler altında optimum tasarımının yapılması [13-14], betonarme istinat duvarının ve betonarme kazıkların uyum arama algoritması ile karbondioksit ve yapı maliyetinin minimize edilmesi [15-16], uyum arama algoritması ile çelik I profil kesitlerde yerel burkulmaların [17], lamine kompozit levhalarda

ise maksimum burkulma yükünün optimize edilmesi [18], çelik yapı elemanlarının [19-21] ve betonarme yapı elemanlarının [22-26] farklı algortimalar ile boyutlandırılması, yapı zemin etkileşimi içeren aktif tendonlu yapı modelinin PID kontrolcü parametrelerinin belirlenmesinde Jaya, çiçek tozlaşma ve öğrenme öğretme tabanlı optimizasyon ve uyum arama algortimasının kullanılması [27], aynı algortimalar ile farklı zaman gecikmeleri ve kontrol limiti dikkate alınarak yapı modelinin PID kontrolcü parametrelerinin belirlenmesi [28-29], aktif kütle sönümleyicinin ve aktif tendonlu yapı modellerinin PID kontrolcü parametrelerinin modifiyeli uyum arama algoritması ile hesaplanması [30-31], pasif kütle sönümleyici parametrelerinin yarasa algoritması [32] ve çiçek tozlaşma algortiması ile belirlenmesi [33] yapılan çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada, Ahşap çerçeve sistemlerin optimum tasarımı Eurocode 5: Ahşap yapıların tasarımı- Bölüm 1-2 Genel yapısal yangın tasarımı [34] göre yapılmıştır. Sonuç olarak üç farklı yangın durumunda güvenli ve ekonomik yapı eleman kesitlerinin belirlenmesi için metasezgisel algortimaların kullanımının uygun bir yöntem olduğu saptanmıştır.

II. AHŞAP ÇATI SİSTEMLERİN GENEL YANGIN TASARIMI

Ahşap yapı elemanların yapısında yanıcı malzemeler var olmasına rağmen, enine kesitleri yeterli boyutlarda ise oldukça yüksek yangın direncine sahiptirler. Bu olumlu davranışın en önemli nedeni ise ahşabın dış yüzeyinde oluşan ısı iletkenliği oldukça düşük koruyucu bir kömür tabakasının oluşmasıdır [35]. Yangına maruz kalan ahşap kesitin dış yüzeyinde oluşan ısı iletkenliği düşük kömür tabakası Şekil 1'de [36] gösterilmiştir. Yangın durumunda, yapısal elemanlar yangına karşı dayanım sürelerine göre örnek olarak F30-B (Yangına dayanım süresi 30 dakikadan fazla), F60-B (Yangına dayanıklılık süresi 60 dakikadan fazla) ve F90-B (90 dakikadan fazla yangına dayanıklılık süresi) sınıflandırılır [37].



Şekil 1. Isı iletkenliği düşük koruyucu kömür tabakası [36]

Yangın durumunda, ahşap yapıların tasarım yapılırken EN 1990:2002 (Eurocode: Genel tasarım Esasları) [38] belirtilen yük kombinasyonu ve Eurocode 5: (Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 1- 2 genel yapısal yangın tasarımı) [34] kullanılmaktadır. Bu yük kombinasyonu Denklem 1'de verilmiştir. Burada $E_{d,fi}$ yangın durumundaki tasarım yükünü, γ_{GA} yangın

durumundaki sabit yük katsayısını (1.0 değerine eşittir), G_k sabit yükü, $\psi_{1,i}$ ve $\psi_{2,i}$ kombinasyon faktörünü, $Q_{k,1}$ ve $Q_{k,i}$ hareketli yükü ve $A_d(t)$ indirekt yüklemelerin tasarım değerini göstermektedir. İndirekt yüklemeler yük taşıma davranışı üzerinde hafif bir etkiye sahipse ihmal edilebilir [39].

$$E_{d,fi} = \sum \gamma_{GA} * G_k + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i} + \sum A_d(t) \quad (1)$$

Yangın durumunda ahşap yapı elemanının dayanım ve rijitlik değerleri Denklem 2 ile belirlenir. Normal sıcaklıkta dayanım özelliklerinin %20 fraktal değeri, karakteristik dayanım özellikleri ile k_{fi} faktörünün çarpımından elde edilir. Farklı ahşap yapı elemanlarına ait k_{fi} faktörü Tablo 1 verilmiştir.

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2)$$

Burada, $f_{d,fi}$ yangın durumundaki tasarım dayanımını, $k_{mod,fi}$ yangın için modifikasyon faktörünü, f_{20} normal sıcaklıkta dayanım özelliklerinin %20 fraktal değerini ve $\gamma_{M,fi}$ yangın durumundaki güvenlik katsayısını (1.0 değerine eşittir) ifade etmektedir.

TABLO I
FARKLI MATERYALLER İÇİN k_{fi} DEĞERLERİ.

Materyal	k_{fi}
Masif ahşap	1,25
Lamine Ahşap	1,15
LVL	1,10

Yangına maruz kalan kiriş ve kolonların boyutlandırılması için EC 1995-1-2' de iki yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerde birisi azaltılmış kesit yöntemi diğeri ise azaltılmış dayanım yöntemidir. Azaltılmış kesit yönteminde efektif kesit azaltılırken, diğeri yöntemde ahşap yapı elemanının mekanik özellikler azaltılmaktadır. Bu çalışmada ahşap çerçeve sisteminin yangın durumunda boyutlandırması yapılırken, azaltılmış dayanım yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yangın durumunda eğilme $f_{m,d,fi}$, basınç $f_{c,0,d,fi}$ ve elastisite modülü E_{fi} için tasarım dayanım değerlerini ve modifikasyon katsayıları belirlemek için kullanılan denklemler Denklem 3-8 verilmiştir. Burada yangın durumunda artı kalan kesitin çevresi p ile alanı ise A_r ile gösterilmektedir. Ayrıca $f_{m,k}$ ahşap yapı elemanının karakteristik eğilme dayanımını, $f_{c,0,k}$ karakteristik basınç dayanımını ve E_{005} elastisite modülünü temsil etmektedir.

$$k_{mod,m,fi} = 1 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} \quad (3)$$

$$k_{mod,c,0,fi} = 1 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} \quad (4)$$

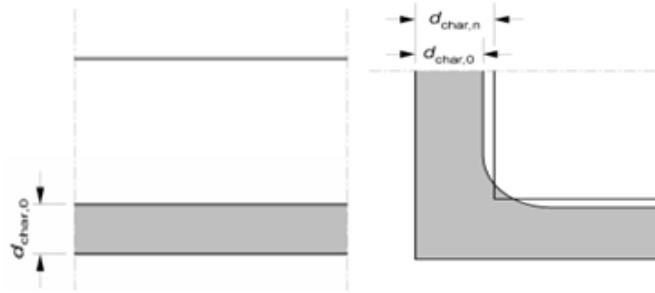
$$k_{mod,E,fi} = 1 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} \quad (5)$$

$$f_{m,d,fi} = \frac{k_{fi} * k_{mod,m,fi} * f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad (6)$$

$$f_{c,0,d,fi} = \frac{k_{fi} * k_{mod,c,0,fi} * f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} \quad (7)$$

$$E_{fi} = \frac{k_{fi} * k_{mod,E,fi} * E_{005}}{\gamma_{M,fi}} \quad (8)$$

Kesit orjinal yüzeyi ile kömürleşme çizgisi arasındaki mesafe olarak bilinen kömürleşme derinliği arta kalan kesitin çevresini ve alanının hesaplanmasında belirleyicidir. Tek boyut için kömürleşme derinliği $d_{char,0}$ ve tek boyutlu köşe şeritleri ve çatlakların dahil edildiği kömürleşme derinliği $d_{char,n}$ Şekil 2 de gösterilmiştir. Kömürleşme derinliği, yangına maruz kalma süresi ve kömürleşme oranına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Tek boyutlu kömürleşme derinliğinin farklı iki durum için hesapları Denklem 9 ve 10'da verilmiştir. Burada t yangına maruz kalma süresini, β_0 tek boyutlu kömürleşme oranını ve β_n ise tek boyutlu köşe şeritleri ve çatlakların dahil edildiği kömürleşme oranını ifade etmektedir. Farklı materyallerin kömürleşme oranları ise Tablo 2 verilmiştir.



Şekil 2. Isı Tek boyutlu kömürleşme derinliği $d_{char,0}$ ve tek boyutlu köşe şeritleri ve çatlakların dahil edildiği kömürleşme derinliği $d_{char,n}$

$$d_{char,0} = \beta_0 * t \quad (9)$$

$$d_{char,n} = \beta_n * t \quad (10)$$

TABLO II
AHŞAP VE LVL İÇİN KÖMÜRLEŞME DERİNLİK ORANI β_0 AND β_n .

Material	β_0	β_n
a) Yumuşak ahşap ve Kayın		
LA yoğunluğu $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
MA yoğunluğu $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,80
b) Sert ahşap		
LA veya MA yoğunluğu $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
LA veya MA yoğunluğu $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL		
yoğunluğu $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
LA:Lamine Ahşap; MA: Masif Ahşap		

Yangın durumunda güvenli bir tasarım yapabilmek için maksimum eğilme, çekme ve basınç gerilmeleri eğilme, çekme ve basınç dayanımlarından daha küçük olmalıdır. Eğilme çekme gerilmesi veya eğilme basınç gerilmelerinde ise Denklem 14-15 verilen şartı sağlaması gerekmektedir. Burada k_m azaltma faktörüdür ve diktörgen kesitler için 0.7 eşittir.

$$\sigma_{m,d,fi} \leq f_{m,d,fi} \quad (11)$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} \leq f_{c,0,d,fi} \quad (12)$$

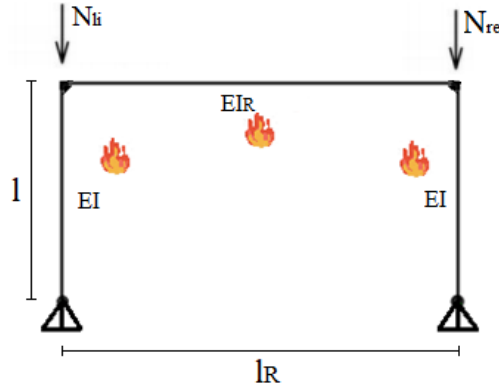
$$\sigma_{t,0,d,fi} \leq f_{t,0,d,fi} \quad (13)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d,fi}}{f_{t,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} + k_m \left(\frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,z,d,fi}} \right) \leq 1 \quad (14)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{f_{c,0,d,fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} + k_m \left(\frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,z,d,fi}} \right) \leq 1 \quad (15)$$

Yangınlı durumda incelenecek ahşap çerçeve sistemi Şekil 3'te verilmiştir. Ahşap yapı elemanları normal gerilme ve burkulma yükü etkisi altındadır. Burkulma boyları ve buna bağlı olarak burkulma yüklerinin hesaplanması için 'Bautaballen für Ingenieure'[40] kaynaktan yararlanılmıştır.

Burada $I_{s,fi}$ yangın durumundaki çubuk elemanların atalet momentini, $N_{s,fi}$ yangın durumunda çubuk elemalardaki normal kuvveti, l_s çubuk boylarını, $i_{y,fi}$ yangın durumunda basınç elemanı enkesitinin y eksenini etrafındaki atalet yarıçapını, $\lambda_{y,fi}$ yangın durumunda y ekseninin yerel burkulma narinlik değerini, η_{ki} dallanma faktörünü ve $l_{ef,fi}$ basınç çubugunun efektif burkulma boyunu temsil etmektedir.



Şekil 3. Ahşap çerçeve sistem.

$$v = \frac{2}{\frac{l_R EI}{l EI_R} + 2} \quad (16)$$

$$\eta_{Ki} = \frac{6v}{(0.216v^2 + 1)(N_{li} + N_{re})} \frac{EI}{l^2} \quad (17)$$

$$l_{ef,li} = \pi \sqrt{\frac{EI}{\eta_{Ki} N_{li}}}, \quad l_{ef,re} = \pi \sqrt{\frac{EI}{\eta_{Ki} N_{re}}} \quad (18)$$

$$\lambda_{y,fi} = \frac{l_{ef,fi}}{i_{y,fi}} \quad (19)$$

$$\lambda_{rel,y,fi} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{005}}} \quad (20)$$

$$k_{y,fi} = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,y,fi}^2] \quad (21)$$

$$\beta_c = 0.1 \quad (22)$$

$$k_{c,y,fi} = \min \left\{ \frac{1}{k_{y,fi} + \sqrt{k_{y,fi}^2 - \lambda_{rel,y,fi}^2}}; 1 \right\} \quad (23)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} * f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} + k_m \left(\frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,z,d,fi}} \right) \leq 1 \quad (24)$$

III. METODOLOJİ

Mühendislik problemlerinin optimum tasarımı, bir veya daha fazla tasarım değişkeni (x_i , $i=1, \dots, n$) kullanarak belirli kısıtlamalar altında ($h(x_i) \leq 0$ veya $g(x_i) = 0$) amaç fonksiyonunun en uygun değere ulaşması sağlamaktır. Optimizasyon sürecinde, mevcut durumdaki amaç fonksiyonu adım adım iyileştirilmesinde ise metasezgisel algortimlardan yararlanılmıştır. Bu algortimlar, sezgisel yöntemler ile çözüm uzayında etkin çözümler ortaya koyan iteratif bir süreçtir. İlk olarak kullanıcı tarafından belirlenen tasarım değişken aralıklarında seçilen değerler ile rastgele ilk amaç fonksiyonu elde edilir. Bu durum tüm metasezgisel algortimlarda ortak bir başlangıçtır. Böylece ilk çözüm kümesi oluşmaktadır. Bir matris içinde toplanan çözüm kümelerinin sayısı birey nüfusuna eşittir. İlk çözüm matrisinden sonra farklı matematiksel ifadeler içeren metasezgisel algortimlar ile çözüm güncellenir. Böylece amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum değeri optimizasyon sürecinin sonunda elde edilmiş olur. Bu çalışmada kullanılan metasezgisel algoritma Öğretme-öğrenme Tabanlı metasezgisel algoritmadır.

Öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon yönteminde bir sınıfın benzeşimi kullanılmıştır. Bu yöntem öğretmen ve öğrenci süreci olmak üzere iki farklı türde tasarım değişkeni üretmektedir. Diğer metotlardan farklı olarak, iki süreç arasında seçim yapılmadan, bu süreçler sırasıyla uygulanmaktadır. Çünkü bir bilginin öğreniminde öğretmen tarafından yürütülen öğretim sürecinden sonra öğrenciler kendi aralarında gelişimlerini sürdürürler. Böylelikle sınıfın tüm bireyleri iyi seviyeye gelmektedir.

Öğretmen sürecinde matris içindeki en iyi sonuç öğretmen olarak seçilir. Mevcut sonucun (X_{mevcut}) güncellenmesi, Denklem (25)'de verildiği gibi rasgele sayıların (rast) kullanımı ile en iyi sonuca ($X_{ögrt}$) yaklaşması sağlanmaktadır. Denklemde, mevcut değişkenlerin ortalaması (X_{ort}) ile beraber bir veya iki değerlerini alabilen öğretim faktörünün (TF) kullanımıyla yeni sonuç (X_{yeni}) bulunmaktadır.

$$X_{yeni} = X_{mevcut} + rast(X_{ögrt} - TFX_{ort}) \quad (25)$$

Öğrenci sürecinde ise rasgele iki (j ve k) sonucun kullanımı ile yeni sonuçlar elde edilmekte, sadece iyi olan sonuçlar güncellenmektedir. Bu süreç Denklem (26)'de matematiksel olarak gösterilmiştir.

$$X_{yeni} = X_{mevcut} + rast(X_j - X_k) \quad (26)$$

IV. BULGULAR

Bu çalışmada, numerik örnek olarak Şekil 3'te gösterilen çerçeve sistemi kullanılmıştır. Çerçeve sistemde kat yüksekliği $l=6.0$ m ve açıklık $l_r=20$ m alınmıştır. Bu modelin üç farklı yangın durumunda (30, 60 ve 90 dakika) optimum tasarımı öğrenme- öğretim tabanlı optimizasyonla yapılmıştır. Ayrıca optimum kesitlere sahip ahşap çerçeve sistemin taşıma kapasitesinin zaman bağlı olarak değişimi şekiller üzerinden ifade edilecektir. Kullanılan farklı ahşap tiplerinin, elastisite Modülü, çekme, eğilme, basınç dayanımı ve maliyetleri ise Tablo 3'de verilmiştir. Optimizasyon sürecinde Matlab programından yararlanılmıştır [41] ve iterasyon ve popülasyon sayısı sırasıyla 400000 ve 10 olarak alınmıştır.

Çerçeve ahşap sistemdeki sabit yük $g_k=2.50\text{KN/m}$, kar yükü $s_k=5.0\text{KN/m}$ ve hareketli yük $q_k=0.75\text{KN/m}$ olarak alınmıştır. Yangın durumunda çubuk kuvvetleri Denklem 1'deki yük kombinasyonu ile hesaplanmıştır. Farklı ahşap sınıfının kullanılması ile öğretme öğrenme algoritmasına göre elde edilen 30, 60 ve 90 dakikalık yangın sürelerinde optimum kesit ve maliyet değeri Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca, optimum kesit ve ahşap sınıfının normal gerilme ve burkulma etkisi altında taşıma kapasitesinin zamana göre değişimi Şekil 4'den Şekil 6'ya kadar verilmiştir.

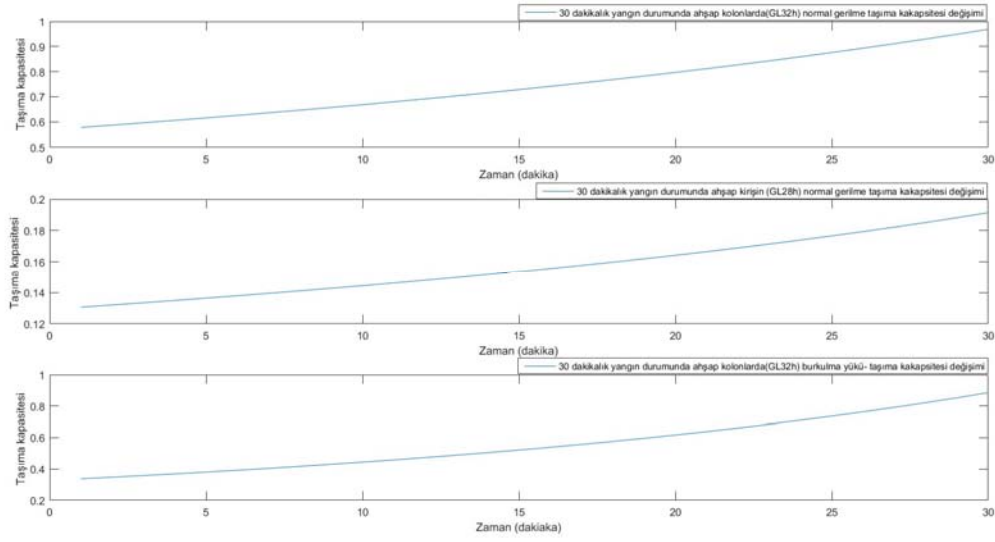
TABLO III
FARKLI AHŞAP TİPLERİNİN DAYANIM DEĞERLERİ $[\text{N/mm}^2]$.

Dayanım sınıfı	GL24h	GL28h	GL32h
Eğilme	24	28	40
Elastisite Modülü	9500	10200	11100
Çekme paralel	16.5	19.5	22.5
Basınç paralel	24	26.5	29
Öz ağırlık (KN/m^3)	3.7	4.0	4.2
Maliyet (unit/m^3)	230	240	250

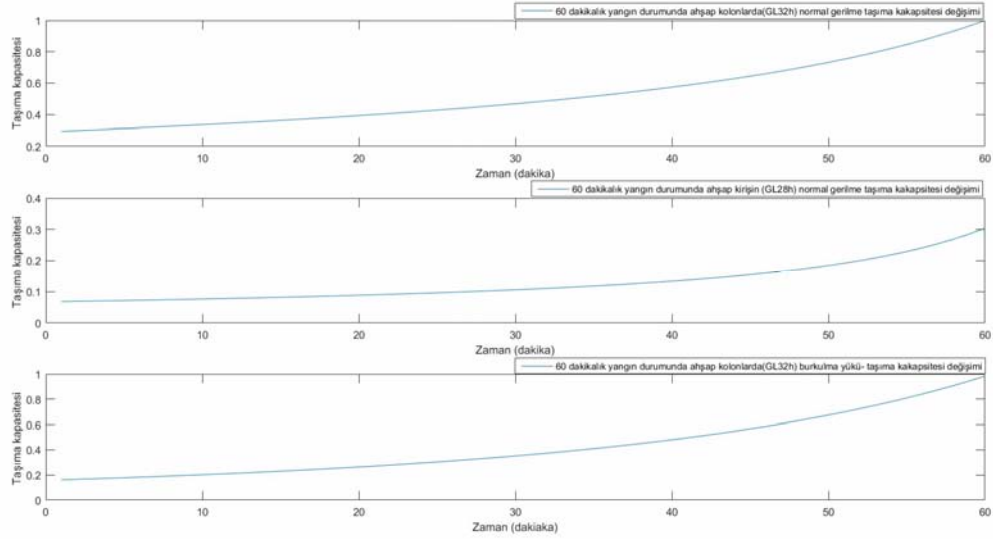
TABLO IV
30, 60 VE 90 DAKİKALIK YANGIN SÜRESİNDE TLBO GÖRE ELDE EDİLEN OPTİMUM KESİTLER
[MM]. .

Yangın Durumu	Yapı Elemanı	Ahşap Tipi	Genişlik	Yükseklik	Maliyet
30 dakikalık yangın	Kolonlar	GL32h	190	190	419.34
	Kiriş	GL28h	120	540	
60 dakikalık yangın	Kolonlar	GL32h	230	230	573.42
	Kiriş	GL28h	120	720	
90 dakikalık yangın	Kolonlar	GL32h	280	280	830.58
	Kiriş	GL28h	170	730	

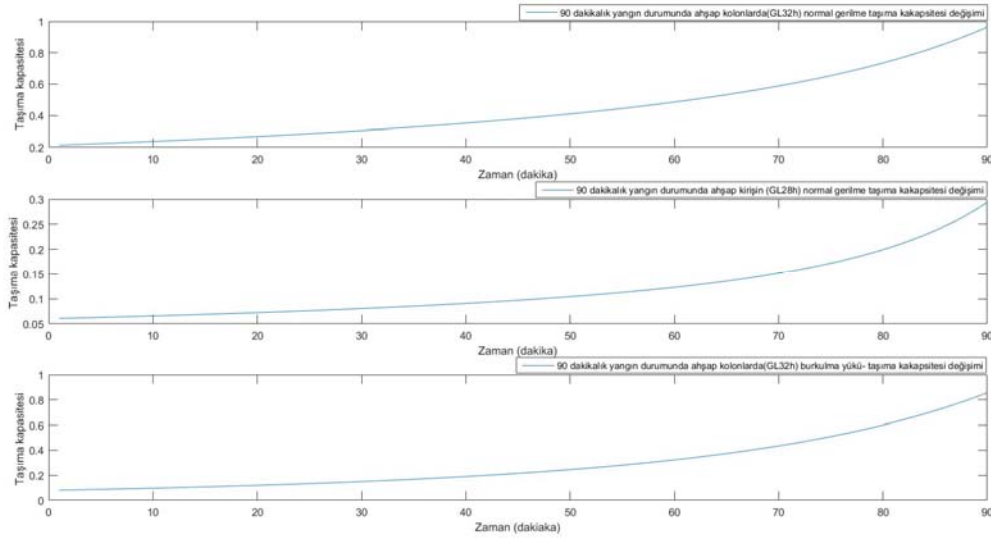
30, 60 ve 90 dakikalık yangında en uygun ahşap sınıfı kolonlar için GL32h, kirişleri için GL28h olarak belirlenmiştir. Ahşap çerçeve sistemin yangın durumunda optimum maliyetleri sırasıyla 419.34, 573.42 ve 830.58 unit/m^3 olarak hesaplanmıştır. 30 dakikalık yangın durumunda kolonlarda normal gerilme altında taşıma kapasitesi 0.97 seviyesine ulaşmıştır. Bu değerler 60 ve 90 dakikalık yangınlarda sırasıyla 1.0 ve 0.96 olarak elde edilmiştir. Burkulma yükü altında üç farklı yangın durumunun taşıma kapasiteleri 0.90-1.0 arasında değişmektedir. Her üç yangın durumunda da kirişlerin taşıma kapasitesi 0.5 üzerine çıkmamıştır.



Şekil 4. Optimum kesit ve ahşap sınıfının 30 dakikalık yangın durumunda normal gerilme ve burkulma etkisi altında taşıma kapasitesinin zamana göre değişimi.



Şekil 5. Optimum kesit ve ahşap sınıfının 60 dakikalık yangın durumunda normal gerilme ve burkulma etkisi altında taşıma kapasitesinin zamana göre değişimi.



Şekil 6. Optimum kesit ve ahşap sınıfının 90 dakikalık yangın durumunda normal gerilme ve burkulma etkisi altında taşıma kapasitesinin zamana göre değişimi.

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapı maliyeti belirlenmesinde yapı modeli, yapı modelini oluşturan elemanların uzunlukları, malzemesi ve kesitleri önemli rol oynamaktadır. Geleneksel metodlarla tasarım yapılırken yapı maliyetinin belirleyen bu etkenlerin ataması genellikle mühendisin tecrübesi bağlı olarak değişmektedir. Güvenlik ve ekonomi dengesinin bir arada düşünüldüğü bazı kompleks mühendislik problemlerini çözümünde ise geleneksel yöntemlerin kullanımının zaman alıcı ve yeterli olmadığı görülmektedir. Bu nedenle daha hızlı ve daha başarılı optimizasyon teknikleri sunan bazı nümerik algoritmalar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, bu algortimalardan birisi olan metasezgisel algortima ile (Öğretim-öğrenim tabanlı optimizasyon) kullanılarak ahşap çerçeve sistemin 30, 60 ve 90 dakikalık yangın süresinde optimum kesitleri hesaplanmıştır. Bu kesitlerin farklı ahşap sınıfına göre kısa ve etkili bir süre içerisinde elde edilmesi ile metasezgisel algortimaların yangın gibi malzemenin karakteristik özelliklerini ve kesitin boyutlarını değiştiren bir alanda kullanılmasının uygun olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca, ahşap yapı elemanlarının zamana bağlı taşıma kapasiteleri grafikler ile gösterilerek hangi süre içerisinde yapı elemanında nasıl bir değişim meydana geldiği takip edilebilir hale getirilmiştir.

REFERENCES

- [1] Dorigo, M., Maniezzo, V., Coloni, A., 1996. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernet B 26, 29–41. doi:10.1109/3477.484436

- [2] Kennedy, J., Eberhart, R.C., 1995. Particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks No. IV, November 27-December 1, pp. 1942–1948, Perth Australia.
- [3] Xin-She Yang, 2012. Flower pollination algorithm for global optimization, in: Unconventional Computation and Natural Computation 2012, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7445, pp. 240-249.
- [4] Yang, X. S. 2010. A new metaheuristic bat-inspired algorithm. Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010), 65-74.
- [5] Yang, X. S. 2010. Nature-inspired metaheuristic algorithms. Luniver press.
- [6] Karaboga, D., & Basturk, B., 2008. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. Applied soft computing, 8(1), 687-697. doi:10.1016/j.asoc.2007.05.007.
- [7] Holland, J.H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- [8] Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V., 2001. A new heuristic optimization algorithm: harmony search. Simulation 76, 60–68. doi:10.1177/003754970107600201
- [9] Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. P., 2011. Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. Computer-Aided Design, 43(3), 303-315.
- [10] Rao, R., 2016. Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. International Journal of Industrial Engineering Computations, 7(1), 19-34.
- [11] Ulusoy, S., Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M. (2018). Optimum design of reinforced concrete multi-story multi-span frame structures under static loads. Int. J. Eng. Technol, 10(5), 403-407.
- [12] Ulusoy, S., Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., & Niğdeli, S. M. (2020). Metaheuristic algorithms in optimum design of reinforced concrete beam by investigating strength of concrete
- [13] Bekdaş, G., 2015. Harmony search algorithm approach for optimum design of post-tensioned axially symmetric cylindrical reinforced concrete walls. Journal of Optimization Theory and Applications, 164(1), 342-358.
- [14] Bekdaş, G., 2019. Optimum design of post-tensioned axially symmetric cylindrical walls using novel hybrid metaheuristic methods. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 28(1), e1550.
- [15] Kayabekir, A. E., Arama, Z. A., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., & Geem, Z. W. (2020). Eco-Friendly Design of Reinforced Concrete Retaining Walls: Multi-objective Optimization with Harmony Search Applications. Sustainability, 12(15), 6087.
- [16] Arama, Z. A., Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., & Geem, Z. W. (2020). CO2 and Cost Optimization of Reinforced Concrete Cantilever Soldier Piles: A Parametric Study with Harmony Search Algorithm. Sustainability, 12(15), 5906.
- [17] Cakiroglu, C., Bekdaş, G., Kim, S., & Geem, Z. W. (2020). Optimisation of Shear and Lateral–Torsional Buckling of Steel Plate Girders Using Meta-Heuristic Algorithms. Applied Sciences, 10(10), 3639.
- [18] Cakiroglu, C., Bekdaş, G., & Geem, Z. W. (2020). Harmony Search Optimisation of Dispersed Laminated Composite Plates. Materials, 13(12), 2862.

- [19] Artar, M., & Daloğlu, A. T., 2018. Optimum weight design of steel space frames with semi-rigid connections using harmony search and genetic algorithms. *Neural Computing and Applications*, 29(11), 1089-1100.
- [20] Camp, C. V., Bichon, B. J., & Stovall, S. P., 2005. Design of steel frames using ant colony optimization. *Journal of Structural Engineering*, 131(3), 369-379.
- [21] Ulusoy, S., Bekdaş, G., Niğdeli, S.M. "Optimum Cost Design of Welded Beams by Jaya Algorithm and Flower Pollination Algorithm" 9th International Congress on Computational Mechanics, (GRACM 2018) Chania, Kreta, Griechenland, 2018.
- [22] Niğdeli, S. M., Bekdaş, G., & Yang, X. S., 2018. Metaheuristic optimization of reinforced concrete footings. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(11), 4555-4563.
- [23] Niğdeli, S. M., Bekdas, G., Kim, S., & Geem, Z. W., 2015. A novel harmony search based optimization of reinforced concrete biaxially loaded columns. *Structural Engineering and Mechanics*, 54(6), 1097-1109.
- [24] Niğdeli, S. M., & Bekdaş, G., 2017. Optimum design of RC continuous beams considering unfavourable live-load distributions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(4), 1410-1416.
- [25] Kayabekir, A. E., Bekdas, G., Niğdeli, S. M., & Temür, R. (2018). Investigation of cross-sectional dimension on optimum carbon fiber reinforced polymer design for shear capacity increase of reinforced concrete beams. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3.
- [26] Govindaraj, V., & Ramasamy, J. V. (2007). Optimum detailed design of reinforced concrete frames using genetic algorithms. *Engineering Optimization*, 39(4), 471-494.
- [27] Ulusoy, S., Bekdas, G., & Niğdeli, S. M. (2020). Active structural control via metaheuristic algorithms considering soil-structure interaction. *Structural Engineering and Mechanics*, 75(2), 175-191.
- [28] Ulusoy, S., Niğdeli, S. M., & Bekdaş, G. Novel metaheuristic-based tuning of PID controllers for seismic structures and verification of robustness. *Journal of Building Engineering*, 33, 101647.
- [29] Ulusoy, S., Niğdeli, S. M., & Bekdas, G. (2018). Time delay factor of structural control systems for excitations with and without pulses. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3.
- [30] Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., Niğdeli, S. M., & Geem, Z. W., 2020. Optimum Design of PID Controlled Active Tuned Mass Damper via Modified Harmony Search. *Applied Sciences*, 10(8), 2976.
- [31] Ulusoy, S., Bekdaş, G., Niğdeli, S. M., Kim, S., & Geem, Z. W. (2021). Performance of optimum tuned PID controller with different feedback strategies on active-controlled structures. *Applied Sciences*, 11(4), 1682.
- [32] Bekdaş, G., Niğdeli, S. M., & Yang, X. S. (2018). A novel bat algorithm based optimum tuning of mass dampers for improving the seismic safety of structures. *Engineering Structures*, 159, 89-98.
- [33] Yucel, M., Bekdaş, G., Niğdeli, S. M., & Sevgen, S. (2019). Estimation of optimum tuned mass damper parameters via machine learning. *Journal of Building Engineering*, 26, 100847.

- [34] European Committee for Standardization (CEN). (2004). Eurocode 5—Design of timber structures, Part 1–2: General—Structural fire design.
- [35] Werner, G., Zimmer, K., & Lißner, K., 2008. Holzbau 1, Grundlagen DIN 1052 (neu 2008) und Eurocode 5.
- [36] Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), Holzbau, ETH, Zürich, Schweiz).
- [37] Nebgen, N., & Peterson, L. A., 2015. Holzbau kompakt nach Eurocode 5.
- [38] BSI. (2002). BS EN 1990: 2002: Eurocode—Basis of structural design.
- [39] Dietmar , H., 2012. Brandschutz in Europa- Bemessung nach Eurocodes.
- [40] BAUTABELLEN, S., 2012. Bautabellen für Ingenieur.
- [41] MathWorks Inc., 2015, MATLAB R2015b.Natick, MA, USA.

Effect Of Production Parameters On Elastic Modulus And Flexural Strength Of Alumina Ceramics

Betül Kafkaslıoğlu Yıldız^{*,1}, Ayşe Şeyma Özgen², Funda Yılmaz², Yahya Kemal Tür²

*: bkyildiz@sivas.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6527-2918

¹: *Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Turkey*

²: *Department of Materials Science and Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey*

Abstract Alumina ceramics are widely used in many structural applications such as medical fields, aerospace, and defense due to their attractive mechanical (high elastic modulus, high compressive strength, and hardness) properties and biocompatibility. The mechanical properties of advanced ceramics depend on several factors like microstructure and production method. Ceramic materials exhibit a relatively wide range of stresses that cause fracture in the material. When many specimens are tested, the fracture strength value usually varies significantly and scatter. The sample size also affects the flexural strength and the larger the sample size, the greater the possibility of the material to contain defects and consequently reduces the strength.

In this research, the effect of a few production parameters (amount of pressed powder, binder, ball milling) on the relative density, elastic modulus, and flexural strength was studied to determine the appropriate monolithic alumina production steps. The powders were uniaxially pressed under 40 MPa by using a 35 mm diameter steel mold. Then, cold isostatic pressing was performed under 200 MPa. The pressed specimens were pressureless sintered at 1550°C for 2 hours in the air. The bulk density of the sintered specimens was calculated both Archimedes' method and the direct measurements of macroscopic dimensions and mass. Elastic modulus was measured using an impulse excitation technique following ASTM E 1876 standard with disc-shaped samples. Monotonic equibiaxial flexural test was used to measure the strength of the specimens and conducted according to ASTM C1499 after grinding. The specimens that were prepared from ball milled powders with no binder were densified (97.3%) better compared to the unmilled but polyvinyl alcohol binder containing ones. As expected, the elastic modulus was mainly related to the relative density, the highest value (379 GPa) was obtained for the alumina with the highest densification. Also, average flexural strength was measured as 350 MPa for the monolithic alumina prepared from ball milled powders with no binder. It has been observed that the flexural strength does not depend on small differences in density within the scope of this study.

Keywords: *Advanced Ceramics, Alumina, Elastic Modulus, Flexural strength*

I. INTRODUCTION

Alumina (Al_2O_3) ceramics are widely used in many structural applications such as medical fields, aerospace, and defense due to their attractive mechanical (high elastic modulus, high compressive strength, and hardness) properties and biocompatibility [1,2,3]. The mechanical properties of advanced ceramics depend on several factors like microstructure and production method [4,5]. Ceramic materials exhibit a relatively wide range of stresses that cause fracture in the material. Microstructural flaws including large grains and pores control important mechanical properties, such as fracture strength [6]. When many specimens are tested, the fracture strength value usually varies considerably and scatter. The Weibull statistical distribution is usually used to describe the scatter of strength values measured by the standard mechanical tests for ceramics [7]. The flexural strength of Al_2O_3 ceramics generally changes between 450 and 550 MPa [8]. The sample size also affects the flexural strength and the larger the sample size, the greater the possibility of the material to contain defects and consequently reduces the strength.

In this study, the effect of a few production parameters (amount of pressed powder, binder, ball milling) on the relative density and the mechanical properties of Al_2O_3 (elastic modulus, and flexural strength) was investigated to determine the appropriate monolithic Al_2O_3 production steps. Because these parameters have a significant effect on the microstructure and the resulting mechanical properties. The production method in this study was uniaxial dry pressing. Uniaxial dry pressing is used in large scale manufacturing of ceramics needs economic processes. Also, binders enhance the mechanical properties of green products during and after the dry pressing. Although many binders have been suggested in the scientific literature, the most common of them is possibly polyvinyl alcohol (PVA) [9]. Accordingly, PVA was chosen as the binder in this research.

II. EXPERIMENTAL PROCEDURE

In this investigation, α - Al_2O_3 ceramic powder (Almatis Calcined Alumina, Germany), polyacrylic acid as dispersant (Darvan 821A from MSE Tech Co. Ltd., Turkey), PVA as binder (Sigma Aldrich) and glycerol as plasticizer (Sigma Aldrich) were used as starting materials. Two groups of pure Al_2O_3 powder were prepared. In the first group, an amount of α - Al_2O_3 powder with 0.5 wt.% polyacrylic acid was ball milled for 24 hours with Al_2O_3 grinding balls in distilled water. After ball milling, the powder was dried in a hot plate and any binder was not added to the dried powder. In the other group, an amount of α - Al_2O_3 powder was directly mixed with binder+plasticizer (PVA+glycerol) that 2 wt.% binder per 100 g powder without ball milling. Then, the binder added powder was also dried.

The dried powders were crushed and passed through a 90 μm sieve. The sieved powders were uniaxially dry pressed as pellet form in a 35 mm diameter mold at 30 MPa then cold-isostatically pressed at 200 MPa. The ball milled powder with no binder was pressed in 6 grams. The unmilled powder with binder was pressed in 5,6,7 grams, separately. All the pressed specimens were sintered at 1550°C/2 h in air. The sintering regime was 2°C/min from 25°C to 500°C with 60 min dwell time, 5°C/min from 500°C to 1550°C with 120 min dwell time and cooled down to room temperature in the furnace. As seen in Fig. 1, the sintered specimens were grinded by using a

lapping machine with silicon carbide abrasive powders to equalize the thickness of the discs with ± 0.05 tolerance for the elastic modulus and flexural strength measurements. The bulk densities of the sintered specimens were measured with both the direct measurements of weight and macroscopic dimensions and the Archimedes' water replacement method. Relative densities of the specimens were calculated by taking the theoretical density of Al_2O_3 as 3.98 g/cm^3 . An impulse excitation technique (ASTM E 1876) was used to measure the elastic modulus of the sintered and grinded specimens in GrindoSonic[®] Mk5 device. Monotonic equibiaxial flexural test (ASTM C 1499) was used to measure the fracture strength of the specimens in an Instron[®] 5569 test machine. The strength scatter properties were investigated statistically by the Weibull analysis of the obtained flexural strength data.



Fig. 1. The grinding process of specimens in the lapping machine.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The bulk densities of the prepared specimens with different amounts and ball milling conditions were firstly measured by Archimedes' method. The relative densities were found when the average of the results was compared to the theoretical density of Al_2O_3 . The highest densification was observed for the specimens which were ball milled with no binder and pressed in 6 grams as given in Table I. This situation clearly showed the effect of ball milling on density by preventing raw powder agglomerates. After the Archimedes' method measurements, the same comparison was made for the densities calculated from macroscopic dimensions and mass. The relative density correlation was in parallel with the other used method. Table I also shows the elastic modulus values. The highest elastic modulus was measured for the ball milled with no binder specimens proportional to the highest relative density. Although there were slight differences between the elastic modulus values of the samples, it was obvious that it was density dependent.

After the elastic modulus tests, the fracture strength of the specimens was measured by the equibiaxial flexural strength test method for disc formed samples. The obtained strength values are given in Table II. Also, the photos of the fractured specimens after the strength tests are given in Fig. 2. The crack branching varied from sample to sample. More crack branching occurred in the samples with higher strength values. Any major defects in the samples can cause the material to fail at lower loads than expected.

TABLE I
Relative density and elastic modulus values of the produced specimen group.

Specimen group	Relative Density (%) (Archimedes' method)	Relative Density (%) (Volumetric method)	Elastic Modulus (GPa)
6 g ball milled	98.3	97.3	376±6
5 g with binder	96.7	95.4	363±10
6 g with binder	96.6	94.9	357±7
7 g with binder	95.2	94.4	352±10

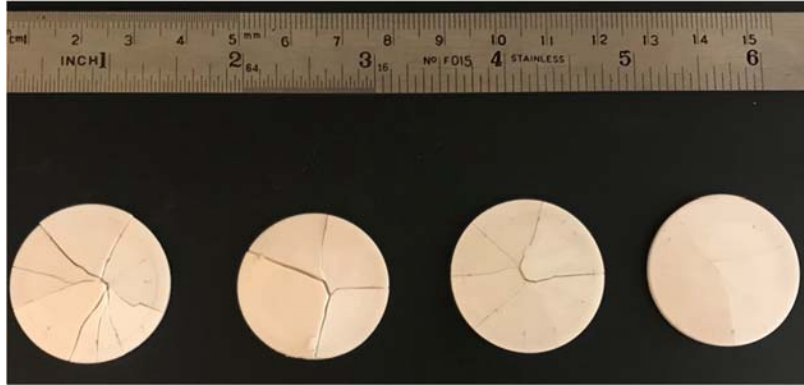


Fig. 2. After the flexural strength tests, photos of fractured specimens of 5 g, 6 g, 7 g and ball milled 6 g respectively.

The average strength values of specimens were given in Table II. Although the highest flexural strength value was obtained as 376±6 MPa for the specimens prepared from ball milled powders with no binder, there were no significant difference between the strength values of the other groups of samples. Normally, a larger volume sample is more likely to have a defect than a smaller sample. Contrary to this, the lowest strength value of 5 g pressed ones could be attribute to the possibility of hosting greater flaws. Also, it has been observed that the flexural strength does not depend on small differences in density within scope of this study.

Fig. 3 shows the Weibull plots of the produced specimens that are 6 g with binder but not ball milled, 7 g with binder but not ball milled, 6 g without binder but ball milled and 5 g with binder but not ball milled. In addition, Weibull modulus and characteristic strength values are given in Table II. The highest characteristic strength was obtained for the 6 g without binder but ball milled specimens. However, the highest Weibull modulus was obtained for the 6 g with binder but not ball milled specimens. Not only a high characteristic strength but also a high Weibull modulus is required for ceramics to achieve high reliability. Actually, a large number of sample data must be used for accurate Weibull analysis. In this study, strength tests were performed on a number of samples ranging from eight to ten. For the group with the highest Weibull modulus with only eight data, the results may not be entirely realistic. Also, large differences in sample strength values for the 7 g group resulted in a very low Weibull modulus.

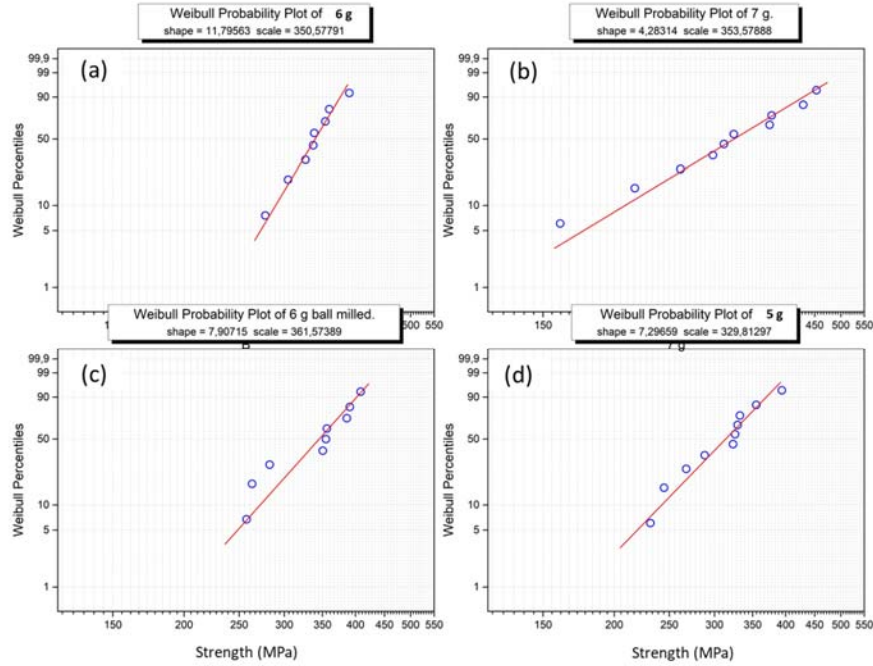


Fig. 3. Weibull plots of Al_2O_3 plots pressed in different amounts (a) 6 g with binder but not ball milled, (b) 7 g with binder but not ball milled, (c) 6 g without binder but ball milled, (d) 5 g with binder but not ball milled.

TABLE II
Average flexural strength, Weibull modulus, and characteristic strength of the specimens for the produced specimen group.

Specimen group	Average Flexural Strength (MPa)	Weibull Modulus	Characteristic Strength (MPa)
6 g ball milled	339±57	7.9	362
5 g with binder	309±51	7.3	330
6 g with binder	336±34	11.8	351
7 g with binder	321±92	4.3	354

IV. CONCLUSION

In this study, two groups of pure Al_2O_3 powder that were ball milled with no binder and not ball milled but containing binder were prepared. In the uniaxial dry pressing stage, the powder that was ball milled with no binder was pressed in 6 grams. The other group was pressed in 5, 6, 7 grams. PVA was chosen as binder and all the pressed specimens were sintered at $1550^\circ\text{C}/2\text{ h}$ in air. The effect of the amount of pressed powder, binder, and ball milling on the relative density, elastic modulus, and flexural strength was studied. The highest densification was observed for the specimens which were ball milled with no binder and pressed in 6 grams. The highest elastic modulus value was also measured for the same group of specimens proportional to the highest relative density. Even though the highest flexural strength value, $376\pm6\text{ MPa}$, was obtained for the

specimens prepared from ball milled with no binder and pressed in 6 grams, there was no significant difference between the strength values of the other groups of samples. The highest characteristic strength was obtained for the same group of samples. However, the highest Weibull modulus was obtained for the 6 g with binder but not ball milled specimens. It has been observed that the flexural strength does not depend on small differences in density within the scope of this study.

REFERENCES

- [1] Ö. Ağaç, M. Gözütok, H. Türkoğlu Şaşmazel, A. Öztürk, J. Park, "Mechanical and biological properties of Al₂O₃ and TiO₂ co-doped zirconia ceramics", *Ceram. Int.*, vol. 43, pp. 10434-10441, 2017.)
- [2] A. Rittidech, T. Tunkasiri, "Preparation and characterization of Al₂O₃-25 mol% ZrO₂ composites", *Ceram. Int.*, vol. 38S, pp. S125-S129, 2012.
- [3] A. Rittidech, R. Somrit, T. Tunkasiri, "Effect of adding Y₂O₃ on structural and mechanical properties of Al₂O₃-ZrO₂ ceramics", *Ceram. Int.*, vol. 39, pp. S433-S436, 2013.
- [4] W.H. Tuan, J.R. Chen, C.J. Ho, "Critical zirconia amount to enhance the strength of alumina", *Ceram. Int.*, vol. 34, pp. 2129-2135, 2008.
- [5] X. Teng, H. Liu, C. Huang, "Effect of Al₂O₃ particle size on the mechanical properties of alumina-based ceramics", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 452-453, pp. 545-551, 2007.
- [6] N. Shinohara, M. Okumiya, T. Hotta, K. Nakahira, M. Naito, K. Uematsu, "Formation mechanisms of processing defects and their relevance to the strength in alumina ceramics made by powder compaction process", *J. Mater. Sci.*, vol. 34, pp. 4271-4277, 1999.
- [7] L. Gorjan, M. Ambrozic, "Bend strength of alumina ceramics: A comparison of Weibull statistics with other statistics based on very large experimental data set", *J. Eur. Ceram.*, vol. 32, pp. 1221-1227, 2012.
- [8] M. Michálek, M. Micháľková, G. Blugan, J. Kuebler, "Strength of pure alumina ceramics above 1 GPa", *Ceram. Int.*, vol. 44, pp. 3255-3260, 2018.
- [9] S. Baklouti, T. Chartier, C. Gault, J. F. Baumard, "The effect of Binders on the Strength and Young's Modulus of Dry Pressed Alumina", *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 18, pp. 323-328, 1997.

Classification of Power Quality Signals Using Random Forest and Discrete Wavelet Transform

Düzgün Akmaz

dakmaz@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4183-6424

Department of Electrical and Electronics Engineering, Munzur University, Tunceli, Turkey

Abstract With the advancement of technology, different sources and different loads are included in power systems. This situation causes distortion of signals in the networks and low power quality. Therefore, the distorted signals should be examined in detail and classified correctly. The signal processing method, the entropy values of the signals and the classification algorithm are effective in order to make the correct classification. In this study, different power quality disturbance signals (sine, sag, swell, interruption, harmonic, transient, sags with harmonic, swell with harmonic, and flicker) were classified using Random Forest (RF) and Discrete Wavelet Transform (DWT). These signals were synthetically produced. Signals in real power systems contain noise. For this reason, 50dB noise was added the signals. Firstly, the power quality disturbance signals were decomposed by using DWT. Then, the classification properties were obtained by using the energy-entropy values of these signals. Finally, power quality signals were classified using these classification features and the RF algorithm. The simulation results showed that the tested method was successful. While the training data classification success of the DWT-RF method was 100%, the success of test data classification was 96.22%. The average classification success of the method was 98.11%. In addition to these, the Naive Bayes (NB) classification method was also used for classification. However, the classification success of the DWT-NB method was 92.38%. All simulations have shown that the DWT-RF method provides an acceptable success for classification. While the MATLAB program was used for software, the WEKA program was used for the classification algorithm.

Keywords: Power Quality, Wavelet Transform, Random Forest, Classification

I. INTRODUCTION

TODAY, many new energy sources are included in the power grid line with the increasing energy need. This situation causes signals in power networks to become more complex. However, with advances in signal processing and artificial intelligence, these complex signals can be analyzed. Different approaches were developed to classify these signals. In [1], a method was developed that automatically classifies power quality events using S transform (ST) and Neural Network (NN). ST is used for the extraction of classification properties, while NN is used for the classification algorithm. In [2], Empirical-Mode Decomposition with Hilbert Transform signals processing tool was applied to power quality signals. Then, different entropy values such as energy and standard deviation of signals were obtained. Finally, classification was made using these entropy values and NN. In addition to these studies, Wavelet Transform (WT) and different

learning algorithms were also applied for the classification of power quality distortions [3-5]. Different power quality disturbances were classified by using WT and NN approach in [3,4]. In [5], WT and support vector machine were used to classify power quality disturbances.

In this study, power quality distortions were classified using DWT and RF algorithms. Signals are decomposed into nine levels by applying multiresolution analysis. The classification properties were obtained by using the energy value of the detail and approximation coefficients. Finally, these faults were classified by RF. The simulation results showed that the tested method was successful.

II. DISCRETE WAVELET TRANSFORM

The DWT is normally implemented by Mallat's algorithm. As a result of applying DWT with a signal, the signals are decomposed into detail and approximation signals. To achieve this, low pass $h(k)$ and high pass $g(k)$ filters are applied [5]. The wavelet and scaling functions are, respectively, given as,

$$\psi(k) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \phi(2k - n) \quad (1)$$

$$\phi(k) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \phi(2k - n) \quad (2)$$

where n is integers. It represents the number of samples.

The following equations can be used to obtain detail and approximation signals.

$$A_{j+1}(k) = \sum_n h(n - 2k) A_j(n) \quad (3)$$

$$D_{j+1}(k) = \sum_n g(n - 2k) A_j(n) \quad (4)$$

Refer to (3) and (4), j represents the frequency band level.

III. RANDOM FOREST ALGORITHM

In RF algorithm, firstly, multiple bootstrap training data set are generated from the original training data set. Bootstrap ensures that each decision tree in the RF is different. Then a tree is generated for each bootstrap training data set. Finally, classification is made using the majority estimation of these trees [6,7]. This algorithm uses multiple randomly generated decision trees instead of a classifier. At the same time, the majority vote of more than one decision tree making the RF algorithm an effective classification algorithm [6,7].

All these features minimize the overfitting situation of the RF method and make it successful according to many different algorithms [6,7]. Fig. 1. shows the flowchart of this algorithm [6]. In this figure, while $Z1$, $Z2$, $Z3$ show the classification properties, Y represents the classes.

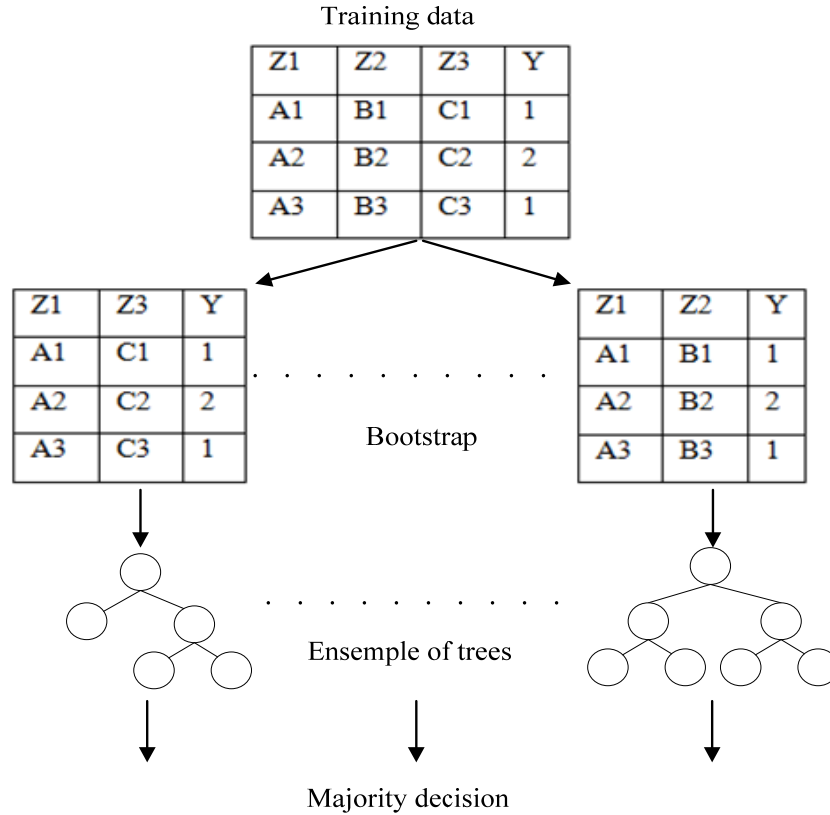


Fig. 1. Flowchart of Random Forest

IV. SIMULATION WORK

In this study, sine, sag, swell, interruption, harmonic, transient, sags with harmonic, swell with harmonic, and flicker power quality disturbance signals were examined. Synthetic signals were used in the method and the parameters of these signals were taken from [8]. Parameters in simulations are randomly selected at intervals specified in [8]. 200 different fault conditions are generated for each power quality signal. As nine different power quality signals were examined, a total of 1800 different faults occurred. Noise is a parameter to be taken into consideration in power systems. Therefore, 50 dB noise was added to 1800 different signals. Half of the 1800 faults were used for training, while the other 900 were used for testing.

12.8kHz sampling frequency has been chosen for each power quality signal. Signals were separated into nine levels using multiresolution analysis. Daubechies 4 mother wavelet was used for this decomposition. As a result of this decomposition, nine details and one approximation signal were obtained. The energy-entropy values of these signals were used to obtain classification properties. Totally, 10 classification features were obtained. Energy-entropy value of detail or approximation coefficients can be found with the following equation.

$$E = \sum_{j=1}^N [C_j]^2 \quad (5)$$

Here N represents the number of data.

While the MATLAB program was used for software, the WEKA [7] program was used for RF and NB classification algorithms. Fig. 2 shows the interface of the WEKA program. This program is used for different data mining techniques [7].

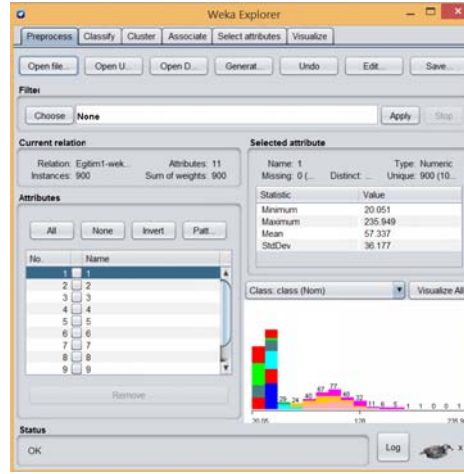


Fig. 2. WEKA program interface

Table 1 shows the classification results. As can be seen from this table, while the classification success for training data was 100%, the classification success for test data was 96.22%. NB classification algorithm was also tested in the study. However, while the training success of the NB algorithm was 92.22%, the test data success was 92.55%. At the same time, simulations have shown that the RF classification algorithm is more successful than the NB algorithm for selected parameters.

TABLE I
CLASSIFICATION RESULTS

	Training Data %	Testing Data%	Average %
Random Forest	100	96.22	98.11
Naive Bayes	92.22	92.55	92.38

V. CONCLUSIONS

In this study, a method based on Discrete Wavelet Transform and Random Forest was applied to classify power quality distortions. While 100% classification success was achieved for the training data, 96.22% success was achieved for the classification data. The simulation results showed that the method tested was successful in classifying the power quality signals. At the

same time, simulations have shown that the RF algorithm is more successful than NB for the selected parameters.

REFERENCES

- [1] M. Uyar, S. Yildirim, and M. T. Gencoglu, "An expert system based on S-transform and neural network for automatic classification of power quality disturbances," *Expert Systems with Applications*, vol.36(3), pp.5962-5975, 2009.
- [2] S. Shukla, S. Mishra, and B. Singh, "Empirical-mode decomposition with Hilbert transform for power-quality assessment," *IEEE transactions on power delivery*, vol.24(4), pp.2159-2165, 2009.
- [3] M. A. S. Masoum, S. Jamali, and N. "Ghaffarzadeh, Detection and classification of power quality disturbances using discrete wavelet transform and wavelet networks," *IET Science, Measurement & Technology* vol.4(4), pp.193-205, 2010.
- [4] H. He, and J. A. Starzyk, "A self-organizing learning array system for power quality classification based on wavelet transform," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21(1), pp. 286-295, 2005.
- [5] S. H. Erişti, and Y. Demir, "A new algorithm for automatic classification of power quality events based on wavelet transform and SVM," *Expert systems with applications*, vol.37(6), pp.4094-4102, 2010.
- [6] S. Misra and Li, H. "Noninvasive fracture characterization based on the classification of sonic wave travel times," *Machine Learning for Subsurface Characterization*, pp.243-287, 2019.
- [7] S. A. Kiranmai, and A. J. Laxmi, "Data mining for classification of power quality problems using WEKA and the effect of attributes on classification accuracy," *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol.3(1), pp.1-12, 2018.
- [8] Z. Moravej, A. A. Abdoos, and M. J. E. P. C. Pazoki, "Detection and classification of power quality disturbances using wavelet transform and support vector machines," *Electric Power Components and Systems*, vol.38(2), pp.182-196, 2009.

Improving the Efficiency of Thermochemical Processes With Shot Peening.

Fatih Hayati ÇAKIR

* fcakir@ogu.edu.tr ORCID: 0000-0002-0873-5920

Eskisehir Vocational School, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

Abstract Thermochemical methods (boring, carburizing, nitriding) are methods applied to obtain surfaces with high hardness and wear life on the surfaces of materials. Since these methods are diffusion-based methods, they must be kept in controlled environments for long periods at high temperatures to obtain the desired surface structures. Shot peening is commonly used to increase the fatigue life of parts by creating beneficial residual stress beneath surfaces. In this method, accelerated high-energy hard spheres strike and deform the surface locally. This effect increases the surface roughness. This deformation effect on the surface enables the surface hardness to be increased. In this study, the effect of the shot peening process on the thermochemical process efficiency with high energy surfaces to be created will be investigated. It is thought that the energy that will be loaded on surfaces by the mechanical effect will affect the diffusion kinetics. With this effect, the potential to reduce the thermochemical process time or to reduce the process temperature will be investigated. Thermochemical methods are generally processes that use high energy and have adverse effects on the environment. Exposure of parts close to their final shape to high temperatures for a long time causes undesirable situations such as grain coarsening, overaging, etc. If the proposed approach is successful, it is thought that increasing the efficiency of thermochemical processes can reduce the total process costs reduce the environmental footprint. In this study, previous studies on this subject were compiled, and future predictions about possible application areas are presented.

Keywords: *Diffusion, Shot Peening, Surface Treatments, Thermochemical Treatment*

I. INTRODUCTION

Thermochemical processes term are generally used to define the diffusion-based surface treatments that aim to increase the surface hardness of materials. The method both uses thermal and chemical effects. The most known thermochemical treatments can be counted as carburizing, nitriding and boring, etc. These processes are diffusion-based methods; the diffusing agent is supplied in different forms and chemical compositions. The diffusing agents are applied in different forms from the desired hard phases. These agents are supplied as a compound state since they are stable at room temperature. Additionally, other compounds which will release the diffusion agent are also used. The chemical reaction energy is presented with high temperature, applied electrical current, etc. The diffusing agents are released, and these element's diffusion rate is increased to the surface of the material. [1]. The section of diffusion zone contains three stages near-surface the formation of a hard surface layer, and transition zone and substrate material. The inner side of the material stores its own chemical state. In this way, a hard and stable layer is formed on the surface, while the interior of the part preserves its own tough state. The most

commonly used material group of diffusion-based hardening processes in practice is steels and ferrous alloys. Studies on non-ferrous metals are also increasing day by day [2]. In order to better understand the dynamic of the diffusion process, the diffusion theory should be analyzed. When the diffusion equation is examined, it is realized by calculating the time required to obtain the processing time at the desired depth (x), at the desired element ratio (C_x). There are many factors that determine the process temperature and duration in thermochemical processes. One of these factors is the diffusion rate of the element to be diffused in the main material and its phases. When the diffusion coefficient (D) is examined, this value depends on an independent temperature coefficient (D_0), gas constant (R), absolute temperature (T), and activation energy (Q_d) required for diffusion. Diffusion equations are presented in (1) and (2)

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (1)$$

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \quad (2)$$

Therefore, high temperatures are required in many materials to keep the diffusion time in more reasonable amounts. D_0 and Q_d values also change with the phase structure and ratio. [3]. Therefore, before the thermochemical process, the energy state of the material and its surface, grain size, phases, and phase ratios, etc., closely affect the performance to be obtained from thermochemical processes.

In this paper, firstly, thermochemical processes and application conditions will be explained briefly. Secondly, the mechanical processes used in surface hardening are presented, and details of shot peening are given. Thirdly the literature work focused on the topic is given, and finally, the conclusion is presented.

II. THERMOMECHANICAL TREATMENTS

A. Carburization

The amount of carbon in the structure is very important for the hardening ability of steel. It is very difficult to obtain a martensitic structure for carbon ratios below a certain amount. The presence of high carbon in the structure adversely affects properties such as plastic forming ability, weldability, toughness. The parts to be carburized are manufactured with low carbon steels and shaped close to their final shape, and then carburized. After carburization, usually, a final machining process such as grinding is conducted after carburizing. The carburizing process ensures that the material is heated up to the austenitizing temperature, and a carbon-rich layer is formed on the surface by carbon diffusion to the material surface at this temperature. The main reason for heating to this temperature is that the diffusion of carbon in the austenite phase is much faster. The hardening process is provided by rapid cooling after carburizing. Carburizing is generally applied at a temperature of 850-1000 ° C for 2-8 hours.

B. Nitriding

The nitriding process can only be performed on some alloys. In order to get the desired efficiency from the process, it is desired that the material contain nitride forming alloying elements. The

nitriding process is preferred because it is applied at relatively lower temperatures than other diffusion-based hardening methods. Nitriding can be done in environments where different states of matter such as solid, liquid, gas, and plasma exist. Gas and Plasma nitriding are some of the most widely recognized surface modification techniques with broad industrialized applications, particularly in the production of machine components and tools. It is branded a dispersion-based surface modification, differentiated from overlay cladding deposition methods, in which the substrate is subjected to a controlled nitriding environment. Steel nitriding is commonly performed in an ammonia or ammonia-hydrogen environment within the 500-550 °C range of temperature.

C. Carbonitriding and Nitrocarburizing

Carbonitriding and Nitrocarburizing processes are processes where both carbon and nitrogen diffusion are performed at the same time. Its name comes to the fore, which has a higher ratio. These processes can be carried out at austenitic or ferritic temperatures. Austenitic temperatures are more suitable if more carbon impregnation is intended.

D. Cyaniding

Cyanides (CN) contain both carbon and nitrogen elements. This is a case-solidifying process that is quick and proficient; utilized on low-carbon steel. The material is heat up to 871–954 °C in a sodium cyanide environment and afterward quenched and flushed, in water or oil, to expel any residual cyanide. This procedure creates a thin, hard shell. This shell is generally harder than the carburizing and formed much quicker in 20 to 30 minutes. The reduced time improves the dimensional stability and internal structure. The significant disadvantage of cyaniding is that used cyanides are poisonous.

E. Boronizing

Boronizing or boriding is the process by which a boron element is diffused to a metal or alloy. It is a type of surface hardening method. The resulting surface contains metal borides, such as iron borides, nickel borides, and cobalt borides; as pure materials, these borides have extremely high hardness and wear resistance. Their favorable properties are manifested even when they are a small fraction of the bulk solid [4]. Boronized metal parts extremely wear-resistant and expected to double or triple service life comparing to components treated with conventional heat treatments such as hardening, carburizing, nitriding, nitrocarburizing, or induction hardening. Most borided steel surfaces will have iron boride layer hardnesses ranging from 1200-1600 HV. Boriding can be achieved in several ways, but commonly the metal piece is packed with a boriding mixture and heating at 900 °C. A typical boriding mixture consists of boron carbide powder diluted with other refractory materials. The process converts some of the Fe to iron boride, consisting of two phases: FeB concentrated near the surface and diiron boride (Fe₂B).

F. Transformation hardening

In this method, it is the process of forming a martensitic layer on the surface by heating the outer surface of steels suitable for chemical hardening locally above the austenitizing temperature and cooling suddenly. The energy source used for heating in this process can be laser, electron beam, induction, or flame. In this application, it is desirable that the surface is heated enough not to cause melting. In terms of providing controlled heating, the most preferred method is surface hardening

with laser. Generally, excessive heat input applied to finished parts can cause distortion. The last piece can be ground a little to eliminate the distortion that occurs. In this method, the chemical structure of the material does not change. This is generally used to harden the outer part of the surface area of metal, usually steel [5]. It is the austenitic steels with the most positive results with this method. With this method, an increase in hardness can be achieved by performing martensite formation by deformation on the surface of materials that cannot form martensite by heat treatment. In this study, the shot peening method was preferred due to its ease of application and widespread effect.

To sum up, Table 1 is presented the temperature range of thermochemical treatments for applications.

TABLE I
APPLICATION AGENTS AND TEMPERATURE RANGE FOR SOME OF THE THERMOCHEMICAL TREATMENTS [1]

Process	AGENT	Temperature Range for Process
Plasma Nitriding	N ₂ , H ₂ or NH ₃	400-600°C for steels 300-400°C for Aluminum
Plasma Nitrocarburising	N ₂ , H ₂ , CH ₄ or C ₄ H ₁₀	For steels 400-600°C
Plasma Carburising	H ₂ , CH ₄	For steels 800-1100°C
Plasma Boriding	Ar, BCl ₃ , H ₂	For steels 750-1050 °C

III. MECHANICAL PROCESSES USED IN SURFACE HARDENING

In addition to thermochemical processes, low-temperature mechanical processes such as shot peening and roller burnishing are also used for surface hardening. Deformation hardening phenomena lie on the basis of the hardness increase obtained by these methods. Deformation hardening can be defined as the increase in the density of dislocation with cold forming and the need for higher force to apply some more deformation. The main methods based on this basis are hammer forging, ball forging, rolling, and crushing. The amount of hardness that can be obtained with these methods depends on the phases in the material and the lattice structures of these phases. Steel materials in BCC structure such as steel show good hardening ability. Materials in FCC structure show the ability to harden after a certain amount of deformation. This capability is more limited in materials with HCP structure. Although high surface hardness can be obtained with this method, surface cracks start to occur after a certain deformation, and the thickness of the hard layer obtained on the surface is also very thin.

It is the austenitic steels with the most positive results with this method. With this method, an increase in hardness can be achieved by performing martensite formation by deformation on the surface of materials that cannot form martensite by heat treatment. In this study, the shot peening method was preferred due to its ease of application and widespread effect.

A. Shot peening

Shot peening is generally performed to remove the unwanted residual tensile stress in parts by imparting compressive stress. The generated compressive strength improves the components' fatigue life by creating a thin hard surface layer that diminishes the crack initiation and propagation. In this method, peening media with a specified shape is accelerated with pressurized air and impinges the material surface at rapidly high speed. Hence, it resulted in enormous compressive residual stress on the material and enhanced the structure and properties of the surface layer. The used media and process parameters significantly affect the outcome of the process. Generally, the enhanced mechanical performance of peened material is primarily because of the residual stress field, hardening strain, and grain alteration brought about by multiple effects of the shot. Plastic deformation of the surface resulting from the impact energy of shots also occurred [37]. This technique was investigated by some researchers in which they examined the impact of varied shot peening intensity on wear behavior, plastic deformation, residual stress, depth of peening, and microstructural development of some specimens [38-43]. The excessive appliance of this method results in high wear-resistant surfaces, but beyond a level, fatigue life begins to shorten significantly because of generated surface cracks during peening. Similar to shot peening, there is a method called "Mechanical attrition treatment." In this method, similar to shot peening, accelerated balls are based on the cold deformation of the surface and residual stress on the surface. In this method, larger diameter balls are used compared to shot peening. While ball forging is generally aimed at hitting the surface with a right angle, the angle of impact in this method is random. Figure 1 shows a schematic application of shot peening.

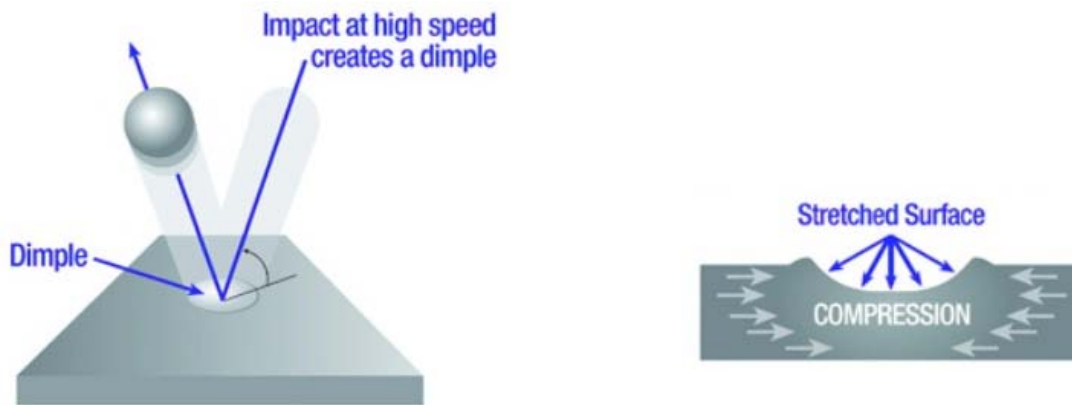


Fig. 1. Schematic Representation of shot peening

The peening effect can be obtained conventionally with shots and called shot peening, or the surface might be stretched with laser shock waves called laser peening, or this effect can be obtained with ultrasonic power, and this method is called ultrasonic peening.

In Conventional shot peening, the peening media can be accelerated by two methods. The most generally applied method is accelerating shot material with compressed air. In this method, the shots are delivered to a high-velocity air stream that accelerates the shot to speeds of up to 250 ft/s. The second method uses the centrifugal effect of an accelerating wheel.

Laser peening uses shock waves that alter the surface state and induce residual compressive stress. This method can obtain a deep compressive layer with the effect of reduced cold working. Significant layer depths can be obtained compared to traditional shot peening. Layer depths of peened are significantly increased comparing to shot peening. These peening effects can also be obtained with ultrasonic power. Ultrasonic peening is conducted by using a number of rods or pins; these pins oscillate with ultrasonic power with high frequency and low amplitude. The process is usually conducted on welded structures, and the plastic deformation occurs during treatment which leads to the improvement of fatigue life of components [6].

The selection of shot peening parameters can directly affect the outcome of this method significantly. The parameter selection is performed according to material condition and manufacturing method, parts shape, working condition of a part, etc. In order to obtain repeatable results, process variables such as media, intensity, application pressure, coverage should be closely monitored.

The widely used shot peen media can be glass, ceramic, steel shot, steel Cut wire shot form. Shots are available in different sizes and chosen for particular applications. At least 85% of shots must remain the size and shape requirement, so the peening media should be sifted and checked regularly [7].

Intensity is one of the most significant process parameters. Shot peening intensity is a measure of the applied amount of energy that resulted from impinging the shots. The intensity is measured with a strip that's made from AISI 1070 steel with a specified thickness. One side of the strip is peened with the same process parameters as peened part. The peening creates an uneven stress distribution which results in an arc formation, the height of the arc is measured with a special gauge, and the intensity is determined. The system is presented in Figure 2.

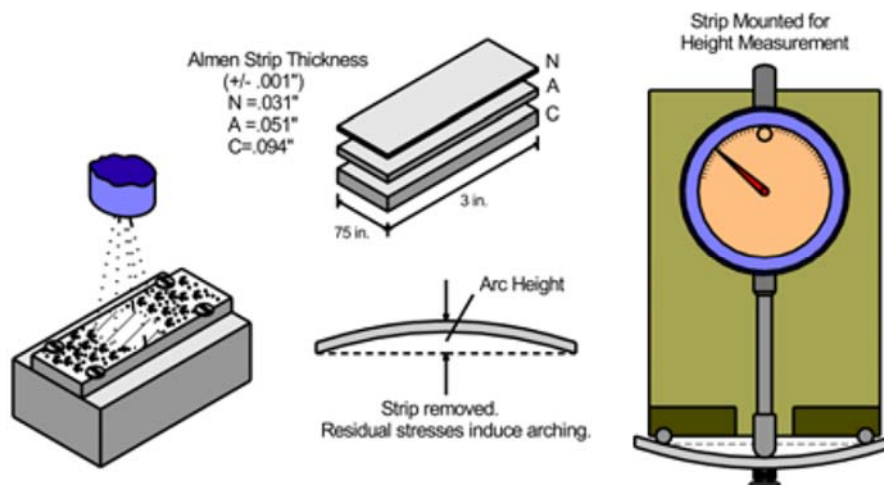


Fig. 2. Intensity Measurement of shot peening [8]

Coverage is the ratio of dimpled surface to the overall surface with shot peening. Since shot peening is a chaotic method, in some cases, some of the surfaces might not contact with the shot media. Generally, 98% of the surface is required to form a dimpled surface state and counted as fully peened. The coverage is measured with an optical microscope or 10X magnified lenses. A visual inspection is conducted. Traditionally maximum of 200% coverage is suggested to improve the fatigue strength of the part. Excessive peening might result in the formation of nano-sized grains but can diminish the fatigue life [9], [10]. Figure 3 shows the optical image of shot peened AISI 304 alloys with different coverages.

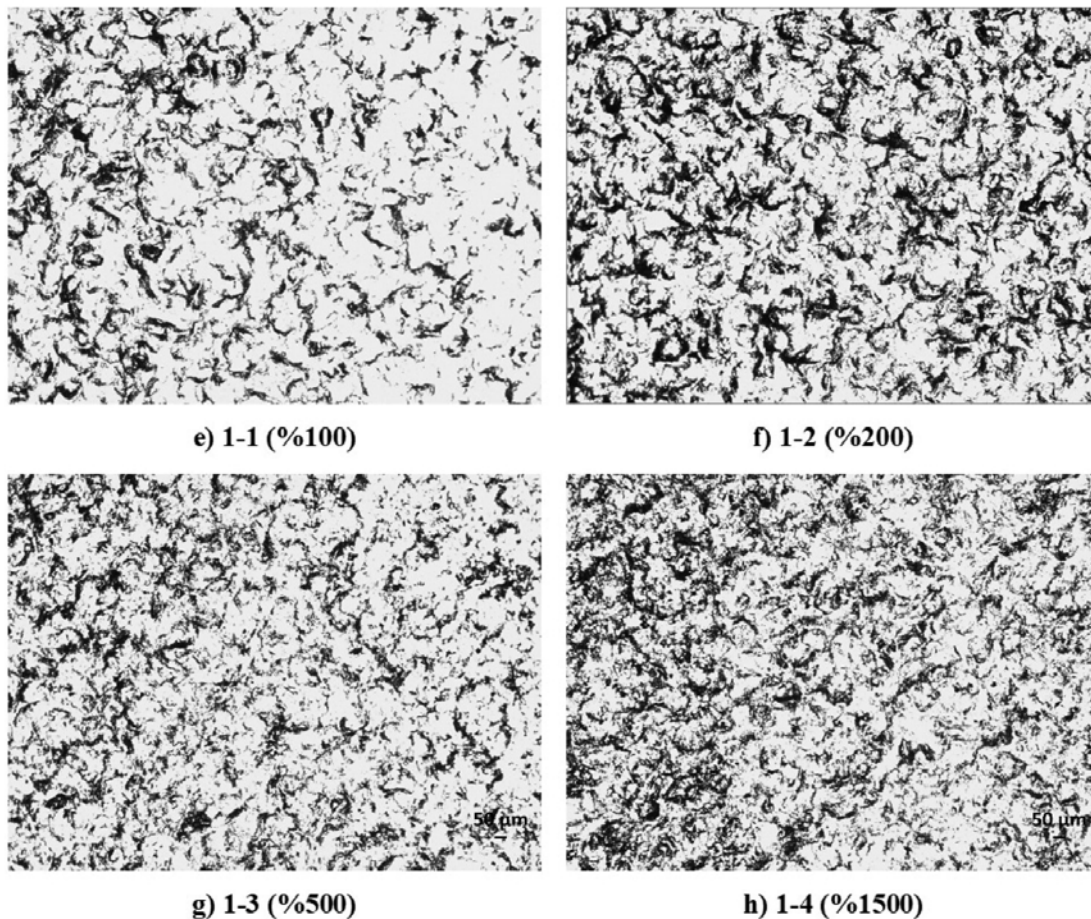


Fig. 2. Optical microscope images of shot peened samples at 50X Magnification[11]

Peening media and its properties are also significant for process success. The size, shape, and hardness of the shot should be chosen for application. The shape of the shots is deteriorates with usage and should be sifted and changed.

The speed of peening media is controlled with air pressure. So the air pressure should be monitored. The angle of impingement is desired to be close to 90°; the angle is controlled by the operator or CNC unit.

In literature, it was reported that shot peening creates a hardened surface layer. Cakir et al. conducted shot peening on AISI 304 alloy with different coverages and investigated the wear and marine water corrosion resistance. The authors stated that the surface hardness could be as high as 800 Hv, and wear resistance is improved with shot peening treatment. Hence the shot peening reduced the wear resistance. The authors also stated that excessive coverages (over 200%) resulted in surface cracks.[11]

IV. DISCUSSION AND LITERATURE SURVEY

Balusamy et al. conducted plasma nitriding to AISI 304 stainless steel [12]. The surface of the alloy was subjected to surface mechanical attrition treatment (SMAT) using media of 2 mm and 5 mm for 30 minutes. The authors reported that the SMAT treatment increased the case depth of the nitride layer. This improvement is attributed to the decreased grain size on the treated surface, formation of nanocrystalline structure, storing the high free energy state close to surface, increase in the volume fraction of non-equilibrium grain boundaries, formation of twin boundaries, and accumulation of high density of dislocations at the grain boundaries. These changes lead to an improved diffusion of nitrogen. The same research group conducted a similar study on boronizing of EN8 Steel and reported that initial SMAT treatment improved the diffusion of Boron in EN8 Steel and lowered the process temperatures about 250°C, and obtain reasonable case depth [13]. Xiang et al. investigated the effect of shot peening on the diffusion of aluminide diffusion on Cr-Mo steel. The authors reported the enhancement effect of shot peening on the kinetics of aluminide diffusion coating growth on alloy steels at temperatures below 675 °C and stated that the obtained enhancement effect is larger at lower processing temperatures but progressively diminishes as temperature increases. The activation energy for coating growth in the peened surface is lower than in the unpeened surface, indicating that the influence of diffusion through grain boundary and/or microstructure defects is larger in the peened surface than in the unpeened surface [14]. It can be said that shot peening and mechanical treatment of the surface improves the diffusion in many cases, but this effect diminishes at the higher processing temperatures. Since higher temperatures both improve diffusion and lowers the effect of the deformed surface. So it can be stated that shot peening and other mechanical treatments can be utilized to lower the thermochemical treatment temperature or duration.

V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

According to the results of this study, it is thought that the changes (grain size thinning, phase transformation, strain hardening, surface energy, etc.) caused by the mechanical processes to be applied to the surface of the material on the surfaces of the materials will affect the diffusion dynamics. With this effect, it is thought that it may be possible for the mechanically processed parts to form deeper diffusion layers at the same time and temperature, and in some cases, it can be used to reduce the thermochemical process time and temperature. According to the results of this research, it is thought that it would be more appropriate to work with austenitic materials in order to get the maximum benefit from these mechanical processes and to use the nitriding method applied at relatively low temperatures in order to prevent significant deterioration of the structure formed on the surface.

REFERENCES

- [1] P. A. Dearnley, Introduction to Surface Engineering. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. doi: 10.1017/9781139031509.
- [2] Spies H.-J., B. Reinhold, and K. Wilsdorf, 'Gas nitriding – process control and nitriding non-ferrous alloys', Surface Engineering, vol. 17, no. 1, pp. 41–54, Feb. 2001, doi: 10.1179/026708401101517593.
- [3] W. D. Callister et al., Malzeme bilimi ve mühendisliği = Materials science and engineering. 2014.
- [4] U. Er and B. Par, 'Wear of plowshare components in SAE 950C steel surface hardened by powder boriding', Wear, vol. 261, no. 3–4, pp. 251–255, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.wear.2005.10.003.
- [5] J. S. Selvan, K. Subramanian, and A. K. Nath, 'Effect of laser surface hardening on En18 (AISI 5135) steel', Journal of Materials Processing Technology, vol. 91, no. 1–3, pp. 29–36, Jun. 1999, doi: 10.1016/S0924-0136(98)00430-0.
- [6] M. Malaki and H. Ding, 'A review of ultrasonic peening treatment', Materials & Design, vol. 87, pp. 1072–1086, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.matdes.2015.08.102.
- [7] D. Kirk and I. Coventry, 'An evolutionary guide to shot peening intensity measurement', The Shot Peener, Spring, vol. 24, p. 32, 2012.
- [8] 'Controlling Shot Peening Process', Curtiss-Wright Surface Technologies. <https://cwst.com/shot-peening-overview/controlling-shot-peening-process/> (accessed May 18, 2021).
- [9] K. Lu and J. Lu, 'Nanostructured surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment', Materials Science and Engineering: A, vol. 375–377, pp. 38–45, Jul. 2004, doi: 10.1016/j.msea.2003.10.261.
- [10] M. Mhaede, 'Influence of surface treatments on surface layer properties, fatigue and corrosion fatigue performance of AA7075 T73', Materials & Design, vol. 41, pp. 61–66, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2012.04.056.
- [11] F. H. Çakir, M. Ö. Öteyaka, Ü. Er, and F. Bozkurt, 'Enhancing wear resistance of AISI 304 alloy with shot peening and investigation of corrosion behaviour in marine water', Transactions of the IMF, pp. 1–9, Apr. 2021, doi: 10.1080/00202967.2021.1906542.
- [12] T. Balusamy, T. S. N. S. Narayanan, K. Ravichandran, I. S. Park, and M. H. Lee, 'Plasma nitriding of AISI 304 stainless steel: Role of surface mechanical attrition treatment', Materials Characterization, vol. 85, pp. 38–47, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.matchar.2013.08.009.
- [13] T. Balusamy, T. S. N. Sankara Narayanan, and K. Ravichandran, 'Effect of surface mechanical attrition treatment (SMAT) on boronizing of EN8 steel', Surface and Coatings Technology, vol. 213, pp. 221–228, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.surfcoat.2012.10.051.
- [14] Z. D. Xiang and P. K. Datta, 'Shot peening effect on aluminide diffusion coating formation on alloy steels at low temperatures', Scripta Materialia, vol. 55, no. 12, pp. 1151–1154, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.scriptamat.2006.08.016.

Effect of Similarity Functions in Case Based Reasoning Models for Conceptual Cost Estimation

Furkan UYSAL

furkan.uyisal@asbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1986-4891
Institute for Graduate Studies, Ankara Social Sciences University, Ankara, Turkey

Abstract Conceptual Cost Estimation (CCE) generally known as analogues budget estimation is the earliest effort to predict budget of a project. In this very early-stage detail of the projects is not known to predict exact budget, rather rough estimates are available. Estimators solely rely on their intuition, experience and organizational memory of the company. However, this stage is a milestone for most of the projects in order to decide its feasibility and applicability. Artificial intelligence methods those capture experience-based knowledge can play a crucial role for decision makers for early budget estimation process. Case based reasoning (CBR) is one of the methods that can represent previous cases, retrieve and adaptate them when similar cases are found. CBR methods widely used in construction and project management knowledge area where experienced based knowledge is crucial. At the hearth of a CBR lies similarity measurement methods. From euclidean distance to fuzzy similarity methods wide range of similarity measurement methods proposed in the literature. However, there has been no study to measure the effect of similarity functions with the conceptual cost estimation process. The aim of this study is to measure the effect of different similarity functions on a conceptual cost estimation of a construction project. Three different similarity function has been selected and dataset is solved with these three functions. Results are reported for budget estimators in order to increase future prediction performances of CCE process.

Keywords—*Conceptual Cost Estimation, Case Based Reasoning*

I. INTRODUCTION

Experience based knowledge plays a crucial role in most of the engineering projects especially in construction sector. Whenever there is limited information available about a part of a project but at the same time engineering judgement is needed, experience becomes the dominant factor for the best decision. Early cost estimates or conceptual cost estimates are such an example of experience-based decision-making process where very important decisions are have to be made about a project such as the feasibility or bid/no bid decisions. A high variance estimate can be very harmful for organizations which could led to wrong decisions or underestimates for the budgets. Therefore, decision making process during very early stages of a project could be strengthened with state-of-the-art techniques such as machine learning. A vast amount of techniques has been proposed for conceptual cost estimating process from Multiple Linear Regression (MLR) to Artificial Neural Networks (ANNs) and Case Based Reasoning models (CBR) [1]. However,

among these methods only CBR can use experience-based knowledge where similarity-based learning principles are used for reasoning from data. Kim et al. [2] recommends to use CBR in construction due to the fact that experience-based knowledge can only be retrieved from past data with similar cases.

Since CBR is a very important machine learning method for sectors where experience-based knowledge is needed, it is worth mentioning its principles and methodologies. In this regard, the aim of this research is to explain CBR main principles and highlight the learning mechanism which is based on similarity measurement of data in-hand and data to be learnt. Considering the increasing use of CBR in conceptual cost estimation, this paper analyzes how different measurement methods can affect learning mechanism of CBR.

This paper consists of three parts. First part explains CBR and its working principle, second part summarize related literature and the last part introduces different similarity measurement methods and measures its effect on learning mechanism.

II. CASE BASED REASONING (CBR) MODELS

CBR originated from the idea that similar problems have similar solutions. Learning mechanism rely on finding similarities between training sets and test sets. It accepts human reasoning and imitates human decision-making process. Past experiences are stores in “cases”. Each case consists of dependent and independent variables. Whenever a new case is in query, first a similar case is searched and found. Result of this new query is predicted based on the past case. While predicting the results, past case is adapted and can be stored for future queries. These steps are summarized in three main steps: case retrieval, case adaptation, and case retaining processes [3].

CBR can be categorized into three: structural, textual and conventional [4]. Structural CBR uses ontology or a common vocabulary, conventional CBR defines cases as questions, whereas in a textual CBR free text is used to define cases [5]. Despite the approaches used to define cases, general principle of a CBR is same and can be represented by a flowchart. This flowchart can be seen from Fig. 1. As explained by Aamodt and Plaza [3], CBR model starts when a new case is in query and its predicted value is unknown. System tries to find similar cases based on a similarity measurement function. Found similar cases then adapted to new solutions and if the prediction of new case is successful, it can be retained for future queries in a database. This approach has many advantages. First, there is no need for a domain expert extract information from data. Second, computational complexity is low which means complex problems can be solved in a reasonable time. Last but not least, system can learn from data itself and can also update its data base.

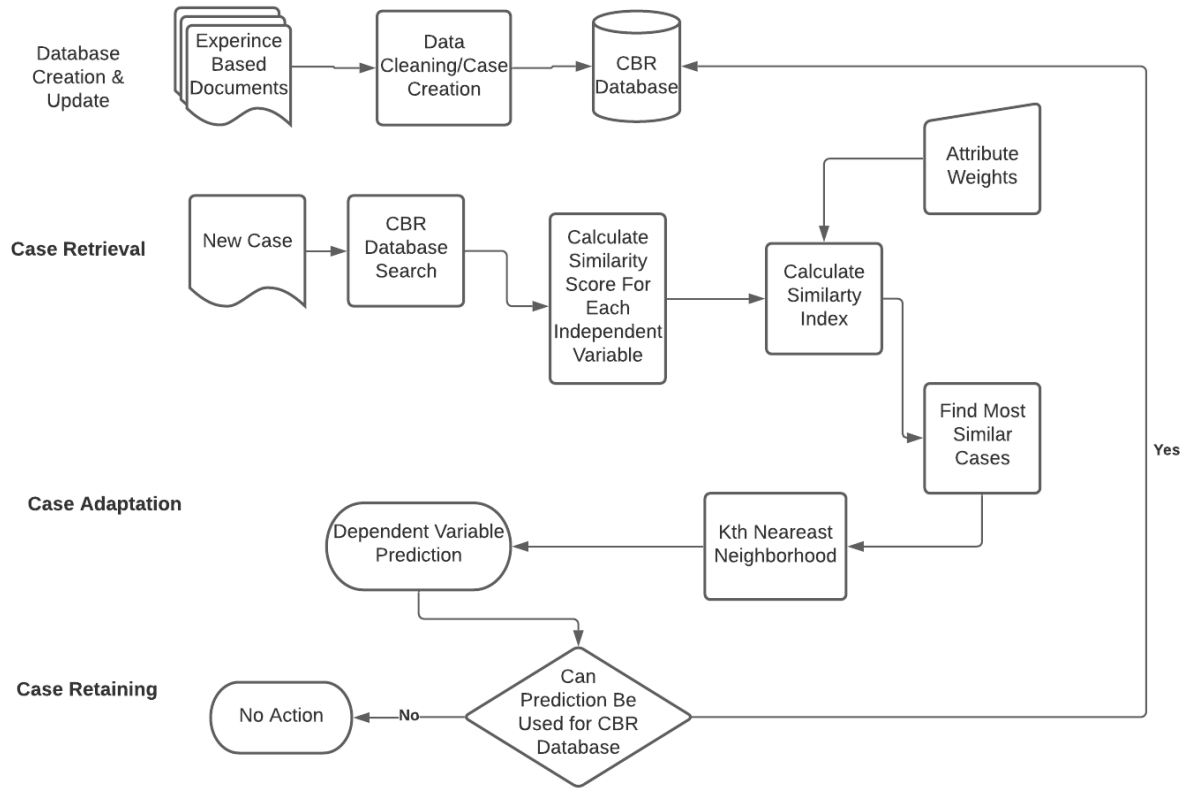


Fig. 1. Typical CBR Flow Chart

Applications of a CBR include a broad range of sectors such as medical diagnosis [6], data cleaning [7], help-desk [8], knowledge management [9] and applications in image processing [10]. However, a methodological development framework has not been proposed yet. CBR design is problem specific and builds tailored to fit solutions for a problem. CBR models are also used for conceptual cost estimation purposes [11-12].

Typical conceptual cost estimation process include a dataset that contains several data including dependent variable (*i.e. Cost or Cost/m²*) and independent variables (X_1, X_2, \dots, X_n). Dependent variable can be explained by a function $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ explicitly. Aim of estimation process is to predict new cost estimation queries with minimum prediction error. This process has been researched by many researchers and vast amount of literature exist. A detailed literature can be found from ElMousalami [1].

In a CBR, conceptual cost estimation process depends on two metrics. First one is the similarity score (SS) which is a measure of the similarity of independent variables. SS is calculated based on a similarity function.

Second metric is the similarity index (SI). Different from similarity measurement of an independent variable, similarity index measures overall similarity of a query. Similarity index consists of all similarity scores used to measure each and every independent variable.

$$SI = \sum_{i=0}^n w_i x SS_{ij} \quad (1)$$

As can be seen from equation 1 SI consists of attribute weights of each and every independent variable. Attribute weights can be manually inserted to the function based on the expert opinion, can be calculated with analytic hierarchy process (AHP) [14] or metaheuristic optimization strategy [11].

Depending on the SI most similar case(s) are selected and reported. Case base can be updated by defining a threshold value of SI and for those cases which have higher SI value can be recorded to the database. One of the important issues in a CBR is the selection of a similarity measurement function. Therefore, this paper looks for the effect of similarity functions on the prediction performances of a CBR.

III. SIMILARTY MEASUREMENT IN CBR

A. Euclidian Distance

One of the well-known distance measurement methods used in similarity-based learning is Euclidian distance which the measurement of the shortest distance in a n-dimensional space. For a given data $y_i = x_{i1} + x_{i2} \dots x_{in}$ and $y_j = x_{j1} + x_{j2} \dots x_{j3}$ Euclidian distance can be computed with equation (2).

$$Euclidian (y_i, y_j) = \sqrt{\sum_{n=1}^m (x_{in} - x_{jn})^2} \quad (2)$$

However Euclidian distance gives a number and it is not easy to interpret on it. A modified Euclidian distance measurement can be used as a similarity measurement method where SS_{ij} is equal to 1 when two cases are exactly the same and approaches to 0 when two cases are different. Modified Euclidian distance proposed by Hyung et al. [13] can be found from equation 3.

$$SS_{ij} = \frac{1}{(X_{test(i)} - X_{train(j)})^2 + 1} \quad (3)$$

Euclidian distance measurement and it's another modified version applied to conceptual cost estimation can be found from Yau and Yang[15]. In this modified version distance is measured as a percentage similarity where 100% indicate the exactly the same cases and 0% indicate different cases.

B. Manhattan Distance

Manhattan distance, also known as city-block distance, measures the distance between data points based on absolute differences of coordinates. A general formula can be given by equation (4).

$$Manhattan (y_i, y_j) = \sum_{n=1}^m |x_{in} - x_{jn}| \quad (4)$$

Use of Manhattan distance in CBR is limited [16-18].

C. Cosine Similarity

Cosine similarity is measured based on the cosine angle between two vectors. The degree of similarity is close to the 1 if two vectors have high similarity and close 0 if two vectors have low

similarity. Representing two data sets in a vector \bar{y}_i and \bar{y}_j and finding the dot product of two vectors, cosine angle between two vectors can be computed using equation (5).

$$\text{Cosine}(\bar{y}_i, \bar{y}_j) = \frac{\bar{y}_i \cdot \bar{y}_j}{\|\bar{y}_i\| \|\bar{y}_j\|} \quad (5)$$

IV. EFFECT OF SIMILARITY MEASURES ON CONCEPTUAL COST ESTIMATING

In order to test the effect of similarity measurement methods on the performance of a CBR system for conceptual cost estimating a dataset which is open to public is selected. This data set can be download from <https://github.com/HaythamElmousalami/Field-canals-improvement-projects-FCIPs-> [1]. Dataset include 4 independent variables and 1 dependent variable. There are 144 projects and their validated costs.

Table I. Prediction Performance

Test Case	% MAPE		
	Euclidian Distance	Manhattan	Cosine
MAPE %	16.98	17.68	13.86

5 Fold cross validation technique is used to test the performance of CBR models. Each CBR model is tested with exactly the same approach except similarity measurement metrics. Euclidian distance, Manhattan Distance and Cosine similarity metrics are used separately and error is measured. Prediction error is measured with Mean Average Percentage Error (MAPE) where MAPE can be defined by equation 6.

$$\text{MAPE} (\%) = \frac{|y_{\text{actual}} - y_{\text{predicted}}|}{y_{\text{actual}}} \times 100 \quad (6)$$

A it can be seen from Table 1, CBR method with cosine similarity performed better than the other similarity measurement metrics. Two paired t-test with $\alpha = 0.05$ is used to evaluate the significance of the difference between Euclidian similarity against cosine similarity and Manhattan similarity against cosine similarity metrics. The critical t value (tc) for $\alpha=0.05$ with degrees of freedom (df) = 144 is 3.79. P-values are calculated as 0.004 and 0.0016. Hence, the test results reveal that the performance of the cosine similarity is significantly better than Euclidian distance and Manhattan distance under the assumption that all parameters, approaches and test samples are same but only similarity metrics are different.

V. CONCLUSION

Being one of the basic models of machine learning, CBR performance depends heavy on similarity measurement metrics. Although there are different methods to measure similarity between data, there has been very limited studies to measure how similarity measurement metrics effect the CBR performance. This study examined the effect of three different similarity measurement metrics in a CBR system particularly developed for conceptual cost estimating purposes. MAPE values are compared for prediction performance testing and a paired t-test is conducted if results are statistically significant. Results reveal that cosine similarity can increase the prediction performance against Euclidian distance and Manhattan distance. Results are validated for only one

data set which is open to public. For further studies, other distance measurement methods can be examined and different data sets can be used.

REFERENCES

- [1] ElMousalami, H, “Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review”, *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), 2020.
- [2] G.-H. Kim, S.-H. An, K.-I. Kang, “Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning”, *Build. Environ.* 39 (10) ,1235–1242, 2004.
- [3] Aamodt, E. Plaza, “Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches”, *AI Commun.* 7, 39–59, 1994.
- [4] Bergmann R, Althoff K.-D., S. Breen, Goker M., Manago M., Traph R. , and Wess S. *Developing industrial case-based reasoning applications: The INRECA methodology*. LNAI 1612. Springer, 2nd Edition, 2003.
- [5] Bergmann, R., Klaus-Dieter A., Mirjam M., Meike R., Kerstin B., “Case-Based Reasoning - Introduction and Recent Developments”. *Künstliche Intelligenz.* 1/2009. 5-11, 2009.
- [6] Blanco X., Rodríguez S., Corchado J.M., Zato C., “Case-Based Reasoning Applied to Medical Diagnosis and Treatment”. In: Omatu S., Neves J., Rodriguez J., Paz Santana J., Gonzalez S. (eds) *Distributed Computing and Artificial Intelligence. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 217. Springer, 2013.
- [7] Corrales D.C, Ledezma A., Corrales J. C., “A case-based reasoning system for recommendation of data cleaning algorithms in classification and regression tasks”, *Applied Soft Computing.* Volume 90, 106180, 2020.
- [8] Kai H. Chang, Pradeep Raman, W.Homer Carlisle, James H. Cross., “A self-improving helpdesk service system using case-based reasoning techniques”, *Computers in Industry.* Volume 30, Issue 2, Pages 113-125, 1996.
- [9] B. Chakraborty, D. Ghosh, Ranjan, S. Garnaik and N. Debnath, "Knowledge Management with Case-Based Reasoning applied on Fire Emergency Handling," 2010 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics, pp. 708-713, 2010.
- [10] Barman R., Biswas S.K., Sarkar S., Purkayastha B., Soni B., “Image Processing Using Case-Based Reasoning: A Survey”. In: Mallick P.K., Meher P., Majumder A., Das S.K. (eds) *Electronic Systems and Intelligent Computing. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 686. Springer, Singapore, 2020.
- [11] Kwon N., Song K., Ahn Y., Park M., Jang Y., “Maintenance cost prediction for aging residential buildings based on case-based reasoning and genetic algorithm”, *Journal of Building Engineering*, Volume 28, 101006, 2020.
- [12] Le’sniak, A.; Zima, K., “Cost Calculation of Construction Projects Including Sustainability Factors Using the Case Based Reasoning (CBR) Method”, *Sustainability.* 10, 1608, 2018.
- [13] Hyung, W.-G., Kim, S. and Jo, J.-K., "Improved similarity measure in case-based reasoning: a case study of construction cost estimation", *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 27 No. 2, pp. 561-578, 2020.
- [14] An, Sung-Hoon., Kim, Gwang-Hee., Kang, Kyung-In., “A case-based reasoning cost estimating model using experience by analytic hierarchy process”, *Building and Environment*, Vol. 42, Iss.7, pp. 2573-2579, 2007.

- [15] Yau N.J and Yang J.B., “Case-based reasoning in construction management. Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering”, 13(2):143-150,1998.
- [16] Mata A., Corchado J.M., “Forecasting the probability of finding oil slicks using a CBR system, Expert Systems with Applications, Volume 36, Issue 4, Pages 8239-8246, 2009.
- [17] Li H., Sun J., “Predicting business failure using multiple case-based reasoning combined with support vector machine”, Expert Systems with Applications, Volume 36, Issue 6, Pages 10085-10096, 2009.
- [18] B.W. Huang, M.L. Shih, Nan-Hsing Chiu, W.Y. Hu, C. Chiu, “Price information evaluation and prediction for broiler using adapted case-based reasoning approach”, Expert Systems with Applications, Volume 36, Issue 2, Part 1, Pages 1014-1019, 2009.

Raya Etki Eden Gerilmeler ve Ray Kusurları

Stresses Affecting the Rails And Rail Defects

Muhammed Nesih Demirdağ^{*1}, İsmail Ay²

^{*} mndemirdag@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8699-0647

¹ Fırat Üniversitesi, Baskil MYO, Baskil, Elazığ/TÜRKİYE

² İTÜ İnşaat Müh., Ulaştırma Programı 34469, Ayazağa, İstanbul/TÜRKİYE,

Özet: Demiryollarında, işletme trafik yükleri, ray-teker temasına bağlı gerilmeler, üretim hatası, dış etkiler ve hava koşulları gibi etkenler sebebiyle rayların mantar, gövde ve tabanlarında çeşitli kusurlar meydana gelmektedir. Güvenli raylı sistem işletmesinin sağlanabilmesi için, bu kusurların zamanında tespit edilerek takip altına alınması ve gerektiğinde müdahale edilerek ortadan kaldırılması önem arz etmektedir. Ultrasonik muayeneler gibi tahribatsız yöntemlerle gözle görülür hale gelmeden tespit edilebilen ve işletme üzerinde bir etkisi olmayan kusurlar, zaman içerisinde gözle görülebilir hale gelmekte, müdahale süresi geciktikçe işletme üzerinde etkisi ve onarıcı bakım maliyetleri artmaktadır. Bu sebeple, ray kusurlarını büyümeden ve işletme üzerinde olumsuz etki göstermeden önce müdahale edilebilmesi için; periyodik koruyucu bakımların doğru şekilde planlanması ve sıkı takip edilmesi, onarıcı bakımların ise maliyet, malzeme ömrü ve işletmeye etkisi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmesi gerekir.

Anahtar Kelimeler; Demiryolu, ray gerilmeleri, ray kusurları, hat bakımı

Abstract: In railways, various defects occur in the head, body and base of the rails due to factors such as operational traffic loads, tensions due to rail-wheel contact, production failures, external effects and weather conditions. In order to ensure safe rail system operation, it is important to detect and monitor these defects on time and intervene to eliminate them when necessary. Defects that can be detected by non-destructive methods such as ultrasonic inspections which do not have an effect on the operation, become visible over time, their effect on operation and reparative maintenance costs increase as the intervention time is delayed. For this reason, in order to intervene before the rail defects grow and have a negative effect on operation; Periodic preventive maintenance should be planned and followed closely, and reparative maintenance should be carried out by considering the cost, material life and operation impact

Keywords: Railway, rail stresses, rail defects, track maintenance

I. GİRİŞ

Demiryolu araçları ile direkt temasta bulunan, tekerleklerle yuvarlanma yüzeyi sağlayan, aşınmaya dayanıklı, özel profilli ve yüksek mukavemetli çelikten imal edilmiş üstyapı elemanına ray denir. Raylar demiryolu üstyapısının ana unsurlarından biri olup, hattın tasarımı aşamasında doğru ray tipi seçilmelidir. Tasarım aşamasında doğru ray kesitini seçmekle birlikte, hattın

geometrik özelliklerine bağlı olarak ray çeliği sınıflarına da dikkat edilmelidir. Ray kesitinin ve ray çeliği sınıfının doğru seçilmesi ray tipinin doğru seçildiği anlamına gelir. Doğru ray tipini seçerken, trafik yükü, altyapı kalitesi, üstyapı kalitesi, traversler arası mesafe, travers tipleri, kurp yarıçapları en önemli etkenlerdir. Bu etkenlere dikkat edilerek seçilen ray tipleri, bakım maliyetlerini düşürecektir.

Hat bakım maliyetlerinin büyük bir kısmını raylara yapılan bakımlar oluşturmaktadır. Ray bakım maliyetlerini düşürmenin (en önemli)/etkili yolu ise raylardaki kusurları tanıyıp zamanında müdahale etmektir. Zamanında yapılan periyodik ve düzeltici bakımlar rayın ömrünü de arttırarak aynı zamanda rayın yaşam döngü maliyetine pozitif katkı sağlar.

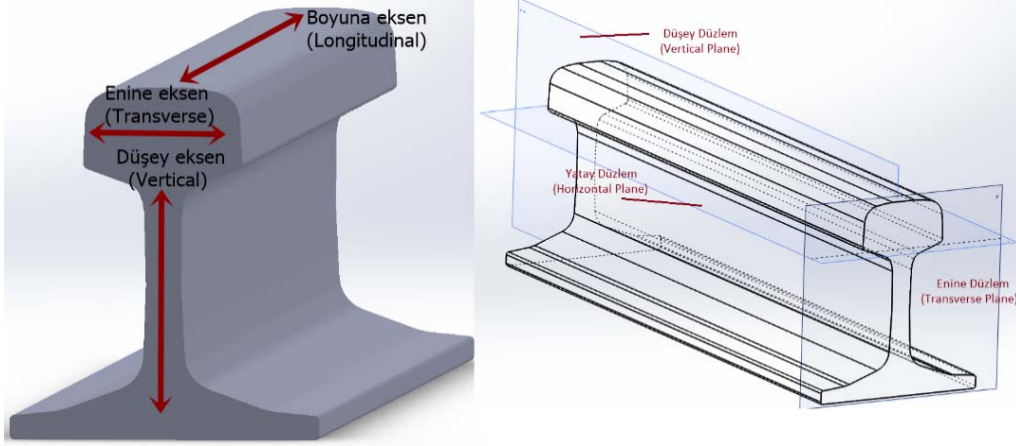
Raylar; (üzerinden geçen yük artışlarına)/mevcut ve öngörülen işletme yüklerine, tren hızlarına, trafik yoğunluğuna, yolcu konforuna ve en önemlisi demiryolu güvenlik gereksinimlerine uygun olarak üretilmeli ve bunlara cevap vermelidir.

Raylar;

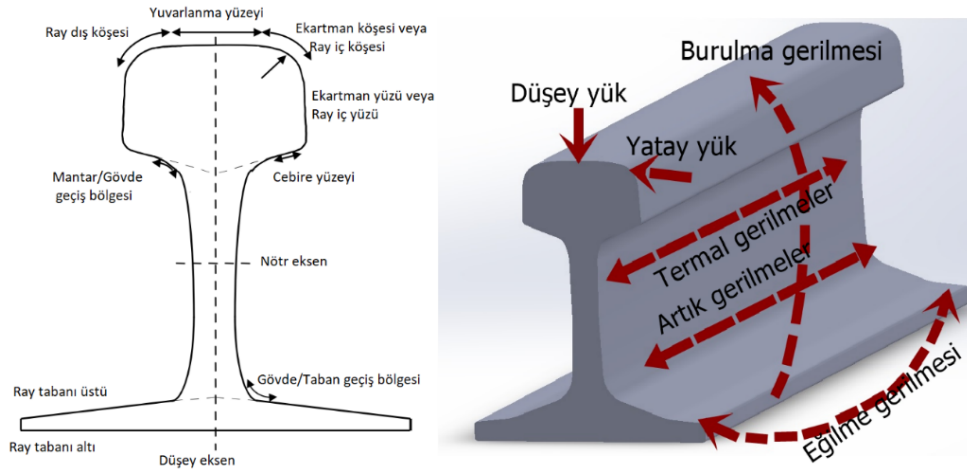
- Aşınmaya, ezilmelere, yorulmalara ve gevrek kırılmaya karşı yüksek dirence,
- Yüksek akma dayanımına, çekme dayanımına ve sertliğe,
- İyi kaynaklanabilme yetisine,
- Yüksek derecede saflığa (kimyasal, mekanik ve yapısal homojenlik)
- İyi yüzey kalitesine,
- Doğru ve uygun profile,
- Üretimden sonra düşük artık gerilmelere sahip olmalıdırlar. [1]

II. RAYI TANIMA VE RAYDA OLUŞAN GERİLMELER

Ray kusurlarının başlaması ve gelişmesi için rayın üzerine bir yük ve yüke bağlı gerilmeler olması gerekmektedir. Ray kusurları ile alakalı ayrıntılı bilgiler elde etmek için ve ortak terminoloji kullanmak için rayın eksen ve düzlemlerinin bilinmesi (Şekil 1), uygulanan yüklerin ve ortaya çıkan gerilmelerin anlaşılması önemlidir (Şekil 2). Raylar; eğilme ve kesme gerilmelerine, teker-ray teması gerilmelerine, termal gerilmelere, üretim kaynaklı artık gerilmelere ve dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Ray kusurlarının büyük bir kısmı bu gerilmeler etkisi ile büyümekte ve ray, bu etkilere bağlı olarak zamanla kırılmaktadır. Bu nedenle gerilmeleri kontrol altına almak önemlidir.



Şekil 1. Rayın Eksenleri ve Düzlemleri



Şekil 2. Ray Bölgesi ve Rayda Oluşan Gerilmeler

Raylardaki eğilme ve kesme gerilmeleri raya gelen düşey ve yatay tekerlek yüklemesinden kaynaklanır. Düşey yükler mesnet (travers) noktaları arasındaki rayda düşey eksen boyunca gerilmeler oluştururken, yatay yükler ise özellikle kurp bölgelerinde rayın mantar ve gövde bölgelerinde boyuna eksen boyunca kesme ve burulma gerilmeleri oluştururlar.

Termal gerilmeler ise özellikle uzun kaynaklı raylarda oluşur. Ray montajları nötr sıcaklık baz alınarak yapıldığı için nötr sıcaklık üstündeki havalarda raylar genleşmeye çalışır ve boyuna ekseninde basınç gerilmeleri oluştururlar. Nötr sıcaklık altındaki havalarda ise raylar büzülme çalışacak ve boyuna ekseninde çekme gerilmeleri oluşturacaktır. Özellikle termal gerilmeler ray kusurlarının gelişmesini ve büyümesini hızlandıran unsurlardır.

Artık gerilmeler, çoğunlukla rayların üretim sürecinden, zaman zaman da kaynak yapım

sürecinde raylarda oluşan genleşme ve büzölmelerden kaynaklanan gerilmelerdir. Bu tip gerilmeler, rayda boyuna eksen yönünde tüm bölgelerde görölebilir.

Tekerlek ve ray temas gerilmeleri çok yüksek gerilmelerdir. Örneğin, maksimum normal gerilim rutin olarak 1500 MPa basınca ulaşabilirken, ray-tekerlek temasının kötü olması durumunda 4000 MPa'yı aşan basınç gerilimleri oluşabilmektedir. [2]

Düzensiz artan dinamik kuvvetler, raylar ve tekerleklerdeki düzensizlik nedeniyle artış gösterirler. Bu düzensizlikler özellikle frenaj ve demeraj bölgelerinde, kayma-tutma hareketinin gerçekleştiği dar yarıçaplı kurplarda, kaynak bölgelerinde, istasyonlarda tren kalkış bölgelerinde, patinaj olaylarının gerçekleştiği yerlerde görölebilir. Bu düzensizlikler özellikle rayda ve tekerleklerde düzleşmelere de sebep olarak apleti olaylarının oluşmasına sebep olabilirler. Apletinin gerçekleştiği ray bölgelerinde hıza ve apletinin büyüklüğüne bağılı olarak ciddi dinamik yükler oluşarak raylardaki yorulma çatlaklarının veya diğ er kusurların büyümesine sebep olabilmektedir. Raylardaki apletler lokal bölgede etkisini gösterirken, tekerleklerdeki apletler daha ciddi problemler doğurabilmektedir. Tekerlekler hattın tüm kesiminden geçtiği için hattın her bölgesindeki raylara tesir edeceği için, bu gibi durumlarda tekerleklerin derhal tornalanması gerekir.

III. RAY KUSURLARI

İşletme altındaki raylarda rayın hemen hemen bütün bölgelerinde ray kusurları oluşabilmektedir. Bu kusurlar; ray üretim sürecindeki hatalardan, trafik yüklerinden, yüksek temas gerilmelerinden, tamir kusurlarından, hava şartlarından, personel hatalarından ve bunlar dışındaki diğ etkenlerden kaynaklı olarak ortaya çıkabilir. Önemli olan bu kusurların nedenini tespit etmek ve oluşum sürecine bağılı olarak mümkünse oluşmadan önlemler almak veya kusur büyümeden müdahale etmektir. Bunun içinde sürekli bakım programına göre raylar görsel kontrol edilmeli ve yıllık olarak tahribatsız muayenelerinin yapılması gerekir.

A. Boyuna Yatay Çatlaklar (*Longitudinal horizontal cracks*)

Boyuna yatay çatlaklar ray mantarı veya ray gövdesinde oluşabildiği gibi, ray mantarı ve gövde arasındaki geçiş bölgesi ile ray gövdesi ile taban arasındaki geçiş bölgelerinde de görölmektedir. Rayın boyuna eksenine paralel olarak ilerleyen bu çatlaklar, kırılma meydana gelmeden önce yukarı veya aşağı doğru ilerleyerek kendilerine iz oluşturabilirler.

Raylardaki boyuna yatay çatlaklar, rayın kırılması durumunda çok ciddi sonuçlara yol açabilir. Zira tekere kılavuzluk yapan ray mantarının gövdeden tamamen ayrılması durumunda trenin raydan çıkması kaçınılmaz olacaktır. Boyuna çatlaklar uzun mesafelerde oluşabilir ve bu uzun mesafe boyunca birkaç kırılmaya da neden olabilirler. Yüksek kalıcı gerilmeler durumunda, oluşan bu çatlaklar hızlı bir şekilde ray gövdesine doğru da yayılabilir.

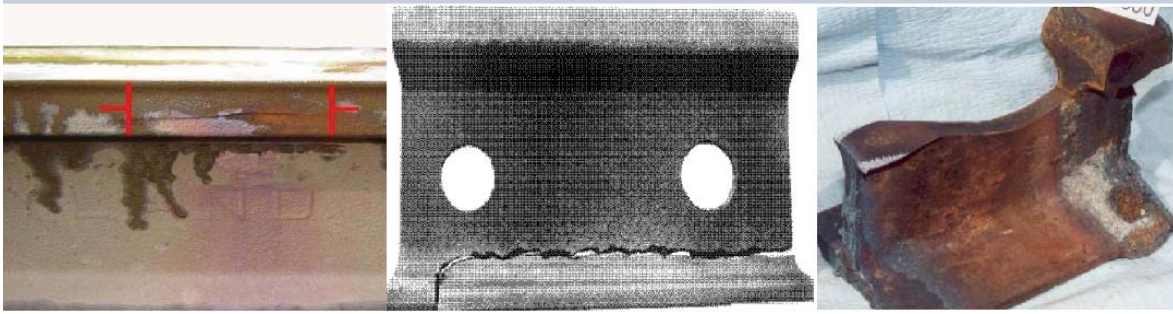
Boyuna yatay çatlaklar, ray uçlarındaki mikro çatlaklardan kaynaklanabilir. Ön ısıtmasız olarak yapılan sıcak kesmeler bu çatlakların oluşma riskini artırır.

Bu tip kusurlar malzeme imalatındaki kusurlardan kaynaklanabildiği gibi birleştirme kaynağı yapılan bölgelerde ray gövdesinde oluşan kaynak kusurlarından da oluşabilmektedir.

Ray mantarı ve gövdesindeki boyuna çatlaklar, mantar ve gövde arasındaki yüksek gerilimli bölgelerde yorulma çatlakları şeklinde başlayabilir.

Mantar ile gövde arası geçiş bölgesindeki boylamasına çatlaklar, mantar ile gövde arasındaki

yüksek gerilimli alanda yorulma çatlakları olarak başlayabilir. Bu tip çatlaklar daha çok birleştirilmiş raylarda yaygın olarak görülür.



Şekil 3. Mantarda, Gövde-Taban Arasında Ve Mantar-Gövde Arasında Oluşan Çatlaklar ve Kırılmalar

B. Boyuna Düşey Çatlaklar (Longitudinal vertical cracks)

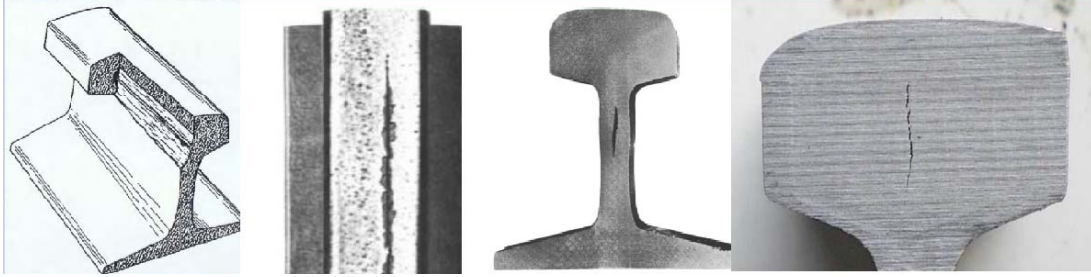
Bu tip kusurlar daha çok rayın üretim yöntemi ve haddelenmesi ile alakalı kusurlardan kaynaklanmaktadır. Üretimdeki teknolojinin artması ile bu kusurlar fiilen ortadan kalkmıştır.

Bu kusur tipi iki şekilde görülebilmektedir.

1.Oluşan çatlak ilk aşamada ray mantarı kesitinde iç kısımda, gözle görünmeyen alanda oluşur ve imal edilen rayın uzunluğu boyunca içten büyüyerek devam eder. Bu tip çatlakların tespiti için mutlaka tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmalı ve yıllık bakım programlarına dahil edilmelidir. Aksi halde, tespit edilemeyen bu tip kusurlar, rayların ani kırılmasına ve yarılmasına sebep olarak işletmeyi ciddi tehlikelerle karşı karşıya bırakabilir. Trafik yükünün artması ile bu tip çatlaklar mantar yüzeyine ve ray gövdesine ulaşarak gözle görülebilir duruma gelebilirler. İçten büyüyen bu çatlaklar çok küçük büyüme oranına sahip olduğundan, kusurun yüzeye ulaşması uzun yıllar alabilir.

2.Oluşan çatlak ray yuvarlanma yüzeyinde görünür haldedir ve kısa sürede gelen yüklerle ray düşey eksen boyunca açılmaya başlar. Bu kusurlar kısa sürede geliştiği için [3]işletme açısından tehlikeli hale gelebilirler. Bu kusur ultrasonik muayenelerde tespit edilebildiği gibi görsel kontrollerde de görülebilmektedir. Bu nedenle periyodik görsel kontrollerin sürekli yapılması hat güvenliği açısından önem arz etmektedir.

Bu kusur tipinin büyümesi, ray üzerindeki basınç gerilmeleri, dingil yükü, hız ve toplam trafik yükü ile doğrudan ilişkili olmakla birlikte rayların aşınması ve malzeme kalitesi de önemli etkenlerdendir.

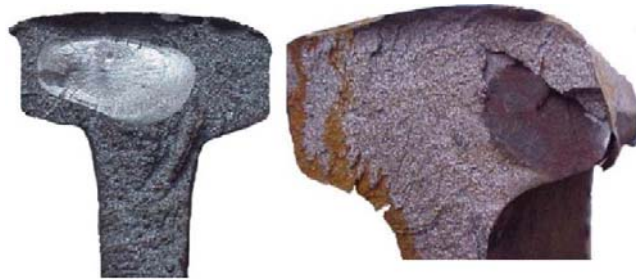


Şekil 4. Rayın Farklı Bölgelerindeki Boyuna Düşey Kusurlar

C. Oval Lekeli Enine Kusurlar (Tache Ovale)

Oval şekle benzer enine kusurlar, ray mantarı içindeki yatay bir çatlaktan veya nadir görülmekle birlikte ekartman köşesindeki derin kabuklanmadan kaynaklı olarak, mantar içinde yavaş yavaş büyüyerek oval bir şekil almak suretiyle enine büyüyen içsel kusurlardır. Bu nedenle kusurun büyüme düzlemi enine kusurlar gibi iken, oluşumu tamamen farklıdır. Bu kusurlar, üzerinden geçen trafik yüküne bağlı olarak zamanla büyür ve çatlaklar ray yüzeyine ulaşarak görülebilir hale gelirler. Bu kusurların ortaya çıkış nedeni ray üretimindeki hatalardır, dolayısıyla aynı rayda birden fazla kusur görülmekle birlikte, aynı dökümden çıkmış diğer raylarda da bu tip kusurlara rastlamak mümkündür. Oval boşluk kusurlarını görsel olarak tespit etmek imkânsız olduğu için mutlaka periyodik ultrasonik kontrollerin yapılması gerekir.

Bu kusurların gözlem altında tutulması ve kusurun büyüklüğüne bağlı olarak müdahale edilmesi gerekir. Kusurun boyutu büyükse, mantar yüzeyine yakınsa veya mantara ulaşmışsa rayın derhal değiştirilmesi gerekir, kusur boyutu küçükse ve mantara ulaşmamışsa gözlem altında tutularak en kısa sürede değiştirilmelidir.



Şekil 5: Üretim Kaynaklı ve Kabuklanma Kaynaklı Oval Lekeler

D. Kılcal Çatlaklar (Head-checking)

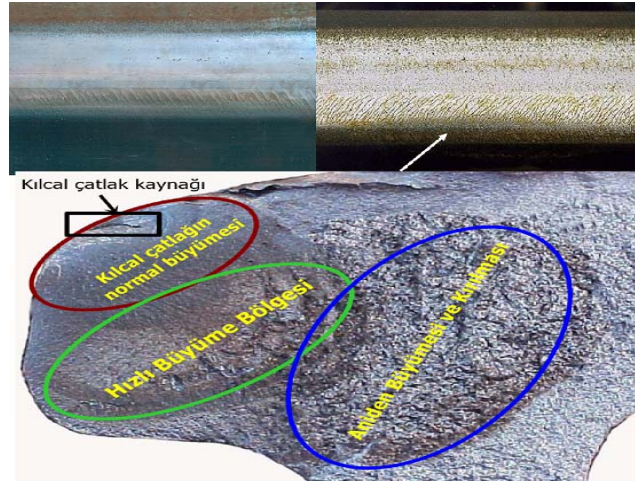
Ray mantarı yuvarlanma yüzeyinde ve ekartman köşesinde oluşan kılcal çatlaklar, yuvarlanma yüzeyinde temas yorulmasından (rolling contact fatigue-RCF) kaynaklı oluşan problemlerdir. Genel olarak yüksek kesme gerilimlerinden ve kısmen düşey aşınmalardan kaynaklanır. Bu tip kusurlar daha çok kurp bölgelerinde yüksek (dış) rayların ekartman köşesinde ve makaslarda oluşurken, özellikle yüksek hızlı demiryollarında hat geometrisinin bozuk olduğu alıyman bölgelerinde de görülebilirler.

Bu tip kusurlar, trafik yönüne doğru dar açılı ve birbirlerine paralel bir çok kılcal çatlak

şeklinde görülür. İlerleyen aşamalarda bu kılcallar mantar altında birleşerek parça kopmalarına ve dökülmelere sebep olabilirler. Yüksek temas gerilmelerinin olduğu kurp bölgelerinde ise kılcal çatlaklar ray kesitinde enine ilerleyerek ani kırılmalara neden olabilir. Bu tip kusurlar ray mantarının kesit yüzeyinin %5-10 aralığına ulaştığı takdirde hızlı bir şekilde büyüyebilirler [4].

Bu kusurların erken aşamalarda tespiti zordur ancak ilerleyen aşamalarda görsel olarak tespit edilebilirler. Kılcal çatlak uzunlukları görsel olarak tespit edilirken çatlak derinlikleri ultrasonik olarak kontrol edilebilir. İşletme hızlarına göre, çatlak uzunlukları belli bir boyuta ulaştığında rayların değiştirilmesi gerekir.

Yuvarlanma yüzeyi temas yorulmaları kaynaklı bu tür kusurları başlangıç aşamalarında önlemek önemlidir. Bunun içinde yıllık bakım programlarında önleyici ray taşlama işlemlerinin yapılması gerekir.



Şekil 6: Kılcal Çatlaklar

E. Ray Mantar Yüzeyi Pullanması (Spalling)

Pullanma kusurları, yuvarlanma yüzeyi temas yorulması kaynaklı oluşan kusurlardır. Bu kusurlar başlangıç seviyelerinde ray mantarında hafif pullanma ve dökülme şeklinde görülmekle birlikte, mantarda oluşan ve üretim kaynaklı kusurlardan olan hafif pullanmalar (flaking) ile karıştırılmamalıdır. Yüksek tekerlek-ray temas gerilmeleri nedeniyle ray mantarı üstünde yüzeysel çatlaklar ağı oluşmaktadır. Özellikle dar yarıçaplı kurp bölgelerinin yüksek temas geriliminin olduğu iç raylarında, yuvarlanma yüzeyinde oluşurlar [5]. Pullanma çatlakları, malzeme kaybına ve küçük ölçekli kabuklanmalara sebep olarak rayda parça kopmalarına sebep olur ve ray mantarının derinliklerine de yayılmazlar.

Bu tip kusurları görsel kontrollerle tespit edilebilir ve erken tespit edilmeleri halinde taşlama veya frezeleme işlemi ile kusurları gidermek mümkündür.



Şekil 7: Ray Mantarında Görülen Pullanmalar

F. Ray Mantar Yüzeyindeki Lokal Çöküntüler (Squats)

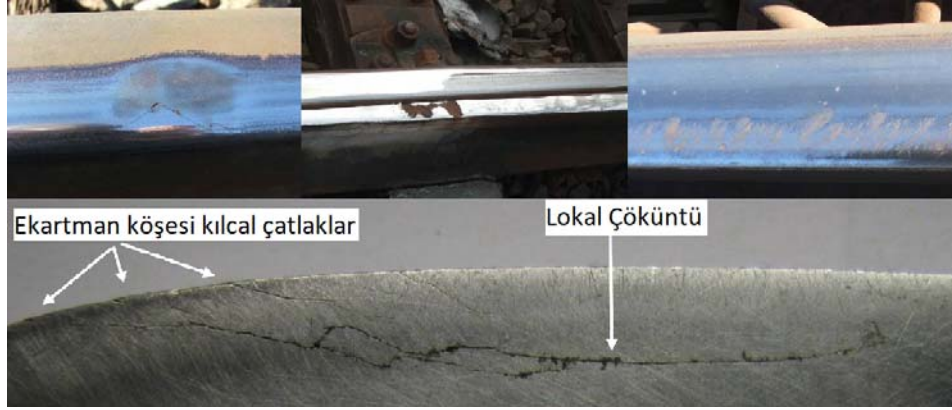
Raylardaki lokal çöküntü kusurları ray mantarı yuvarlanma yüzeyinin veya ekartman köşesinin koyulaşması ve ezilmesi ile tanımlanır.

Ray mantarında yuvarlanma yüzeyi temas yorulmaları kaynaklı oluşan bu kusurlar, ray mantar yüzeyinin hemen altında, mantar yüzey malzemesinin yanlara doğru akmasına izin veren yatay bir çatlaktan kaynaklanır. Malzeme hareketinden dolayı mantar yüzeyinde koyu renkli ezilmeler ve bazen çatlama-dökülme olarak görüldüğünden görsel olarak tanımlanabilirler. Orijinal yatay çatlaktan yan çatlaklar oluşabilir, bu da ray yüzeyinin dökülmesine veya ray kırılmasına neden olabilir (Şekil 8).



Şekil 8: Yuvarlanma Yüzeyinde Oluşan Lokal Çöküntüler

Ray mantarı ekartman köşelerinde de görülebilen bu kusurlar, özellikle kurpların dış rayında ve makasların sapan yol dış raylarında görülmektedir. Bu bölgelerde oluşan ray çöküntülerinin nedeni ise daha çok ekartman köşesinde oluşan “kılcal çatlak” kusurlarının birleşmesinden kaynaklanmaktadır. Birkaç kılcal çatlağın ray mantarı ekartman köşesinde, yüzeyden 3-5 mm aşağıda birleşmesiyle oluşup dökülmesinden kaynaklanır.



Şekil 9: Kurplarda ve Makaslarda Oluşan Lokal Çöküntüler

Kusurlu bölge, yatay düzlemde, boyuna eksen boyunca, ray yüzeyinin yaklaşık 3-6 mm altında, ray mantarında yarım daire veya V şeklinde görülebilir. Koyu renkli görünmesinin nedeni ray mantarındaki alt yüzey çatlaması nedeniyle oluşan malzeme kaybindan dolayı ray-teker temasının kaybolmasıyla oluşan korozyondur.

Lokal çöküntüler tekelek-ray yanığı veya ondülasyon kusurları karıştırılmamalıdır. Ray-Tekerlek yanığı kusurları genellikle her iki rayda meydana gelirken, ray yüzeyindeki lokal çöküntüler yalnızca tek rayda oluşur. Ray yüzeyindeki lokal çökmeler bazen ondülasyonlar gibi periyodik bir şekilde kendisini gösterebilir fakat ondülasyonlar kadar düzenli değildirler. Periyotlarının düzenli olmamasıyla ondülasyonlardan rahat bir şekilde ayırt edilebilirler.

Bu tip kusurlar görsel olarak tespit edilebilirler. Ultrasonik kontrollerde ise ilk zamanlarda görülmemekle birlikte, 100 MGT veya üzeri yük geçişinden sonra görülebilmektedirler [6]. Koyu bölge şeklinde görülmediği durumlarda, raylarda yapılan taşlamalar esnasında kusurlu bölge küçük parçalar halinde raylardan ayrılarak kendini gösterebilir.

Kusurların tek noktada oluşması durumunda ark kaynak yöntemi ile kusurlar giderilebilir fakat periyodik bir şekilde belli bir bölgeye yayılmışsa rayların değiştirilmesi gerekir.

G. Belgrospi

Belgrospi hasarları yüksek hızlı hatlara özel kusur tipidir ve dalga derinlikleri 0,03mm'den büyük olan kısa dalga boylu ondülasyonlarla ilişkili olarak ortaya çıkar. Ondülasyon dalgalarının tepe bölgelerinde çentik veya kılcal çatlaklar şeklinde tekli veya gruplar halinde uzun bir bölgede oluşabilirler [7]. Yüzeydeki çatlakların boyu 5 ile 15 mm arasında değişirken, tek başına oluşan çatlaklar genellikle yayılarak malzemenin ray yüzeyinden kopmasına neden olur. Bu hasar türünün nedeni yuvarlanma temas yorulmalarıdır. Belgrospiler, büyük yarıçaplı kurplarda veya doğru yolda her iki rayda oluşabilir [8]. Bu tip kusurlar yüksek hızlı trenlerde olduğu için, işletme güvenliği açısından, bunların görüldüğü bölgelerde raylar gözlem altında tutulmalı ve en kısa sürede değiştirilmelidir.



Şekil 10: Belgrospi Kusurları

H. Ray Ondülasyonları (Rail Corrugations)

Ray ondülasyonu, "ray üst yüzeyinde az ya da çok, periyodik biçimlerde oluşan düzlemsel bozukluklar" olarak tanımlanabilir. Ray yuvarlanma yüzeyinde birbirlerini izleyen parlak tepeler ile koyu renkli mat vadiler şeklinde bir görünüm oluşturan bu aşınma, trafik güvenliği açısından tehlikeli olmamakla birlikte, araçlarda ve yol üstyapısındaki malzemelerde ciddi dinamik yükler oluşturmakta ve dolayısıyla araç ve malzeme ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. [9]

Ondülasyon oluşumu, özellikle tekerlek ve rayın malzeme özellikleri, tekerlek veya rayın profilleri, araçların dingil yükü, araç ve hattın dinamik özellikleri, tekerlek-ray temasına ve oluşturduğu etkiler gibi etmenlere bağlıdır.

Ağır yük taşımacılığının yapıldığı hatlarda özellikle kurp bölgelerinde dış rayda, hafif ray döşeli hatlarda özellikle kaynak bölgelerinde, kent içi raylı sistemlerde özellikle kurpların iç rayında, hızlı tren hatlarında düz yollarda veya büyük yarı çaplı kurpların dış rayında, hattın üstyapı malzeme cinsine bağlı olarak karşımıza farklı tip ondülasyonlar çıkmaktadır.



Şekil 11: Raylarda Oluşan Ondülasyonalar

Ondülasyonları görsel olarak tespit etmek mümkündür ve bunların dalga boyu derinlikleri ve uzunlukları için periyodik ölçümlerin yapılması, dalga derinliklerine göre müdahale edilmesi gerekir. Dalga derinliklerinin artması durumunda işletme bakımından ciddi maliyet artışlarına sebep olan ondülasyonları tamamen yok etmek mümkün olmamakla birlikte bunların oluşumunu yavaşlatmak ve etkilerini azaltmak mümkündür. Bunun en önemli çözümü ise hattın yapısına ve üzerinden geçen yüke bağlı olarak "koruyucu taşılama" yapmaktır.

İ. Kabuklanma (Shelling)

Kabuklanma kusurları özellikle ray mantarı iç köşesinde (ekartman köşesinde) ve kısmen

yuvarlanma yüzeyinde ortaya çıkan kusurlardır. Bu kusurlar, yuvarlanma yüzeyinde dalgaya benzer görüntüler şeklinde ortaya çıkarken, rayın ekartman köşesinde ise, özellikle kurpların dış rayında (yüksek rayda) düzensiz koyu noktalar şeklinde ortaya çıkmaktadırlar. Kabuklanma kusurları “yuvarlanma yüzeyindeki çatlaklar” gibi sürekliliğe sahip olmayıp, düzensiz bir şekilde oluşurlar.

Kabuklanma çatlakları daha çok ekartman köşesi üzerinde rayın şekline uygun olarak yatay düzlemde gelişir. Çatlaklar, ray yüzeyine yaklaşık 10° - 30° lik bir açıyla, belli bir mesafede boyuna yönde büyümeye devam edebilir ve sonrasında bu çatlaklar alt kısımlarda birleşerek kabuk haline gelebilir veya gövdeye doğru inerek enine çatlaklar oluşturabilirler [10].

Bu tip kusurlar ilk aşamada ultrasonik testlerle tespit edilebildiği gibi, görsel kontrollerle de görülebilmektedir. Koruyucu taşlamaların yapılması bu kusurların varlığını azaltmakla beraber, tam olarak bitirmez. Oluşan lokal kusurların derinliğinin büyük olmaması durumunda ark kaynak yapılarak kusurlar tamir edilebilir, şayet kusurlar uzun bölgeye yayılmış veya enine kusurlar şeklinde gövdeye inmişse rayların değiştirilmesi gerekir.

Ray Mantarı Yüzey Kusurları (Rail Surface Defects)

Ray mantarı üzerinde zamanla, üzerinden geçen yüke bağlı olarak, ortaya çıkan ve gözle görülen kusurlardır. Bu tip kusurlar üretim kaynaklı kusurlar olup, en sık görülen tipleri şu şekildedir [11];

1.Pullanma (flaking): Yuvarlanma yüzeyinden kopan ince metal pullar şeklinde ortaya çıkan bu kusur birkaç milimetre derinliğe kadar görülebilir ve yuvarlanma yüzeyinde çökmelere neden olabilir.

2.Uzun oluk (long groove): Uzun oluk kusurları; birkaç metre uzunluğa kadar olabilen sabit kesitli bir metal şeridin yuvarlanma yüzeyinden kopması sonucu oluşurlar.

3.Çizgi (line): Ray döşendikten kısa bir süre sonra ortaya çıkan bu kusurlar, en fazla 2-3 mm derinlikte olmaktadır. İlerleyen zamanlarda pullanma kusurlarına dönüşmediği sürece, yuvarlanma yüzeyi çalıştıkça bu kusurlar kaybolmaya başlar.

4.Ray mantarın ortaya çıkan yüzey kusurları derin olmadığı durumlarda ray taşlama yapılarak, uzun bir bölgeye yayılmadığı müddetçe ark kaynak yapılarak giderilebilirler. Kusur derin ve fazla bir alana yayılmışsa mutlaka rayların değiştirilmesi gerekir.

J. Ezilme ve Zedelenmeler (Bruising)

Ezilme veya zedelenme kusurları ray teker temasından veya üretim kusurlarından bağımsız olarak, diğer dış etmenlerden kaynaklı kusurlardır. Özellikle trenin raydan çıkması, trendeki herhangi bir parçanın raya sürmesi, balast çarpmaları, raya malzeme düşmesi, kaynak yapım esnasında raylara kıvılcım sıçraması veya personelin yanlış ekipman kullanması gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilirler. Ezilmeler veya zedelenmeler keskin bir şekle sahip olduklarında rayda kusurların başlangıç kaynağı olabilirler. Özellikle bu keskin bölgeler çentik oluşmasının kaynağı haline gelerek rayda çatlak ve kırıkların oluşmasına sebep olabilirler.

Ray taşıma veya ağır sert malzemelerin taşınması esnasında, ray yuvarlanma yüzeyi veya ray tabanı üst bölgelerine sert malzemelerin düşmesi sonucu oluşan kusurlar zamanla rayın kırılmasına neden olabilirler. Özellikle ark kaynak yapım esnasında dökülen kıvılcımlar da ray tabanında bu tip kusurların oluşmasına neden olabilirler.

Bu tip kusurlar görsel olarak tespit edilebilen kusurlardır ve özellikle ray yuvarlanma yüzeyinde oluşan ve derin olmayan kusurlar ray taşlama ile en kısa sürede temizlenmelidir. Taşlama ile

giderilemeyecek büyüklükte olan kusurlar ise kaynak yapılabilir. Aksi durumlarda ise gözlem altında tutularak ray değiştirilmelidir.

K. Ray-Teker Yanıkları: (Burned rail-wheel)

Ray yanığı kusurları, tren seti veya lokomotif tekerleklerinin ray üzerinde kayması veya patinaj yapması sonucu oluşurlar. Ray üzerinde kayan veya patinaj yapan tekerlekler yüksek ısı ortaya çıkarmakta ve bu ısı nedeniyle teker-ray temasının gerçekleştiği yuvarlanma yüzeyinde rayda yanmalar-apletiler oluşmaktadır. Bu kusurlar lokal kusurlar olup rayda ilerlemezler fakat üzerinden geçen trafik yükü ile birlikte, hasarlı bölge yavaş yavaş büyür ve malzeme deformasyona uğrar, bu da altta oluşabilecek kusurların görünmesini engeller. Bu tip kusurların bulunduğu alanlar lokal olarak ark kaynak yapılmak suretiyle derhal giderilmelidir aksi halde ileriki zamanlarda, yanıkta oluşabilecek termal çatlaklardan enine kırılmalar gerçekleşebilir. Kusurlar kısa mesafede birkaç noktada oluşmuşsa, ilgili bölgedeki rayın değiştirilmesi yerinde bir karar olur. Bu tip kusurlar görsel kontrollerle tespit edilebilirler.

Bu kusurlar özellikle frenleme ve hızlanma bölgelerinde, ağır yük taşıyan araçlar için yüksek eğimli rampalarda gerçekleşirler. Rayda oluşan bu kusurların benzeri tekerleklerde de apleti (teker düzleşmesi) şeklinde ortaya çıkmaktadır. Hattın emniyeti için tekerleklerde oluşan bu apletlerin de derhal tornalanmak suretiyle giderilmesi önem arz etmektedir. Raydaki kusurun sadece ilgili bölgede tehdit oluşturduğu ortada iken, tekerlekteki kusurun ise tüm hat için tehdit oluşturduğu bilinmelidir.



Şekil 12: Ray-Tekerlek Yanıkları

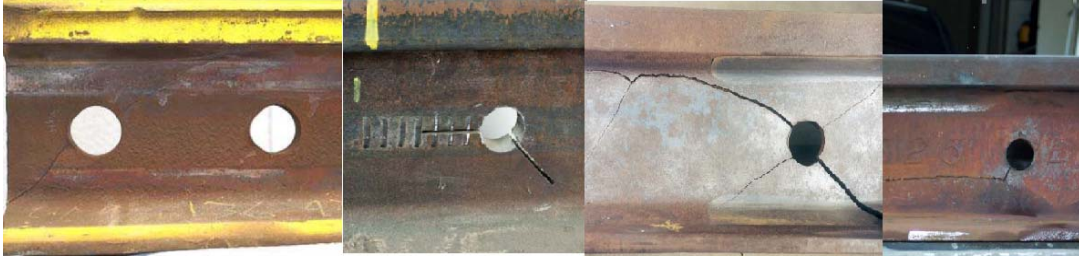
L. Cıvata Delikleri Kusurları

Bu tür kusurlar cebire deliklerinde veya diğer cıvata deliklerinde başlayıp yayılan çatlaklardır. Bu kusurlar genel olarak deliklerde 45°'lik bir açıyla oluşup mantara veya ray tabanına doğru yayılmaya başlayarak rayın kırılmasına sebep olurlar. Özellikle cebire deliklerinde yıldız çatlakları şeklinde görülebilmektedir. Tam gelişmiş cıvata deliği çatlakları, mantar/gövde veya taban/gövde birleşim yeri boyunca yatay olarak devam edebilir veya mantar veya tabanın içine içinden geçerek parça ray kırılmalarına da sebep olabilirler.

Bu tip hasarların oluşumu, ray delme makinesi ve delme ucu kalitesine bağlı olmakla birlikte, cebire bölgelerindeki düzensizliklerden dolayı gelen aşırı darbe yükleri, salınımlar ve deliklerin kenarlarında kalan küçük çapaklardan da kaynaklanabilmektedir. Özellikle delme işleminin bitiminden sonra delik kenarlarının törpülenmesi veya koniklik verilmesi ve deliğin pürüzsüz bir şekilde delinmesi çatlak oluşumunu önemli bir ölçüde azaltacaktır [11]. Ayrıca cebire veya izolecepire bölgelerindeki ray uçları birleşim bölgelerinin bakımlarının düzgün yapılması gerekir. Bu bölgelerde raya ekstra darbe yüklerinin gelmesine müsaade edilmeyecek şekilde çukurluklara

izin verilmemelidir.

Cıvata deliği çatlaklarının raylarda görülmesi durumunda derhal değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 13: Cıvata Delikleri Kusurları

M. Kaynak Kusurları (Weld defects)

Kaynak kusurları, yapılan kaynak tipine göre farklı bir şekilde kendini gösterir.

Yakma alın kaynaklarındaki kusurlar ray tabanı kenarında gelişmeye başlar ve zamanla tüm kaynak bölgesine yayılarak kaynağın kırılmasına neden olurlar. Bazen ray mantarı içlerinde de oluşmaya başlayabilir. Kusur, genellikle kaynağın kusurlu bir kısmı nedeniyle rayda koyu bir iz şeklinde kendini gösterir.

Termit kaynak kusurları ise daha çok termit malzemesinin tam olarak tepkimeye girmemesi, kaynak porsiyonunun hatalı olması, porsiyonun nemli olması veya kaynak yapım aşamasında dışardan kum veya benzeri dış malzemelerin kaynağa karışmasından dolayı oluşan kusurlardır. Bu kusurlar özellikle gaz boşlukları şeklinde kendini gösterebilirler. Termit kaynak kusurları rayın tüm kesitinde görülebilirler.

Kaynak kusurları özellikle enine çatlaklar şeklinde kendini göstermekle birlikte, bazı durumlarda kaynaktaki kusur her iki ray tarafına da etki ederek yatay düzlem boyunca da devam edebilmektedir (Şekil-14).

Ark, toz altı veya gaz altı yapılan dolgu kaynak kusurları ray metali ile kaynak dolgusunun birleşim yerlerinde malzemelerin birbirine tam olarak kaynaklanmamasından oluşurlar. Bunlar yanlış malzeme seçiminden, ön ısıtmanın doğru yapılmamasından veya işçilik hatalarından kaynaklanır.

Bu tip kusurlar görsel kontrol ve ultrasonik muayenelerde tespit edilebilirler. Kaynak kusurları aniden ray kırılmalarına neden olduğu için özellikle içsel kusurların tespiti için periyodik olarak ultrasonik kontrollerin yapılması gerekir. Kusurların tespit edilmesi durumunda derhal ray değiştirilmelidir.



Şekil 14: Termit Kaynak ve Dolgu Kaynak Kusurları

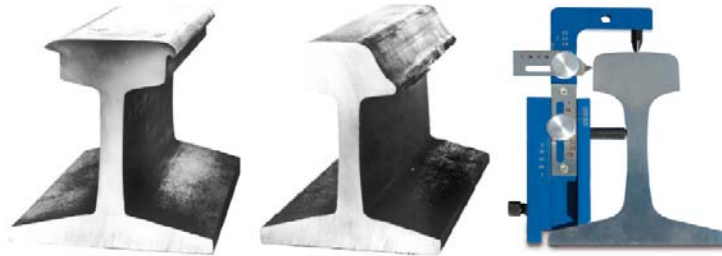
N. Aşınmalar (Wears)

Rayda görülen aşınmalar yanal ve dikey aşınmalar şeklinde görülmektedir. Bu aşınmalar ray kusurları olarak değerlendirilmeyebilir. Her iki aşınma tipi de tekerlek-ray temas gerilmesinden kaynaklanmaktadır.

Yanal aşınmalar özellikle dar kurpların dış raylarında görülür. Aşınmaların önüne geçmek mümkün olmamakla birlikte aşınma sürecini yavaşlatmak için önlemler alınabilir. Özellikle mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması ve araç üstü veya hat kenarı yağlama sistemlerinin kullanılması ile rayların aşınma hızı azaltılarak ömürleri arttırılabilir.

Düşey aşınmalar trafik yüküne bağlı olarak hattın tüm raylarında görülebilir. Raylar üzerinden geçen yükün artması ile düşey aşınma miktarlarında aşınmalar görülebilir. Özellikle dar yarıçaplı kurpların iç raylarındaki plastik akma şeklinde görülen düşey aşınmalar gözlem altında tutulmalıdır.

Yanal ve düşey aşınmalar görsel kontrollerle tespit edilebilirler. Yıllık periyodik bakımlarda rayların yanal ve düşey aşınmaları ölçülmeli ve profilin bozulması durumunda raylar yeniden profilendirilmelidir. Raylar, trenlerin hızları da dikkate alınarak kullanılan ray tipine bağlı olarak belirlenen aşınma sınırına geldikten sonra değiştirilmelidir.



Şekil 15: Ray Aşınmaları

IV. SONUÇ

Demiryollarına, rayın mantar, gövde ve taban tüm bölgelerinde çeşitli kusurlar ortaya çıkabilir. Bu kusurlar üretim hatası, trafik yükü, tekerlek-ray teması ve buna bağlı olan çeşitli gerilmeler, dış etkiler, hava koşulları gibi durumlardan kaynaklı olabilir. Önemli olan işletme güvenliğini ön planda tutarak bu kusurların oluşmasını engellemek veya oluşan kusurları büyümeden tespit etmek ve gerekli müdahaleleri yapmaktır.

Her ne olursa olsun, işletme güvenliği açısından;

- Hattın yıllık periyodik bakım planları oluşturulmalı ve bu planlara bağlı kalarak rayların görsel ve ultrasonik bakımlarının yapılması
- Periyodik bakımlarda tespit edilen ray kusurlarının gözlem altına alınması ve kusurun tipine ve boyutuna bağlı olarak eylem planının oluşturulması
- Oluşturulan eylem planına göre raylara müdahale edilmesi, değiştirilmesi veya taşlanması gerekir.

Kontrol-izleme-uygulama adımlarının aşama aşama gerçekleştirilmesi taviz verilmeyecek plan olmalıdır. Özellikle yuvarlanma temas yorulması kaynaklı kusurların oluşması ve bunların gelişmesi, rayın üzerinden geçen trafik yüküne bağlı olarak ani gelişebilen ve güvenlik açısından tehlike oluşturabilecek kusurlardır. Bu kusurların etkilerini azaltmak için mutlaka belirtilen bu adımlara uyulması gerekir. Bunlara ek olarak raylar üzerinden geçen trafik yüklerine bağlı olarak rayların koruyucu taşlama işlemlerinin yıllık bakım planlarına konulması önemlidir. Zira birçok kusurun başlamasını engelleyen veya etkisini azaltan eylem, ray taşlamadır. Taşlama işleminin ray bakımının ana unsuru olduğu unutulmamalıdır.

V. KAYNAKÇA

- [1] B. Lichtberger, Track Compendium, 2005, p. 99.
- [2] D. Cannon, K. Edel, S. Grassie ve K. Sawley, «Rail defects: an overview,» 2003.
- [3] Sperry Rail Service, «Rail Defect Manuel,» 1964.
- [4] Federal Railroad Administration , *Track Inspector Rail Defect Reference Manuel*, U.S. Department of Transportation, 2015.
- [5] E. Steyn, «Rail Surface Treatment-Master's thesis in Materials Engineering,» Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2019.
- [6] S. Grassie, «Squats and squat-type defects in rails: the understanding to date,» 2011.
- [7] Innotrackt, «Track Sections and Track Irregularities Analysis of DB Sites-Project no. TIP5-CT-2006-031415,» 2007.
- [8] A. Dey, R. Casperson, R. Pohl ve H.-M. Thomas, «Die Klassifizierung von Oberflächenfehlern in Schienen mit der Wirbelstromprüfung,» DGZfP-Jahrestagung 2009 - Di.2.B.3, Berlin.
- [9] M.N.Demirdağ, Balastsız Üstyapıda Ray Ondülasyonu Bakım Periyodunun Maliyet Temelinde Belirlenmesi, İstanbul: İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2018.
- [10] M. Kerr, «RailCorp Engineering Manual-Rail Defects Handbook-TMC 226,» RailCorp, 2012.
- [11] UIC, «UIC 712-R, Rail Defects, 4th Edition,» UIC, 2002.

Evaluation of Fresh State and Mechanical Properties of Cementitious Grouts

Yogita Gaude^{*,1}, K. G. Guptha², Er. T. Mohan³

^{*}yogitagaude123@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8054-6972

¹Department of Civil Engineering, Goa College of Engineering, Goa, India

²Department of Civil Engineering, Goa College of Engineering, Goa, India

³AGM QA/QC at Dilip Buildcon Ltd., Goa, India

Abstract: Many construction activities, such as prestressed cable ducts (internal or external) for structural elements, masonry and RCC structure repair and reconstruction, shoring and soil stabilization, geotechnical applications, and so on, use cement grouting. These grouts comprise basic elements such as cement, sand if used, water and, possibly, admixture(s) along with non-shrink chemical admixtures. They exhibit higher compressive strength compared to other materials. Varying the mix proportions and dosages of the different additives used can easily change the rheology and characteristic properties of the grout. Grouting of cable ducts of prestressed structures to fill in the voids or gaps between the ducts and prestressing strands is a large-scale application of cement grouts. Damages such as corrosion and rupture of prestressing tendons/strands due to insufficient grouting and/or chloride attacks from airborne salts, use of de-icing salts, or use of sea sand in the concrete can cause these structures to deteriorate in strength and durability. In such situations, there is a possibility that this sea water or de-icing salt may penetrate into the ducts, thus corroding the prestressing strands/cables. The entire structure's tensile load carrying capacity is mainly dependent upon the tensile stress carrying capacity of cables/strands. As a result, the alkaline/passive layer, i.e. grout, must be thoroughly mixed and injected into the ducts in order for it to achieve the desired properties after hardening. Bleeding occurs when using pure cement grout, reducing the w/c ratio but increasing strength. As a result, admixtures such as Cebex 100, Cebex 200, and Cebex EN or equivalent will be added to the pure cement grout to improve its rheological properties such as bleeding, compressive strength, and durability properties such as shrinkage and permeability, and their properties will be investigated. Understanding the performance of cementitious grouts based on dosage and other additives at a major River Bridge Project in Goa is the goal of this research.

Keywords: *Cebex EN, Cebex 100, Cebex 200, Cementitious grouts, Compressive strength, Non-shrink chemical admixtures, Shrinkage.*

I. INTRODUCTION

Cement grout is a mixture of cement, sand (if used), water, and likely admixture(s) in the appropriate mix proportions and dosages, with or without non-shrink additives. These grouts are used in a variety of civil engineering and building applications, including crack sealing, protective coatings, soil anchoring, grouting of prestressed cable ducts, masonry and concrete foundations, repairs and renovation, and so on. This is in particular because of the advancements that occurred in recent years through the usage of cementitious materials and chemical admixtures.

Cement grouting is adopted for prestressed bridges/structural components especially for grouting of cable ducts, girders, piers, bearings, etc. as a large quantity of work is concerned and calls for a lot of precautions to be taken. The quality of the duct grouting is directly proportional to the reliability of the structure. This is because these prestressing strands/tendons are prone to corrosion due to inadequate grouting, poorly filled ducts, chloride attacks from airborne salts, the use of de-icing salts, or even the use of sea sand in the concrete, which causes tensile strength of cables to deteriorate (oxidize) due to contact with atmospheric air, presenting a long-term disaster. As a result, the grout pumped into the prestressing duct acts as a protective sheath, preventing corrosion of the pre-stressing tendons/ strands. Adding various filler elements including fly ash, silica fume, ground granulated blast furnace slag (GGBS), micro cement, and others to the grout mix were used in the past to improve the fresh state and mechanical resistance of grouts such as flowability, bleeding, time of setting, and durability.

Because of their consistency and increased compressive strength, cement grouts are preferred. The water to cement ratio (W/C) of a grout mix is inversely proportional to its compressive strength. As a result, superplasticizers are needed to achieve the desired flowability in grouts with lower W/C ratios. Shrinkage, in addition to compressive strength, is one of the most significant factors influencing the grout's durability. As a result, some chemical additives with non-shrink properties must be incorporated into the grout mix to mitigate the effects of shrinkage and to ensure expansive properties to the grout. The use of pure cement grout results in bleeding which further leads to lowering of the w/c ratio but enhancing the compressive strength. As a result, certain admixtures such as Cebex 100, Cebex 200, and Cebex EN will be added to enhance its rheological and mechanical properties such as bleeding, shrinkage, and compressive strength, and their requisite properties will be determined. This study focuses on understanding the working principle and performance of cementitious grouts based on dosage and other additives at a major River Bridge Project in Goa. The objective of this research is to recommend mix proportions and dosages of additives to be used for grouting prestressed cable ducts at Zuari River Project-Goa. This topic demonstrates the comparison of test results of various trials conducted in the laboratory and on-site.

II. LITERATURE REVIEW

Various researchers contributed immensely to cement grouts through their research studies, and their research work was documented and reported, including basic findings and methodology.

Kim et al. (2016) [1], investigated the properties of steel fiber-reinforced grout (SFRG) made of ground granulated blast furnace slag in both its fresh and hardened states (GGBS). They investigated the impact of various cement types and GGBS volume content on the properties of SFRGs. The addition of steel fibres reduced the flow, bleeding, and setting time of SFRGs, while the use of GGBS as a 40% replacement of the cement by weight ratio increased the flow and setting time. The addition of steel fibres, also resulted in an increase in chloride penetration resistance under severe marine environmental conditions, as well as a marked increase in flexural strength and improvement in crack resistance, but it also resulted in a decrease in flowability, bleeding, and setting time.

Li et.al. (2017) [2], conducted a research study to evaluate rheological properties, fresh states properties, and mechanical properties of six different microfine cement (MC) grouts (three Portland-based and three slag-blended) and two ordinary Portland cements with or without superplasticizer (SP). It was observed that rheology and mechanical behaviour of MC grouts were

affected by W/C ratio, fineness and type of cement particles, and the addition of SP, etc. As the W/C ratios increased, there was a reduction in rheological properties however, it caused other effects such as excessive bleeding, longer setting time, and lower mechanical properties demanding the use of lower W/C ratios (in the range of 1.0–1.5) to obtain higher strengths of grouted sands or grouted rocks. Whereas, all these properties were improved with an increase in the fineness of cement. Portland-based MC grouts showed higher compressive strength, elasticity modulus and sand consolidation strength as compared to that of slag blended MC grouts with lower W/C ratios. As the fineness of the MC particles increases, it helps in better filling sand voids and increasing the cementing ability between grouts and soils.

Yoo et al. (2017) [3], investigated the use of shrinkage-reducing admixtures (SRA) to minimize the cracking tendency of post-tensioning high-performance grout (HG). They produced the HG mixture to be fluid with minimal bleeding and settling. Also, results were compared with Ordinary grout (OG) mixture. Both the mixes were found to be flowable to the same extent. Incorporation of SRA to the HG mixture led to increased compressive and tensile strength after 28 days, lower shrinkage strain and maximum internal temperature due to heat of hydration, and delayed shrinkage cracking. At all ages, HG samples assisted in the complete filling of ducts and exhibited the highest free shrinkage strain. The OG mixture, on the other hand, developed the smallest shrinkage strain, provided sufficient shrinkage cracking resistance, but resulted in insufficiently filled ducts, exposing prestressing strands to atmospheric moisture. Based on the findings, it was determined that both the HG and OG mixtures met the flowability requirements. In OG samples, however, there was more bleeding and settling than in HG samples. As a result, it was suggested that the HG mixture with 2% SRA be used, as it is the most suitable for post-tensioned grouting applications.

Vasumithran et al. (2020) [4], investigated the impact of fillers such as fine sand and fly ash on cement grouts, as well as the flowability and mechanical properties of these grouts. Mixes containing fillers had lower water-cement ratios and were thus non-workable. Therefore, a polycarboxylate ether-based superplasticizer was introduced into the mix. In all of the grouts, 10% of the cement mass was replaced by silica fume, while in some of the mixes, 50% of the cement mass was replaced by fillers. An increase in the water-cement ratio resulted in a variety of issues, including excessive bleeding, instability of the grout, longer setting times, and poor mechanical strength. The presence of silica fume in the mixes rendered the mixes less workable at low water-cement ratios but showed increased strength compared to other mix types. As opposed to cement grouts made solely of silica fume, the use of fine sand and fly ash in the grout resulted in lower initial strengths. Grouts made up of filler materials like fine sand, on the other hand, showed increased shrinkage and water absorption. Higher compressive, flexural, and bond strengths were observed when these fillers were not incorporated into the grout mix. As a result, fine fillers such as fine sand and fly ash were found to be a suitable replacement for cement in terms of durability.

III. MATERIALS

In this study, a variety of materials were used to prepare grouts, including:

A. Cement

Grouting is commonly done with ordinary Portland Cement (OPC). Chemical impurities such as chlorides and sulphates, as well as lumps, should be avoided in the cement. It must have the requisite setting time and a maximum temperature of 40 degrees Celsius. Cement for grouting

should conform to IS 269:1989 or 1489 (Part 1):1991 and 1489 (Part 2):1991. For conducting experiments, Ultratech cement-53 grade was used as shown in Figure 1.

B. Water

The grout mix should be prepared with potable water that meets IS 456:2000 standards and is free of impurities. The use of seawater must be avoided at all costs. The temperature of the water to be used should not exceed 5 degrees Celsius. Water from the Ready-Mix Concrete (RMC) plant was used in the grout to conduct experiments in the laboratory.

C. Admixtures

Chemical admixtures are added to the grout mix to enhance their rheological properties such as flowability of the grout, prevent entrainment of air, improve its mechanical and durability properties such as shrinkage, permeability etc. The additives used in the grout mix should be free of chlorides, nitrates, sulphates, or any other impurities that could cause the prestressing steel or grout to deteriorate.

The following is a list of the different additives used in this study. Figure 1 depicts the various materials used in this study.

a) Cebex 100 (Fosroc Chemical)

When positive expansion and a lower w/c ratio are desired, this admixture is used in site-batched cementitious grouts. It aids in the reduction of natural settlement and grout plastic shrinkage, maintaining stability and cohesion.

b) Cebex 200 (Fosroc Chemical)

Cebex 200 is a positive expansion type additive that is added to the cement grouts to reduce the water/ cement ratio.

c) Cebex EN (Fosroc Chemical)

Cebex EN admixture imparts expansive properties to the grout. Whenever a lower w/c ratio is desired, this additive is to be used. It comes in the form of a powdered mixture with plasticizing and hydrogen-free expansion properties. It provides higher strength and improves the durability of the mix.



Fig. 1. Materials used in the grout

IV. GROUTING EQUIPMENTS

A typical method of grouting used on-site during prestressed bridge construction is pressure grouting, which involves injecting grout material into the voids or gaps between the ducts and prestressing cables/strands using grouting equipment. Fig. 2 and Fig. 3 depicts a Twin drum grouting mixer with an additional agitator (which uses the pneumatic pressure principle) and a Single drum grouting mixer (which uses a screw conveyor to push the grout forward) respectively.



Fig. 2. Twin drum grouting mixer with additional agitator



Fig. 3. Single drum grouting mixer

V. GROUTING PROCESS

Fig. 4 illustrates the flow diagram of the grouting procedure implemented on-site. There are three main steps to the field grouting process.

- i. Mixing the contents of the grout according to the proposed mix design
- ii. Keeping the desired level of pressure
- iii. Pressure relief achieved by taking the necessary safety precautions

The contents of the proposed mix, namely cement and water are thoroughly mixed with the additives of known dosages employing a grout mixing device. The blending process is to be carried out for about 2-3 minutes which needs continuous agitation till the grout mix is pumped. To avoid

choking, the grout has to pass through a grout strainer after mixing. The grout injection process is then started ensuring a pressure of 0.5 MPa. However, a minimum pressure of 0.3 MPa is required. As a safety measure, the maximum grouting pressure is limited to 1 MPa. Once the free movement of the grout is observed at the other end and the pumping point, the grout injection process shall be stopped. To ensure complete protection to the tendons or the bundled strands, the ducts must be completely filled with corrosion-inhibiting grout under pressure leaving no voids. This is presented in Fig. 5.

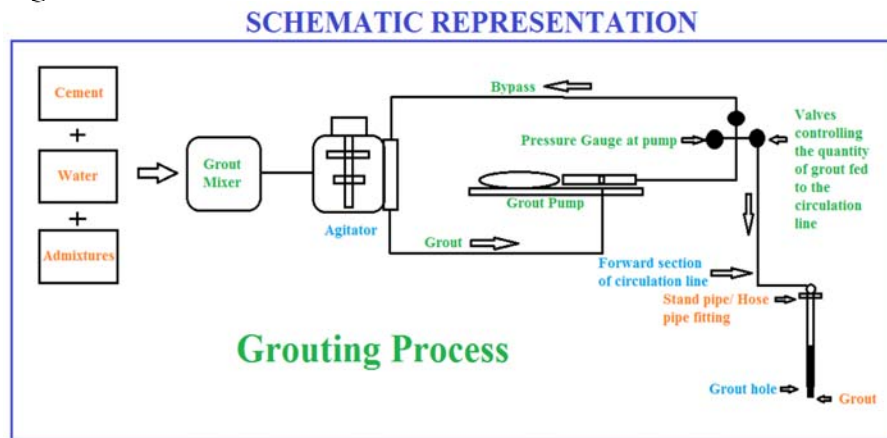


Fig. 4. Grouting Process

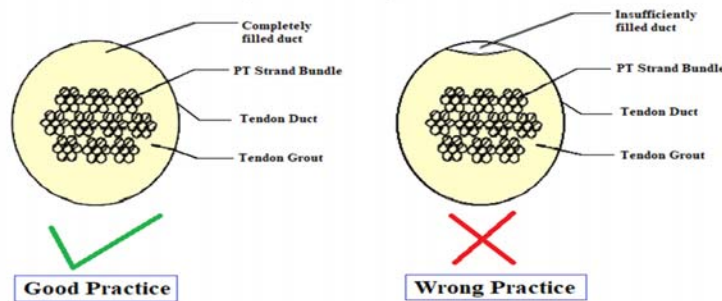


Fig. 5. Do's and Don'ts for grouting- A comparison

VI. LABORATORY EXPERIMENTS

Experiments were conducted within the laboratory to get the mechanical properties of grout like compressive strength. During this work, cubes were cast of 100mm X 100mm X 100mm each using grout mix which were then demoulded after 24 hours and left to cure in normal water. Cubes were then tested at 3 days, 7 days, 14 days, and 28 days, respectively for compressive strength. Fig. 6 depicts a variety of laboratory tests, including temperature assessment of grout mix, grout mixing process, casting of cube specimens, normal water curing, and compression test. The mix design details of various trials conducted in the laboratory are presented in Table I.

TABLE I
MIX DESIGN TRIALS

Trial specification	w/c ratio	Dosage of admixture
Pure OPC grout	0.4	-----
Grout with Cebex 100	0.4	0.45% by weight of Cement
Grout with Cebex 200	0.4	0.45% by weight of Cement
Grout with Cebex EN	0.4	0.45% by weight of Cement



Fig. 6. Experiments conducted in the laboratory

VII. ON-SITE MEASUREMENTS

Fig. 7 depicts the various on-site experiments such as temperature measurements of cement, water and grout mix, flow test/ mass cone viscosity test, bleeding test etc. Once the grout mix is ready, the temperature must be measured at the grout inlet as well as at the grout outlet once the grouting is complete. It is observed that the temperature of the grout at the outlet rises as it flows through the ducts because of pressure and friction between the prestressing steel and ducts and as well as the hydration of cement. This increase in temperature is in the range of 0.05-0.1°C increment per metre length of span including the length of supply grout pipe. It is also affected by weather conditions such as rain, frost, and winter, as well as early morning hours. Temperature increments would be lower during these times. Flow test or mass cone viscosity test is also conducted using Marsh cone equipment as per ASTM C949. The efflux time should be between 20 to 30 seconds. A bleeding test was also carried out on the grout mix which was kept at rest for three hours. The bleed percentage is limited to 0.3.



Fig. 7. Experiments conducted on-site

VIII. RESULTS AND DISCUSSIONS

The temperature measurement results of source materials and grout mix were noted for various laboratory and on-site grouting batches. The temperature of cement, water and grout mix at inlet and grout mix at the outlet should be less than 40 °C, 5 °C, 16 °C and 25 °C respectively. The bleeding, density and compression test results are presented in Table II, Table III and Table IV respectively.

From Table II, it can be deduced that high bleed allows water to escape, resulting in voids that can result in losing contact between the prestressing steel and the surrounding structural concrete, excessive segregation and sedimentation of the grout material. The hydration reaction is also incomplete since water escapes by bleeding. Cebex EN shows negligible bleeding. Pure OPC grout, on the other hand, shows the highest amount of bleeding. Bleeding is moderate for grouts with Cebex 100 and Cebex 200.

TABLE II
BLEEDING RESULTS

Trial mix details	Maximum Bleed content
	(in %)
Pure OPC grout	2
Grout with Cebex 100	1
Grout with Cebex 200	1
Grout with Cebex EN	0.1

TABLE III
DENSITY RESULTS

Trial mix details	Average 3 days strength (KN/m ³)	Average 7 days strength (KN/m ³)	Average 14 days strength (KN/m ³)	Average 28 days strength (KN/m ³)
Pure OPC grout	2073	2113	2128	2073
Grout with Cebex 100	2040	2049	2032	2053
Grout with Cebex 200	1992	2022	1999	2039
Grout with Cebex EN	1968	2035	2024	2052

KN = Kilo Newton, m = metre

TABLE IV
COMPRESSIVE STRENGTH RESULTS

Trial mix details	Average 3 days strength (KN/m ³)	Average 7 days strength (KN/m ³)	Average 14 days strength (KN/m ³)	Average 28 days strength (KN/m ³)
Pure OPC grout	32.15	35.44	54.27	56.47
Grout with Cebex 100	26.20	28.40	36.93	38.73
Grout with Cebex 200	20.83	29.78	37.43	41.56
Grout with Cebex EN	17.87	33.57	42.62	46.75

Fig. 8 depicts the temperature of the mix as a function of time for the trials conducted. For pure OPC grout, the temperature rises sharply for 60 minutes, which then again falls up to 150 minutes before attempting to stabilize. 0-60 minutes can be termed as a high-temperature zone in which the temperature rises rapidly while 60-120 minutes is a time where the temperature attempts to return to normal. Pure OPC grout has lower temperatures than grouts with admixtures since it bleeds, allowing water to escape resulting in less reaction. Cebex EN, on the other hand, has a steady temperature rise that lasts up to 60 minutes. It tries to stabilize after 60 minutes. As a result, Cebex EN maintains the temperature and heat of hydration in the grout. Therefore, Cebex EN is a stable grout in terms of mix temperature. Whereas, grouts with Cebex 100 and Cebex 200 takes a long time to stabilize.

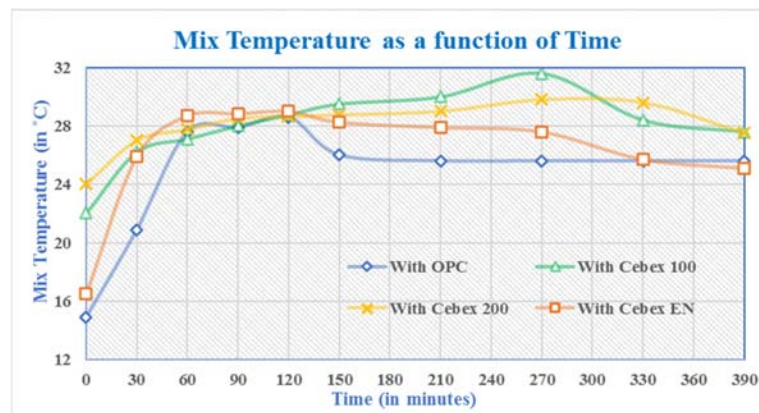


Fig. 8. Mix Temperature as a function of Time

Fig. 9 (a), (b), (c) and (d) depicts the compressive strength and density as a function of age for the various trials conducted. It can be observed that grout when mixed with pure OPC, density increases over time, up to 14 days. Its density decreases after 14 days, returning to its original

value of 3 days. With the addition of admixture, the density of the mix reduces as they help to control bleeding and shrinkage. Any cementitious grout when added with expansive admixture, a typical trend of reduction in the density is observed between 7 and 14 days. Such observed marginal reduction in the density is further gained between 14 and 28 days.

Compressive strength is higher in grouts with Pure OPC than in grouts with admixtures because Pure cement grout bleeds, reducing the w/c ratio and thereby increasing strength. Compressive strength decreases with the addition of admixtures, as they help to control shrinkage and bleeding. A similar upward trend is observed in grouts with Pure OPC, Cebex 100, and Cebex 200 from 3 to 28 days, while Cebex EN has a steady upward trend, suggesting that it is a stable compound in terms of strength gain.

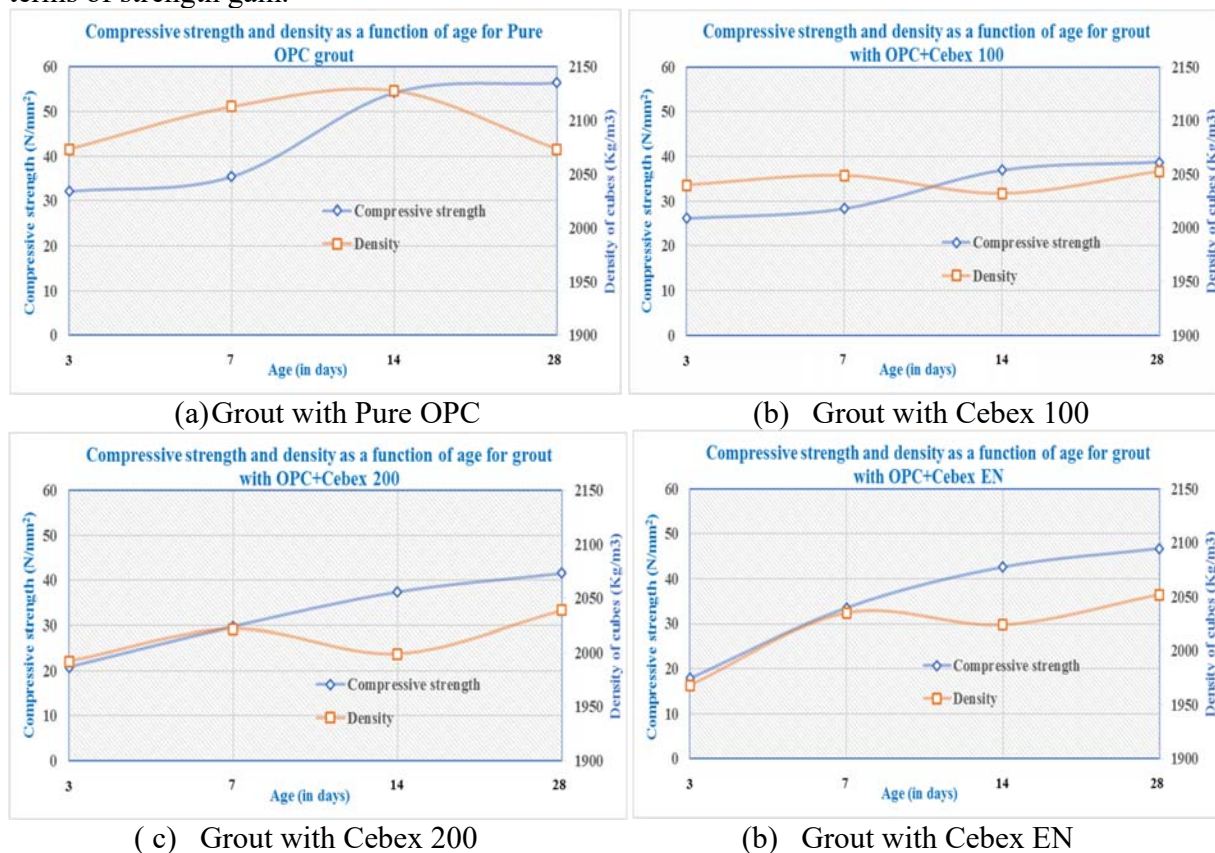


Fig. 9. % gain of compressive strength and density as a function of age

IX. CONCLUSION

The following conclusions were reached as a result of the research.

1. Cement grouts are used in the field of civil engineering and construction activities for wide applications such as sealing of cracks, protective coatings, soil anchoring applications, cable grouting for prestressed structures, repairs & rehabilitation of masonry and concrete structures, etc. to fill in the voids or gaps between the two elements to re-bond completely or to create a water-tight seal.

2. Grouts containing admixtures, such as Cebex EN, Cebex 100, and Cebex 200, are favoured because of their higher strength, better flowability, temperature and density consistency, and so on.
3. All of these admixtures, including Cebex EN, Cebex 100, and Cebex 200, help to reduce shrinkage. These admixtures are distinguished by the order in which shrinkage-reducing compounds are present. Cebex EN > Cebex 100 > Cebex 200.
4. When Cebex 100 comes into contact with atmospheric oxygen, it will form a water molecule since it is a gaseous expansive product with a hydrogen molecule. As a result of this, prestressing strands/tendons will deteriorate over years or decades.
5. The addition of admixtures to cementitious grouts results in a marginal reduction in compressive strength whereas reduction in density is negligible.
6. Cebex EN grouts are more stable than OPC and other admixtures because they have less variation in density and temperature. Cebex EN grouts are more stable than OPC and other admixtures because their density and temperature show less variation. Furthermore, as opposed to Pure OPC grouts, grouts with admixtures show less bleeding.
7. When it comes to pumping the mixes, none of these admixtures poses a problem.
8. As compared to admixture-containing grouts, the time it takes for pure OPC grouts to set is nearly half of that of admixture-containing grouts.
9. The ability to mitigate shrinkage is the main reason for using these admixtures. Cebex EN grout is the only manageable grout when it comes to mix temperature, bleeding, density, and compressive strength. As a result, it is suggested for grouting. More research is being conducted on this subject, including studies of durability such as shrinkage and permeability.

ACKNOWLEDGMENT

Authors are thankful to the entire staff of Dilip Buildcon-Ltd. Goa for their immense support towards this research study.

REFERENCES

- [1] Kim, Park, Le, and Moon, "Fresh and hardened properties of steel fiber-reinforced grouts containing ground granulated blast-furnace slag," *Construction and Building Materials*, vol. 122, pp. 332-342, September 2016.
- [2] Li, Sha, Liu, Zhang and Li, "Investigation on fundamental properties of microfine cement and cement-slag grouts," *Construction and Building Materials*, vol. 153, pp. 965-974, October 2017.
- [3] Yoo, Ryu, Yuan, and Koh, "Mitigating shrinkage cracking in post tensioning grout using shrinkage-reducing admixture," *Cement and Concrete Composites*, vol. 81, pp. 97-108, August 2017.
- [4] Vasumithran, Anand and Sathyan, "Effects of fillers on the properties of cement grouts," *Construction and Building Materials*, vol. 246, p. 118346, June 2020.
- [5] Ministry of Road Transport and Highways (Fifth revision), *Indian Road Congress*, 2013.

Determination of The Effect of Fiber Orientation on Buckling Behavior of Glass Fiber Reinforced Polymer Composites

Gökmen Atlıhan¹, Berkay Ergene^{*,1}, İsmail Ovalı¹

bergene@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6145-1970

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Pamukkale University, Denizli, Turkey

Abstract Composite materials are extensively used in many industrial sectors such as automotive, aircraft, defense, and marine due to their featured mechanical properties that are the results of combining two or more different materials for a purpose. It is known that changing the fiber volume or fiber orientation may improve the mechanical properties of the composites. In this finite element study, the effect of fiber orientation on buckling behavior of glass fiber reinforced polymer (GFRP) composites was examined in depth via Ansys finite element-based program. An analytical solution was also performed. The results indicate that fiber orientation affects the critical buckling load directly and critical buckling load decreases dramatically when the fiber orientation changed between 0° to 59°. Lastly, an increase in mode number leads to an increase in the critical buckling load of the beam as well.

Keywords: Buckling, GFRP, Simulation, Fiber Orientation, Ansys APDL

I. INTRODUCTION

Glass fiber reinforced polymer composites are widely used in many fields such as aerospace [1], automotive [2], marine [3], and mechanical [4] due to the ductility brought by the matrix material epoxy and the stiffness properties provided by the fiber material glass [5]. It can be reported that GFRP composites can be produced with various manufacturing methods like hand lay-up, spray-up, vacuum bag molding, resin transfer molding, vacuum infusion, compression molding, injection molding, filament winding, electrospinning, and pultrusion process [6]. When the studies in the literature on GFRP composites produced by various methods are examined; It is seen that their mechanical performances [7-9], drillability [10], abrasive water jet cutting and turning [11], micromachining [12], and vibration behavior [13] have been investigated.

Parallel to these subjects, the effect of the type, ratio, and orientation angle of fiber material in composite materials on the critical buckling load of the composite material is also examined in detail. For instance, Doan et al. examined a numerical study to determine the effect of component dimensions and fiber orientation on the critical buckling load of GFRP composite strut under compression and they expressed that change of fiber orientation and part dimensions directly affect the critical buckling load of the composite beam [14]. Besides, Madenci et al. conducted a performance about the buckling and free vibration analyses of pultruded GFRP laminated composites, and the obtained results from this study state that fiber orientation in composite and

length/width ratio leads to a great change in the critical buckling load the GFRP composite laminate [15]. Besides, Atlihan studied the buckling analysis of delaminated composite beams and one of the significant from that study is an increase in delamination length reduces the critical buckling load and the critical buckling load decreases when up to a critical point with the change of the fiber orientation under all boundary conditions applied [16]. Lastly, Vummadisetti et al. made a research to reveal the buckling and post-buckling response of hybrid composite plates under uniaxial compressive loading and they commented that stacking sequences is such an important parameter for a possible change in buckling load and also functionally graded hybrid plates have higher buckling and first failure [17].

In this study, the GFRP composite beam was modeled and then analyzed by a finite element-based Ansys APDL program to determine the effect of fiber orientation on the critical buckling load of the beam. Subsequently, obtained FE results were compared with calculated analytical results. In conclusion, the mode shapes of the GFRP composite beams were obtained for Mode 1, Mode 2, and Mode 3.

II. MATERIAL AND METHOD

Modeled beam with dimensions of 200x10x3 mm and its meshed view was shown in Figure 1a. Besides, some examples were presented to show fiber orientation in the GFRP beam in Figure 1b. FE analysis of the beam was conducted to determine the critical buckling load with the change of fiber orientation from 0° to 90° in the Ansys APDL program. In order to analyze the buckling behavior of the beam, modeled beam has 8 equal layers with a thickness of 0.375 mm meshed with element type of Shell 181 and element size of 1 mm.

Assigned material properties of GFRP beam to Ansys program were tabulated in Table 1. In Table 1, E, G, and ν demonstrate the elasticity modulus, shear modulus, and Poisson's ratio respectively. During FE simulations, Block Lancsoz with 10 expanded modes was preferred and a total number of 91 FE analyses were performed. As a boundary condition, one end of the beam was fixed and to the other free end of the beam 1 N/mm load was applied in the x-direction. Firstly, the model was statically solved. Afterward, it was solved again at the Eigen buckling section after calculated pre-stress effects.

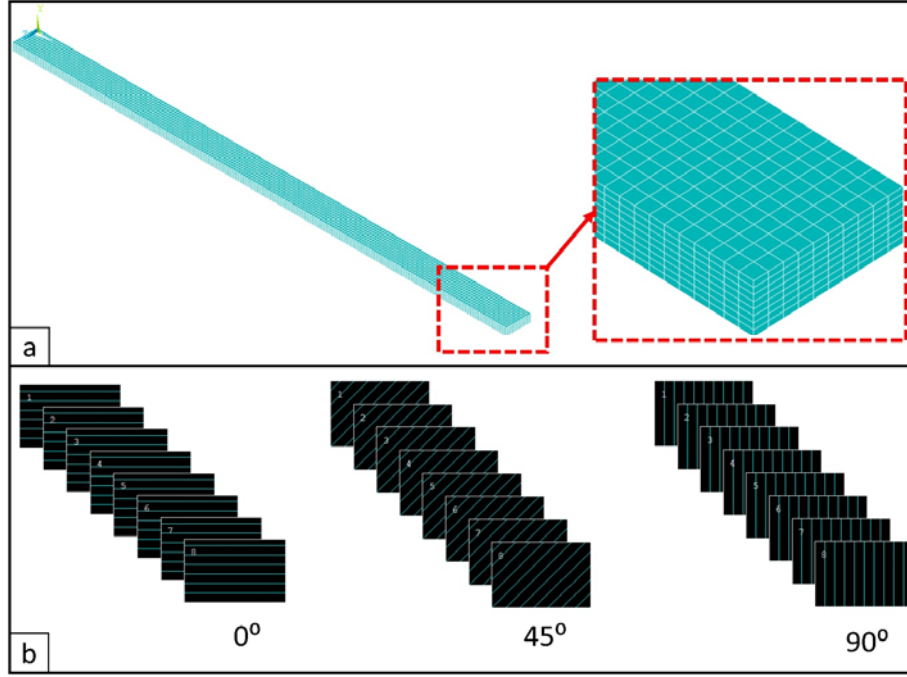


Fig. 1. Modal analyzed beam, a) modeled and meshed beam, b) some examples of fiber orientations views.

TABLE I
Assigned material properties of GFRP in Ansys APDL [16]

E_{xx} (MPa)	E_{yy} (MPa)	E_{zz} (MPa)	G_{xy} (MPa)	G_{yz} (MPa)	G_{xz} (MPa)	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
44150	12300	12300	4096	4096	4096	0.2	0.05	0.05

On the other hand, the critical buckling load of the composite beam was also calculated analytically by using equation 1 below [16].

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E_{ef} I_{xx}}{4L^2} \quad (1)$$

where P_{cr} , E_{ef} , I_{xx} and L demonstrate the critical buckling load, effective elasticity modulus, cross-sectional inertia moment about the neutral axis of the beam and height of the beam respectively [16].

III. RESULTS

The obtained critical buckling load results related to fiber orientation for Mode 1, Mode 2, and Mode 3 from FE analyses were given in Figure 2a. Moreover, analytically calculated critical buckling load outcomes were shared in Figure 2b to compare the results with numerical results in Figure 2a. According to Figure 2, critical buckling load increases with an increment of Mode

number. For instance, critical buckling load rises to 245 N from 61 N when mode 1 changed to mode 2 at a fiber orientation of 0° . Furthermore, if mode 2 changed to mode 3, the critical buckling load rises to 551 N from 245 N at 0° fiber orientation. Additionally, critical buckling load decreases till the fiber orientation of 59° . After this fiber orientation level, the critical buckling load exhibits an upward trend till the fiber orientation of 90° . In addition, it can be pointed out that the drop level of critical buckling load till the fiber orientation of 59° is the same when the mode number changed. As an illustrative example, the rate of decrease in critical buckling load was determined as % 75 for all modes. Lastly, it can be expressed that FE analysis results are extremely compatible with analytical results like can be seen when Figure 2a and Figure 2b compared. Besides, these obtained results are compatible with other studies conducted in the literature [16, 18, 19, 20].

Mode shapes of the beam in Mode 1, Mode 2, and Mode 3 were shown in the order of Figure 3a, Figure 3b and Figure 3c. When Figure 3 is considered, it can be commented that the shape of the composite beam changes with mode. Also, the composite beam fluctuates more when the mode number increased.

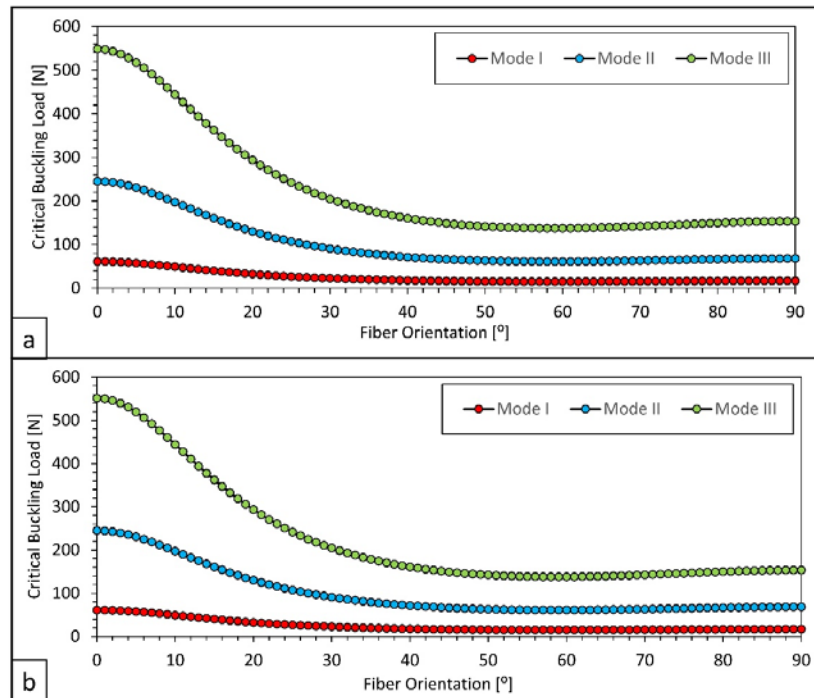


Fig. 2. Change of the critical buckling load with fiber orientation, a) Numerical results, b) Analytical results.

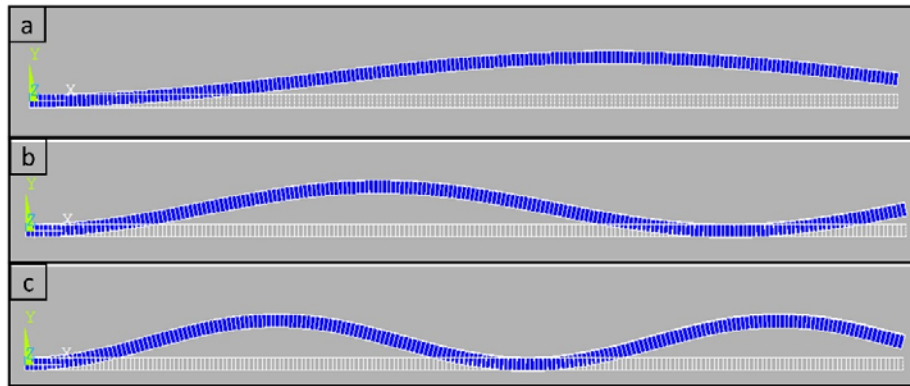


Fig. 3. Mode shapes of the GFRP composite beam, a) Mode 1, b) Mode 2, c) Mode 3.

IV. CONCLUSION

The given conclusions can be drawn from the present study:

- Fiber orientation in the GFRP beam directly affects the critical buckling load of the composite beam. Furthermore, critical buckling load decreases till the fiber orientation of 59° . After this fiber orientation level, the critical buckling load exhibits an upward trend till the fiber orientation of 90° .
- Maximum and minimum critical buckling load of 548 N and 15.265 N were observed at Mode 3 and fiber orientation of 0° , and Mode 1 and fiber orientation of 0° as FE analysis results were considered.
- It can be pointed out that when the mode number increased, the critical buckling load of the composite beam increased as well.
- Numerical results obtained from FE analysis showed a good agreement with calculated analytical results.

REFERENCES

- [1] O. Boegler, U. Kling, D. Empl, A. Isikveren, "Potential of sustainable materials in wing structural design," In Proceedings of the Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, München, Germany, 16–18 August 2014.
- [2] M. Çakmakkaya, M. Kunt, O. Terzi, "Investigation of Polymer Matrix Composites in Automotive Consoles", International Journal of Automotive Science and Technology, 3, 3, 51-56, 2019.
- [3] H.N. Dhakal, J. MacMullen, Z.Y. Zhang, "Moisture measurement and effects on properties of marine composites". In Marine Applications of Advanced Fibre-Reinforced Composites; Woodhead Publishing: Sawston, UK; Cambridge, UK, 2016; pp. 103–124.

- [4] K. Mao, D. Greenwood, R. Ramakrishnan, V. Goodship, C. Shrouiti, D. Chetwynd, P. Langlois, "The wear resistance improvement of fibre reinforced polymer composite gears", *Wear*, 426, 1033–1039, 2019.
- [5] T.P. Sathishkumar, S. Satheeshkumar, J. Naveen, "Glass fiber-reinforced polymer composites – a review", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33, 13, 1258-1275, 2014.
- [6] D.K. Rajak, D.D. Pagar, P.L. Menezes, E. Linul, "Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications", *Polymers*, 11, 10, 1667, 2019.
- [7] M.J. Shukla, D.S. Kumar, K.K. Mahato, D.K. Rathore, R.K. Prusty, B.C. Ray, "A comparative study of the mechanical performance of Glass and Glass/Carbon hybrid polymer composites at different temperature environments", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 75, 012002, 2015.
- [8] B. Dindar, "Metal-Cam fiber/epoksi/ÇDKNT Sandviç Panellerin Eğilme Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 249-253, 2020.
- [9] B. Yalçın, B. Ergene, "Farklı malzemelere sahip hibrid kompozitlerde çatlağın mekanik davranışlara etkisinin analizi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24, 4, 616-625, 2018.
- [10] B. Ramesh, A. Elayaperumal, S. Satishkumar, "Drillability study of pultruded and sheet moulding compound thick polymeric composites", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231, 2, 268-285, 2015.
- [11] B. Ergene, Ç. Bolat, "A review on the recent investigation trends in abrasive waterjet cutting and turning of hybrid composites", *Sigma J. Eng & Nat Sci*, 37, 3, 989-1016, 2019.
- [12] M. Prakash, P. Laxminarayana, "A review on micro drilling of glass fiber reinforced polymer composites", *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 7, 5, 3612-3615, 2019.
- [13] G. Atlıhan, B. Ergene, "Vibration Analysis of Layered Composite Beam with Variable Section in Terms of Delamination and Orientation Angle in Analytical and Numerical Methods", *Acta Physica Polonica A*, 134, 1, 13-17, 2018.
- [14] Q.H. Doan, D.K. Thai, N.L. Tran, "A numerical study of the effect of component dimensions of the critical buckling load of a GFRP composite strut under uniaxial compression", *Materials*, 13, 4, 931, 2020.
- [15] E. Madenci, Y.O. Özkılıç, L. Gemi, "Buckling and free vibration analyses of pultruded GFRP laminated composites: Experimental, numerical and analytical investigations", *Composite Structures*, 254, 112806, 2020.
- [16] G. Atlıhan, "Buckling analysis of delaminated composite beams", *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 20, 276-282, 2013.
- [17] S. Vummadisetti, S.B. Singh, "Buckling and postbuckling response of hybrid composite plates under uniaxial compressive loading", *Journal of Building Engineering*, 27, 101002, 2020.
- [18] M. Yazıcı, "Influence of Cut-Out Variables on Buckling Behavior of Composite Plates", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28, 19, 2019.
- [19] A. Sayyidmousavi, K. Malekzadeh, H. Bougharara, "Finite element buckling analysis of laminated composite sandwich panels with transversely flexible core containing a face/core debond", *Journal of Composite Materials*, 46, 2, 193-202, 2011.
- A.A. Ghorbanpour, S. Maghamikia, M. Mohammadimehr, A. Arefmanesh, "Buckling analysis of laminated composite rectangular plates reinforced by SWCNTs using analytical and finite element methods", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25, 809-820, 2011.

Low-Cost Portable Sensor Information and Image Acquisition System

Emel Soylu^{*1}, Ali Uysal², Tuncay Soylu³

^{*}emel.soylu@samsun.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2774-9778

¹Department of Software Engineering, Samsun University, Samsun, Turkey

²Department of Electric and Electronics Engineering, Manisa Celal BAYAR University, Manisa, Turkey

³Department of Electric Electronics Engineering, Samsun University, Samsun, Turkey

Abstract In order to live in safety and health, the environment we live in must be suitable for human conditions. The amount of temperature and humidity in the environment is important for human health. Situations such as gas, shaking, waterlogging in the environment we live in are undesirable situations that adversely affect human health. By using a tiny camera and appropriate sensors, it is possible to monitor the environment and generate warnings in extraordinary situations. With the developed software, it is possible to monitor whether there is a gas leak, fire, flooding, someone coming to the place, vibration, or loud noise. In this study, a portable low-cost measurement system was carried out using a Raspberry Pi. In the study, the quality of the environment is estimated in addition to the warning system. The temperature and humidity of the environment are measured, and the presence of gas, flame, vibration, wetness, and sound is detected in the environment. The graph of the measured analog values is plotted and observed in real time. To obtain the temperature felt according to the temperature and humidity data, the equation has been obtained with the curve fitting method. A certain gain value has been determined for every undesirable situation that may occur in the environment. These values are summed up in the measurement results. The environment quality is determined according to the value of the total value. Camera recording and face detection were performed. Haar Cascade classifier in OpenCV library is used for face recognition. The photographs of the faces entering the camera view are taken and sent to the specified e-mail address. The measurement data is saved to the external drive. The application is adaptable to many applications such as home automation, patient monitoring system, and security system.

Keywords: *Raspberry Pi, Sensors, Ambient monitoring, OpenCV, Face recognition*

I. INTRODUCTION

TOO many quantitative data are needed to create system dynamics and feedback models. Qualitative data and analysis play a role in every stage of the modeling process [1].

Raspberry Pi is a minicomputer and is preferred in many academic studies. It used in many fields like robotic [2], wireless sensor network [3], home automation system [4] image processing [5], real-time mimic recognition [6], cloud computing [7], city lighting control [8], status monitoring and control [9]. Cost-effective, ease of use, and ease of access to the sample source code are the main reasons for the choice. It supports Python, a high-level programming language.

Python is an object-oriented, interpretive, unitary, and interactive programming language. Simple

syntax based on indentations makes it easier to learn the language and keep it in mind. This gives the programming language the ability to begin programming without losing time with details of the syntax. The modular structure supports the class string and any data field input. Python can run on almost any platform. (Unix, Linux, Mac, Windows, Amiga, Symbian). With Python, the software can be developed in many areas such as system programming, user interface programming, network programming, application, and database software programming.¹Raspberry Pi is preferred because of its ability to communicate wirelessly in applications such as home automation. In this way, information about the physical environment conditions can be collected, and depending on this information, applications such as climate control, alarm activation can be run automatically [10]. Raspberry Pi is also used in health check applications for remote monitoring. For example, electrocardiogram signals of patients in different rooms of a hospital may be displayed in a smartphone application. In this way, health care staff can control more than one patient at the same time [11].

Raspberry Pi is the preferred equipment in Internet applications of objects. Some of the applications of the Internet of Things are smart car parking, smart home, smart city, smart environment, industrial places, agricultural area, and health monitoring process. Such an application can be used to monitor the patient's health status. The Internet of Things makes medical equipment more efficient by allowing the sensor to receive real-time monitoring of patient health, where the sensor receives patient data and reduces human error [12].

Raspberry Pi is also used successfully in image collection applications. Senthilkumar and his colleagues have developed an embedded system image capture system using Raspberry Pi to create a database for use in face recognition algorithm. [13].

The data collection cards currently sold on the market are costly and are not portable because they are installed on the computer. In this study, it is aimed to develop a portable device and software for collecting media data using various sensors. A data set is created by recording the measurement data. Ambient temperature, humidity is measured, and it is determined whether there is vibration, gas, sound, wetness in the environment. Information about the quality of the media is given. Camera recording is performed for the desired time. When face-to-face with the software using OpenCV, this face is detected and sent to the user's e-mail address.

The paper is organized with the following sections: Section 2 describes the experimental setup, Section 3 includes ambient quality detection, Section 4 involves camera recording and face detection application, and Section 5 provides the conclusions and recommendations.

II. EXPERIMENTAL SETUP

As technology develops, the size of computers becomes smaller. Raspberry Pi is an example of this and is about a credit card size. Raspberry Pi can be run on Linux, can be connected to the internet, allows external hardware connections such as screen, keyboard, mouse. At the same time, thanks to the low price and the many applications developed on it, it is now frequently used in many electronic applications, except for standard computer needs. The CPU on the Raspberry Pi board is an ARM processor with a clock rate of 700 MHz. It has interface peripherals including a USB port, HDMI port, 512MB RAM, SD Card storage, and 8 GPIO ports for expansion. The monitor, keyboard, and mouse can be connected to Raspberry Pi via HDMI and USB connectors and can be used as a desktop computer. It supports many operating systems, including Raspbian,

a Debian-based Linux distribution. Operating systems are available free of charge from the Raspberry Pi website.[14]. The Raspberry Pi can be connected to a local network via an Ethernet cable or USB Wi-Fi adapter, and then accessed via the SSH remote login. The Raspbian operating system was used in this study. This operating system is preferred because it supports the OpenCV library.

The block diagram of the experimental setup used in this study is shown in Fig. 1. Temperature-humidity, flame, rain, sound, gas, and vibration sensors are measured. The measurement data is displayed and stored in the external storage. Images captured by the camera are recorded periodically.

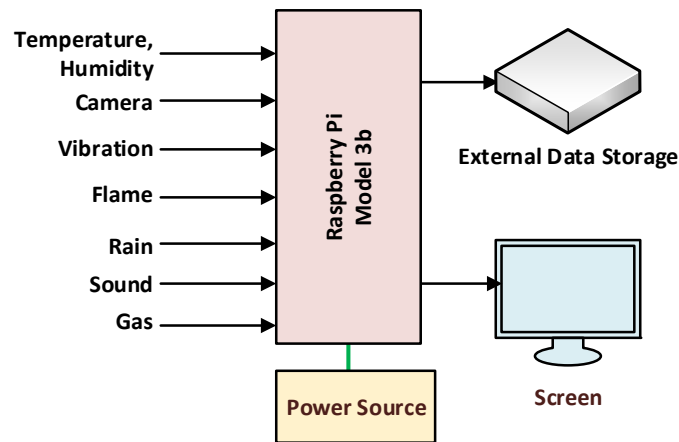


Fig. 1. Block diagram of the experimental setup.

The technical information for the sensors used in this study is as follows:

With the DHT11 temperature and humidity sensor module, the temperature and humidity values are measured and transferred to the Raspberry Pi via digital pin input. The DHT11 temperature and humidity sensor can measure temperature between 0-50 °C and ± 2 °C with an accuracy of 20-80% with 5% accuracy. Adafruit_Python_DHT library has been installed to measure with DHT11 temperature and humidity sensor. the graph of temperature and humidity values is plotted in real-time.

The raindrop detection sensor is a very easy and cost-effective water level recognition sensor. In the event of raindrops or water volume changes, the electrical value of the lines arranged parallel to each other as a result of the interaction with the water reads the analog value to the output pins of the sensor. The data from the sensor's analog outputs are easily converted to digital values. It has 3.3V-5V operating voltage [15].

The gas sensor used in this study works with DC voltage. The microprocessor has a compatible TTL output. The analog output voltage is proportional to the gas concentration in the air. It has high precision. It accurately measures the concentration of LPG, Propane (C₃H₈), and Hydrogen (H₂). Measuring Range: 300-10000 ppm. It has a long working life and stability.

Normally closed type vibration sensor has 5V 3.3V operating voltage and gives digital output. The sound sensor gives digital output against high pulsing sounds such as clap.

The flame detector board is a sensor board for detecting a fire with a wavelength between 760 nm - 1100 nm. It contains an IR receiver. trimpot on the sensitivity adjustment can be made and can be used in both analog and digital output.

In this study, an experimental setup was made to measure from the sensors. Fig. 2 shows an illustration of the experimental setup. The information received from the temperature, the humidity sensor is analog and the information from the vibration, gas, sound, flame, rain sensor is digital. The power of the system is provided by the power bank of 5V 2200 mA. Measurement data and recordings from the camera are recorded on the external USB disk.

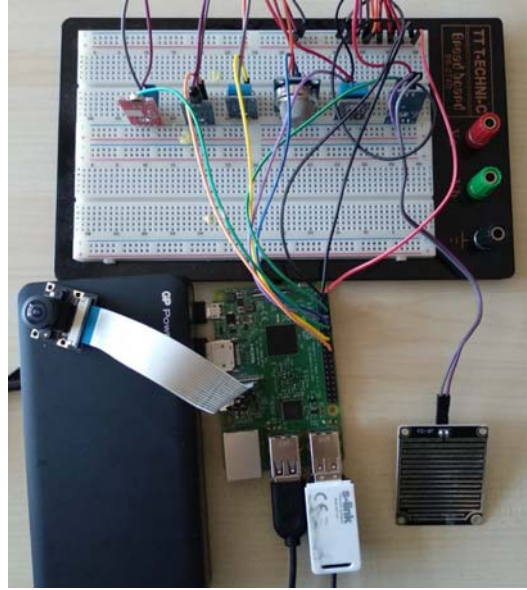


Fig. 2. Experimental setup.

III. AMBIENT QUALITY DETECTION

In this study, we propose to obtain a total value by multiplying the data measured in the environment with the gain values we determined and having information about the quality of the environment according to this value.

Depending on the measured temperature and humidity, the sensed temperature is calculated according to the data published on the official website of the Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Meteorology [16].

The sensed temperature does not have a linear equation. Using the Matlab curve fitting toolbox, the temperature equation for the 5th-degree polynomial is generated according to temperature and humidity. Equation 1 gives the equation obtained. The result of $F(x, y)$ gives the sensed temperature. x is the humidity value and y is the temperature value.

$$F(x,y) = 390.8 - 26.34*x - 13.23*y + 0.6031*x^2 + 0.9654*x*y - 0.005841*x^3 - 0.02275*x^2*y + 1.70e-02*x^4 + 0.0002356*x^3*y + 2.60e-05*x^5 - 8.66e-04*x^4*y \quad (1)$$

The sensed temperature is the temperature that the human body feels, unlike the actual physical air temperature measured by the thermometer. This is a subjective concept because the temperature is influenced by the four meteorological factors such as the climatic environment, heat resistance of the garments, body structure, and personal condition as well as thermometer temperature,

relative humidity, wind, and radiation. Therefore, sensing and feeling of temperature vary from person to person. The effect of the sensed temperature on our body is given in Table 1.

TABLE I
THE EFFECT OF THE SENSED TEMPERATURE ON OUR BODY [16].

Limits	Class	Effect
-1 – 26	Cold-Cool	Muscle aches and muscle retention may occur.
27 – 32	Hot	A lot of discomforts may occur in fatigue, nervousness, circulatory and respiratory systems due to the thermal stress caused by physical activity and duration of effect.
33 – 41	so hot	Depending on the physical activity and the duration of the affected heart, heat cramps and heat fatigue may occur with strong thermal stress.
42 – 54	Dangerous Hot	Sunstroke, heat cramps, or heat exhaustion may occur.
> 55	Dangerous Hot	Risk of heat or sunlight. Thermal shock may occur at any time.

TABLE II
MEASUREMENT GAIN COEFFICIENTS

	State	Gain coefficient value
Sensed Temperature	Cold	2
	Hot	4
	Very Hot	6
	Dangerous Hot	8
	Dangerous Hot	10
Digital sensors	Gas	5
	Voice	2
	Flame	5
	Vibration	5
	Rain	3

Sensed temperature and data from other digital sensors are multiplied by the specified coefficients. The sum of the multiplication results is calculated and the quality of the media is determined according to this value. Gas, rain, flame, vibration, sound data are measured digitally. In software while the logic state is 1 there is gas, rain, flame, vibration or sound is in the environment. Otherwise, there is no measurement.

According to this table, while the total value is 0 under normal conditions, the number 50 is obtained under the worst conditions. Situations can be shown in 5 groups as normal, poor, bad, very bad, and extremely bad.

TABLE III
DETERMINING THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT ACCORDING TO THE TOTAL VALUE.

Result range				
0	0-10	11-15	16-35	35-50
Normal	Poor	Bad	Very Bad	Extremely Bad

$$y[i] = 1/M \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j] \quad (2)$$

TABLE IV
SAMPLE MEASUREMENT SCENARIOS.

No	Temp.	Hum.	Sensed temp.	Gas	Flame	Rain	Sound	Vibration
1	40	27	27	1	1	0	0	0
2	40	41	51	0	1	0	1	0
3	45	30	31	1	1	0	1	0
4	50	29	29	1	1	1	1	1
5	60	29	31	0	0	0	0	0
6	55	33	38	0	0	1	0	0
7	100	32	56	1	1	0	1	0

Fig. 3 shows the temperature and humidity curves of the 16350 measurements taken at sampling intervals of four seconds with the measurement device given in Fig. 2. The chart here contains noises. Noises should be filtered because they will cause false estimates. The noise elimination using the average filter is given in Fig. 4. In this way, non-continuous instantaneous measurement errors are eliminated.

The equation of the moving average filter is given in Eq. X. In this equation $x[]$ is the input signal, $y[]$ is the output signal, and M is the number of points used in the moving average. This equation only uses points on one side of the output sample being calculated.

In the software of the developed system, the information about the duration of the system is entered first. Measurements are made from the sensors during the system operation. Depending on the temperature and humidity, the sensed temperature is calculated. The measured values and the sensed temperature value are stored in the database. A real-time graph of temperature and humidity values is drawn. The total value of the environment is calculated according to the sensor states. The calculated value is classified according to Table 4.

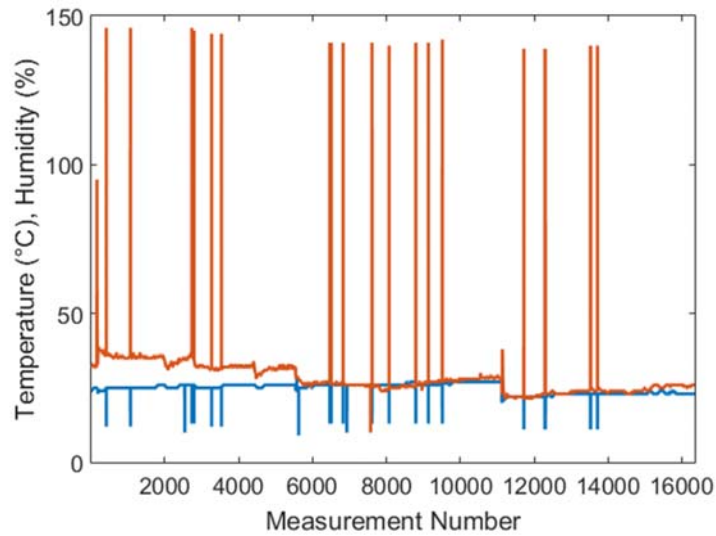


Fig. 3. Temperature and humidity measurement graph.

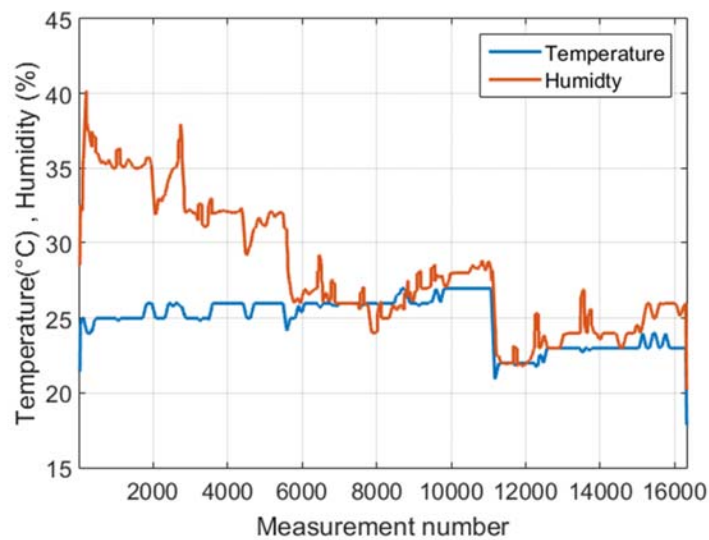


Fig. 4. Filtered temperature and humidity data curves.

The classification corresponding to the measurement scenarios given in Table 4 is given in Table 5 together with the measurement effects obtained from the sensors.

TABLE V CLASSIFICATIONS BASED ON SAMPLE MEASUREMENT SCENARIOS.

No	Temp.effect	Gas effect	Flame effect	Rain effect	Sound effect	Vibration effect	Total	State
1	4	5	5	0	0	0	14	Bad
2	8	0	5	0	2	0	15	Bad
3	4	5	5	0	2	0	16	Very bad
4	4	5	5	3	2	5	24	Very bad
5	4	0	0	0	0	0	4	Poor
6	6	0	0	3	0	0	9	Poor
7	10	5	5	0	2	0	22	Very bad

IV. CAMERA RECORDING AND FACE DETECTION APPLICATION

The camera module is attached to the Raspberry Pi via the camera connector. The focus setting of this camera can be changed. This module is compatible with all Raspberry Pi models. The 5-megapixel OV5647 sensor has an adjustable focus. CCD sensor size: 1/4 inch. It has a 3-5V camera operating voltage. 6mm adjustable focal length. It has a 75.7-degree angle of view. Thanks to the software developed, video recording is made during the specified recording time.

Image processing in security systems is becoming increasingly common. The libraries developed for image processing techniques enable the studies in this field to be applied on small cards such as Raspberry Pi.

OpenCV is open for both academic and commercial use. OpenCV is the most popular library. Originally written in C/C++, it now provides bindings for Python. The focus of the library is the development of fast and efficient calculation tools and methods for real-time applications. On December 23, 2017, OpenCV version 3.4 was announced. The library has been downloaded more than 11 million times so far.

OpenCV uses machine learning algorithms to search for a face in an image. Because the faces are complex, there is no simple way to figure out whether a face exists in a picture. Thousands of small patterns and features must match. Algorithms distinguish the problem for thousands of small tasks that are easy to solve for face detection. These tasks are called classifiers. There are thousands of classifiers in an application such as face recognition. To search for a face in an image, the picture frame is scanned in the form of blocks from the top left corner. It is determined whether each block is part of the face. Performing thousands of tests for each block requires millions of calculations. OpenCV uses cascades to overcome computational density. According to this method, the face recognition problem is divided into several stages. Each block is subjected to a quick test first. If it is determined that the face is in the block according to this rapid test, the test is detailed. 30 to 50 stages can be used in the algorithm. When a block passes through all stages, face detection is completed in that block. If there is no face in the picture, it is determined in the first stages. Thus, thousands of features are not required to look at and the processing load is reduced. Thanks to the Cascade structure, facial recognition can be done in real-time, which does not last for hours. Although the theory seems difficult, it is easy in practice. The cascades themselves are just a bunch of XML files that contain OpenCV data used to detect objects. The selected cascade type is integrated into the code and is executed [17].

In this study, a security system was implemented with OpenCV using face detection software. The camera image can be monitored in real-time by connecting to the IP address specified in the

software. The camera takes pictures when it comes to a face in front of the camera. The captured image is sent to the e-mail address. The example of the e-mail box is shown in Fig. 5 and an example of an e-mail is shown in Fig. 6.

Haar Cascade classifier available in OpenCV is used for face detection. Created by Paul Viola and Micheal Jones. It is also known as the Viola and Jones object detection framework (Viola and Jones's object finding structure). In the most basic sense, according to a specific algorithm, objects that are desired to be found are first introduced to the computer, and then images or video frames with similar shapes are scanned to try to find the object.

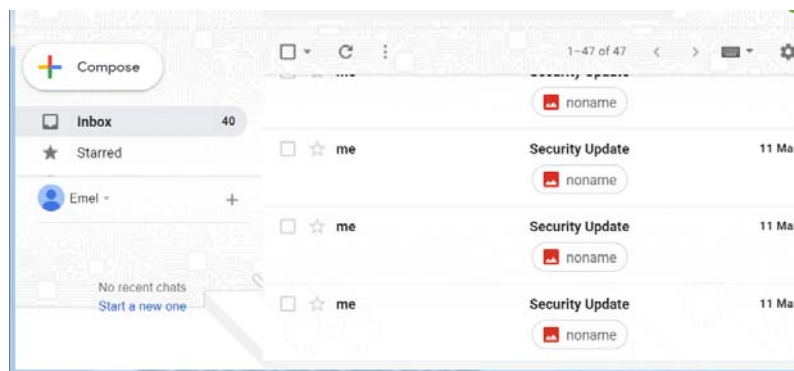


Fig. 5. Emails from the security camera software.

The classifier needs to be trained. There is a need for positive images in which the object is searched and negative images in which the object is not found. In classifier training, specific target values are created by scanning the objects in the positive images with frames that are set in certain sizes, and by checking the sum of the pixel values in the black region in the frame and the values of the pixel values in the white region. These frames called Feature are called weak classifiers. Because they cannot be a classifier alone. In an object, there will be many of these weak classifiers, and at the point where these weak classifiers are collected, there is an object which is sought with great accuracy. After the training is done, a file with the extension .xml is created, and this file can be used with the OpenCV library.



Fig. 6. An image that comes as an e-mail.

V. CONCLUSIONS

In this project, studies on data collection and recording mechanism with the low-cost card were conducted. Measurement and recording of environmental data such as temperature, humidity, sound, flame, and image were performed. The temperature felt is important for the comfort of life. No sensor directly measures the temperature felt. This value is obtained from temperature and humidity values. In this study, the temperature felt is calculated from the equation obtained by the curve fitting method. According to the measurements, and calculated values the quality of the environment is determined in real-time.

Camera recording is performed for the desired time. When a face is detected in the camera's field of view, its picture is taken and sent to the specified e-mail address. Haar Cascade classifier method is used in face detection.

The whole system is portable. The software is developed in the Python programming language. The developed system can be adapted to systems such as security systems, patient tracking systems, smart home automation.

ACKNOWLEDGMENT

Karabük University supported this study within the scope of Scientific Research Projects (KBÜBAP-17-DS-461).

REFERENCES

- [1] L. F. Luna-Reyes and D. L. Andersen, "Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: Methods and models," *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 19, no. 4, pp. 271–296, 2003.
- [2] V. Pereira, V. A. Fernandes, and J. Sequeira, "Low cost object sorting robotic arm using Raspberry Pi," *2014 IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. - South Asia Satell. GHTC-SAS 2014*, pp. 1–6, 2014.
- [3] S. Ferdoush and X. Li, "Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 34, pp. 103–110, 2014.
- [4] C. Paper, S. Jain, and A. V. Hcl, "Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail Raspberry Pi based Interactive Home Automation System through E-mail," *Optim. Reliab.*, no. November 2015, pp. 277–280, 2014.
- [5] K. Horak, "Image Processing on Raspberry Pi for Mobile Robotics Image Processing on Raspberry Pi for Mobile Robotics," no. February 2016, 2015.
- [6] Suchitra, S. P., and S. Tripathi, "Real-time emotion recognition from facial images using Raspberry Pi II," *2016 3rd Int. Conf. Signal Process. Integr. Networks*, no. February, pp. 666–670, 2016.
- [7] F. P. Tso, D. R. White, S. Jouet, J. Singer, and D. P. Pezaros, "The Glasgow raspberry Pi cloud: A scale model for cloud computing infrastructures," *Proc. - Int. Conf. Distrib. Comput. Syst.*, pp. 108–112, 2013.
- [8] F. Leccese, M. Cagnetti, and D. Trinca, "A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 12, pp. 24408–24424, 2014.

- [9] K. J. Anto, J. J, B. E, and S. N, "Raspberry Pi Based Liquid Flow Monitoring and Control," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 07, pp. 123–125, 2014.
- [10] S. Jain, A. Vaibhav, and L. Goyal, "Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail," *ICROIT 2014 - Proc. 2014 Int. Conf. Reliab. Optim. Inf. Technol.*, no. 2002, pp. 277–280, 2014.
- [11] M. S. D. Gupta, V. Patchava, and V. Menezes, "Healthcare based on IoT using Raspberry Pi," *Proc. 2015 Int. Conf. Green Comput. Internet Things, ICGCIoT 2015*, pp. 796–799, 2016.
- [12] R. Kumar and M. Pallikonda Rajasekaran, "An IoT based patient monitoring system using raspberry Pi," *2016 Int. Conf. Comput. Technol. Intell. Data Eng. ICCTIDE 2016*, pp. 1–4, 2016.
- [13] Senthilkumar G, Gopalakrishnan K, and Satish Kumar, "Embedded image capturing system using raspberry pi system," *Int. J. Emerg. Trends Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 213–215, 2014.
- [14] Raspberry, "Raspberry Pi Operating Systems," 2017. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/downloads/>.
- [15] "Yağmur sensörü," 2019. [Online]. Available: <https://www.roבודukkan.com/Yagmur-sensoru-Raindrops-Sensor,PR-49.html>. [Accessed: 01-Jan-2019].
- [16] "Hiisedilen Sıcaklık," 2019. [Online]. Available: <https://www.mgm.gov.tr/genel/ss.aspx?s=hissedilensicaklik>. [Accessed: 01-Jan-2019].
- [17] S. Tiwari, "Face Recognition with Python, in Under 25 Lines of Code." .

Renewable Energy Sources in Terms of Environmental Sustainability

Çevresel Sürdürülebilirlik Açısında Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Ayben Polat Bulut^{*1}, Gamze Topal Canbaz²

^{*}aybenpolat@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0151-8680

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mimarlık Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sivas, Türkiye

Abstract With the rapid population growth, urbanization and industrial growth, the need for energy increases day by day and it is inevitable that an energy crisis will emerge. Energy sources are divided into two groups as renewable and non-renewable energy sources. Non-renewable energy sources consist of fossil fuels such as coal, oil and natural gas. For energy supply, the use of fossil fuels, which are non-renewable energy sources, is preferred. However, with the increasing need for energy, fossil fuels are being consumed rapidly every day, and also, the use of fossil fuels leads to the damage and rapid consumption of natural resources. The use of fossil fuels causes environmental damages such as global warming, ozone depletion and acid rain. On the other hand, by choosing to use various renewable energy sources, dependence on fossil fuels, greenhouse gas emissions and other environmental impacts can be reduced.

Renewable energy sources, on the other hand, consist of inexhaustible energy sources that do not create environmental pollution such as solar energy, wind energy, hydraulic energy, biomass energy and geothermal energy. Today, environmental sustainability should be taken into consideration while meeting the energy need without harming the environment. In order to maintain environmental sustainability while providing energy, it is necessary to replace fossil fuels with renewable energy sources. All of the renewable energy sources are sustainable, inexhaustible and environmentally friendly energy sources that do not create greenhouse gas emissions.

In this study, renewable energy sources such as solar energy, wind energy, hydraulic energy, biomass energy and geothermal energy resources were examined. The environmental effects, advantages and disadvantages of each energy source have been researched. It is concluded that renewable energy sources do not have significant environmental impacts or are negligible.

By ensuring environmental sustainability, leaving a cleaner and safer environment to future generations will only be possible by choosing renewable energy sources.

Keywords: *Environment; Renewable Energy Sources; Sustainability*

Özet Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve endüstriyel büyüme ile birlikte her geçen gün enerji ihtiyacı artmakta ve bir enerji krizinin ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır. Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ise güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji gibi tükenmeyen ve çevre kirliliği yaratmayan enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacı karşılanırken çevreye de zarar vermeyerek çevresel sürdürülebilirlik göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji temin edilirken çevresel sürdürülebilirliğin devam edebilmesi için fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının alması gereklidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tümü sera gazı emisyonları yaratmayan, sürdürülebilir, tükenmeyen ve çevre dostu enerji kaynaklarıdır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji kaynakları incelenmiştir. Her bir enerji kaynağının çevresel etkileri, avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli çevresel etkilerinin olmadığı ya da ihmal edilebilir düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Çevresel sürdürülebilirliği de sağlayarak gelecek kuşaklara daha temiz ve güvenli bir çevre bırakmak ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesiyle mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Çevre; Sürdürülebilirlik; Yenilenebilir Enerji

1. GİRİŞ

Çevresel sürdürülebilirlik toprak, atmosfer ve su gibi doğal kaynakların devam ettirilmesi şeklinde tanımlanmaktadır [1];[2]. Enerji verimliliğindeki artış, çevresel sürdürülebilirlik çalışmalarının en önemli alanlarından biridir. Enerji sektörü, küresel ekonomide önemli rol oynayan dünyanın önde gelen endüstrilerindendir. Günlük yaşamımız, her türlü ekonomik faaliyetimiz ve uzun vadeli ekonomik gelişimimiz önemli ölçüde enerji üretimine bağlıdır [2].

Maliyetindeki düşüklük ve teknolojik yenilikler nedeniyle çevresel sürdürülebilirliğin bir göstergesi olan yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar artmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarını yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirmek gelecek nesiller için çevrenin sürdürülebilirliğini korumak için bir gerekliliktir. Çevresel bozulmayı açıklamak için kentleşme ve endüstrilerde yenilenemez enerjinin daha fazla kullanımı gibi birçok faktör sıklıkla kullanılmaktadır. Sanayileşmeden dolayı fosil yakıt kullanımındaki artış çevreyi önemli ölçüde kirlletmekte ve insan hayatına olumsuz etkiler yaratmaktadır [3] ve tüketilen enerjinin yaklaşık % 80' inin doğalgaz ve petrol ürünlerinden sağlandığı bilinmektedir [4]. Dünyadaki nüfus artışı bu hızla devam ederse güç üretmek için kullanılan petrol ve doğalgazın yıllık tüketiminin 2050 yılında iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının sebep olduğu kirlletici emisyonlarından dolayı 2050 yılına kadar küresel sıcaklığın yaklaşık 2 °C artması beklenmektedir [5].

Çevre sorunlarının giderek artan önemi ile temiz enerji üretimi, enerji tüketiminin her alanında gerekli hale gelmektedir [6]. Nüfus artışı, göç ve teknolojiye gelişmeler elektrik enerjisi başta olmak üzere enerji ihtiyacını artırmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir, temiz, çevre dostu ve verimli enerji kaynaklarına her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır [7]. Enerji, modern dünyada ekonomik büyüme, sosyal kalkınma ve yoksulluğun azaltılması için önemli bir unsurdur.

Nüfus ve ekonomik faaliyetlerdeki artış nedeniyle enerji ihtiyacı da artmaktadır. Şu anda küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarını oluşturan fosil yakıtlar dünya enerjisinin büyük bir kısmını karşılamaktadır [8]. Yenilenebilir enerji; enerji güvenliğini iyileştirmeyi, iklimi korumayı ve ekonomik kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlayan bir süreçtir [9]. Yenilenebilir enerji kaynakları küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve enerji güvenliği gibi nedenlerden dolayı enerji sektörü için önemli bir unsur olmuştur [10]. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin maliyetindeki azalma, karbon emisyonlarındaki azalma, piyasanın rekabetçi doğası ve yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilirliği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek için çeşitli nedenler vardır [5]. Yenilenebilir enerji kaynakları yerel istihdam ve refah, gelir kaynağı yaratma, kırsal ekonomik faaliyetlerin çeşitlendirilmesi, sosyal uyumun artırılması, yerel kaynakların kullanılması, iklim değişikliğinin azaltılması ve temiz enerji teknolojileri kullanarak daha sağlıklı bir çevrenin yaratılması gibi çeşitli sosyo-ekonomik ve çevresel faydalar sağlamaktadır [9]. Birçok ülkede rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, güneş enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi çok sayıda yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmaktadır [11];[4] ve yenilenebilir enerji kaynakları ücretsiz, CO₂ salınımı oluşturmeyen ve sürdürülebilir kaynaklardır [12].

II. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi temiz, bol ve yenilenebilir enerjinin önemli bir kaynağı olan güneşten yayılan termal radyasyonun bir türüdür. Güneş enerjisi başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve 2018 yılında yenilenebilir enerji üretiminin % 21' ini oluşturmuştur [13]. Güneş enerjisi yenilenebilir ve tükenmez bir enerji kaynağı olduğu için güneş enerjisi teknolojileri umut vermektedir [14]. Güneş enerjisi maksimum potansiyele sahiptir ve işletimi sırasında çevreye zarar vermeyen temiz enerji üretir [4]. Güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanılması, fosil yakıtların tüketiminin neden olduğu sorunlara etkili bir çözüm olarak görülmektedir. Etkili bir güneş enerjisi kullanımı enerji problemini ekonomik, çevre, sağlık ve güvenlik açılarından da çözeceği düşünülmektedir [13].

Dünya yüzeyinin toplam güneş enerjisi Emilimi yıllık olarak $3,85 \times 10^{24}$ J' dır, ve güneş tarafından ısınlanan enerjinin sadece 0.5 saati tüm bir yılın küresel enerji ihtiyacını karşılamak için yeterlidir. Dünya'daki kullanılabilir güneş enerjisi miktarı 570 milyar kW'a kadar ulaşmaktadır. Güneş enerjisi ısınma, su ısıtma ve pişirme, gün ışığı için enerji üretimi, güneş enerjisi ile soğutma, güneş enerjili su depolama ve elektrik altyapısını destekleme gibi geniş kapsamlı bir uygulama alanına sahiptir. [13]. Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, maliyet etkinliği, temizliği, erişilebilirliği, kapasitesi, kullanılabilirliği ve verimliliği açısından avantajlara sahiptir [15]. Düşük karbon emisyonu, fosil yakıt gerksininin olmaması ve güneşin uzun vadeli bir kaynak olması da güneş enerjisinin avantajları arasında sayılabilir. Bununla birlikte diğer enerji kaynakları gibi güneş enerjisinin de güvenlik, sağlık ve çevre açısından bazı sakıncaları vardır. Örneğin, PV güneş pilleri üretiminde, küresel çevre koruma ajansları tarafından kısıtlanmış olan kadmiyum, kurşun, nikel gibi bazı oldukça toksik malzemeler kullanılmaktadır. Diğer güç üretim kaynakları gibi, PV modülleri de bazı aşamalarında CO₂ ve diğer sera gazlarını üretmektedir [16].

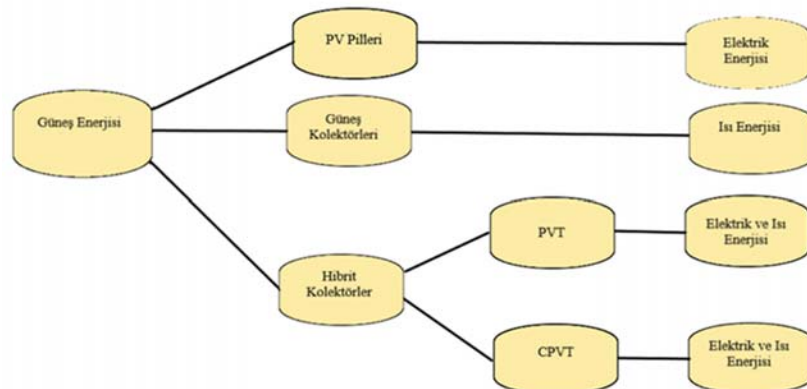
Güneş radyasyonu, çeşitli güneş dönüşüm teknolojileri kullanılarak ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güneş enerjisi teknolojileri genel olarak fotovoltaiik sistemler (PV) ve ısı güneş

teknolojileri olarak Şekil 1' de sınıflandırılmışdır [4]; [17]. Ancak son yıllarda solar fotovoltaik termal (PVT) ve solar yoğunlaştırılmış fotovoltaik termal teknolojiler hibrit teknolojiler olarak ortaya çıkmıştır [12]. PV sistemleri, güneş radyasyonunu doğrudan elektriğe dönüştürürken termal sistemler güneş radyasyonunu ısıya dönüştürür [4].

Solar Fotovoltaik Sistemler: Solar PV teknolojisinde, yarı iletken malzemeler kullanılarak güneş ışığı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür [17];[18]. PV panellerde kullanılan malzemeler mono kristalin silikon, polikristalin silikon, mikrokristalin silikon, bakır indiyum selenid ve kadmiyum tellürdür. Solar Fotovoltaik (PV) hücreleri, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için etkili ve sürdürülebilir bir çözümdür. Ancak Solar PV hücreleri tarafından üretilen elektrik enerjisinin dönüşüm verimliliği çok düşüktür ve güneş radyasyonlarının yalnızca % 15-20' si PV teknolojisi ile elektriğe dönüştürülmektedir [12]. Diğer güneş enerjisi teknolojilerine kıyasla en yüksek karbon emisyonuna PV sistemleri sahiptir [16].

Isıl Güneş Teknolojileri: Isıl güneş teknolojilerinde güneş enerjisi; kurutma, ısıtma, soğutma, pişirme gibi evsel ve/veya ticari uygulamalar için ısı enerjisine dönüştürülür [17]. Bu şekilde toplanan ısı enerjisi doğrudan suyu veya herhangi bir alanı ısıtacak yada soğutacak ekipmanı beslemek için kullanılabilir veya ısı enerjisi olarak depolanabilir [12]. Isıl güneş uygulamalarında güneş ışını bir güneş kolektörü tarafından ısı olarak absorblanır ve daha sonra hava, su gibi bir akışkan ortama aktarılır [19]. Güneş kolektörleri genellikle yoğunlaştırılmış ve yoğunlaştırılmamış kolektörler olarak ikiye ayrılır [12];[19]. Yoğunlaştırılmamış güneş kolektörlerinde güneş radyasyonunu toplama ve absorplama bölgeleri benzerdir. Yoğunlaştırılmış kolektörlerde ise güneş radyasyonunu yakalamak ve toplama alanında tutmak için içbükey yansıtıcı dış kısımlar bulunur ve böylece ısı akışında bir artış olur [12]. Isıl sistemlerin verimi genellikle PV sistemlerinininkinden çok daha yüksektir [4] ve güneş enerjisinin en yaygın kullanımı güneş enerjisi ile ısıtmadır [20].

Hibrit Teknolojiler: Hibrit sistemlerde ise güneş enerjisi hem termal hem de elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu sistemler PV ve termal güneş kolektörlerine göre daha fazla ısı ve elektrik enerjisi üretir, çünkü toplanan güneş enerjisi enerji verimi yüksek yoğunlaştırıcılar aracılığı ile sistem içinde kullanılmaktadır [12].



Şekil 1. Güneş enerjisi teknolojilerinin sınıflandırılması [12].

III. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar enerjisi yenilenebilir, tükenmez, kirlilik oluşturmeyen, çevre dostu, popüler ve gelişen bir enerji kaynağıdır. Bir güç kaynağı olarak rüzgar enerjisinin potansiyeli çok büyüktür [21]. Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi büyük ölçüde rüzgar yönü, hızı ve güneş ışınımının meteorolojik ölçümlerine bağlıdır [6]. Rüzgar türbinleri kanatları döndürerek rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir [22]. Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür ve elektrik üretimi için kullanılır [23]. Rüzgar türbinleri aydınlatma, ısıtma, soğutma ve diğer kullanımlar için gereken temiz elektriği üretmek için kullanılır [6].

Rüzgar enerjisi kullanımı ile CO₂ dışında sülfür ve azot oksitler gibi kirlletici emisyonları da azaltılabilir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklar gibi rüzgar enerjisi de dünya çapında yaygın olarak bulunur ve enerji ithalatına bağımlılığın ortadan kalkmasına katkıda bulunabilir [24]. Rüzgar türbinlerinin çevre üzerindeki en kritik etkisi gürültü kirliliğidir. Rüzgar türbinlerinin gürültüsü, aerodinamik ve mekanik olmak üzere iki türdür. Aerodinamik gürültü, türbin kanatlarının üzerinden akan hava akışıyla üretilir ve karakteristik bir "uğultu" sesi üretir. Mekanik gürültü ise, tasarım aşamasında veya ses yalıtımı ile en aza indirilebilir. Rüzgar enerjisinin başlıca ekolojik etkisi ise toprak erozyonu ve ormansızlaşmadır. Rüzgar enerjisi tesislerinin inşası sırasında temellerin, yolların ve öngörülen arazilerin kazılması gibi çeşitli faaliyetler yerel biyolojik sistemi etkiler. Ayrıca rüzgar türbinlerinin dünya çapında kuş ölümlerine sebep olduğu bilinmektedir [25].

Bir rüzgar çiftliği sistemi, rüzgar türbinleri, temeller, destek yapıları, geçiş parçaları, bağlantı kabloları, elektrik trafo merkezleri vb. dahil olmak üzere farklı mekanik, elektrik ve yapısal varlık gruplarını içerir. Rüzgar türbinleri, enerjiyi rüzgardan elektrik enerjisine dönüştürür. Temeller, deniz seviyesinin üzerine kurulan rüzgar türbini yapılarına destek sağlamaktadır. Destek yapıları, geçiş parçasını veya kuleyi temele bağlamak için kullanılır. Elektrik trafo merkezleri rüzgar türbinlerini ulusal elektrik şebekesine bağlar. Bağlantı kabloları, gücü ayrı türbinlerden trafo merkezine iletir [6].

IV. HİDROLİK ENERJİ

Hidrolik üretim, dünyada üretilen tüm elektriğin % 20'sinden fazlasını temsil eder ve 150'den fazla ülkede temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [26]. Hidroelektrik santraller, dikey bir mesafeden düşen suyun açığa çıkardığı enerjiyi yakalar ve bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Genel olarak, düşen su, suyun enerjisini mekanik güce dönüştüren bir türbin aracılığıyla yönlendirilir. Enerji su türbinlerinden elektrik üreten bir jeneratöre aktarılır. Bir hidroelektrik santralinde üretilebilecek elektrik miktarı iki faktöre bağlıdır. Bu faktörler, suyun düştüğü dikey mesafe ve debidir. Üretilen elektrik, düşü mesafesi ve akış hızı ile orantılıdır. [27].

Hidrolik enerjide enerji üretmek için kullanılan su tüketilmediği ve kirlenmediği için su diğer kullanımlar için kullanılabilir durumda kalır [28];[29]. Hidroelektrik enerji, diğer büyük ölçekli enerji seçenekleriyle karşılaştırıldığında çok az sera gazı emisyonuna sahiptir. Ayrıca, yağmurlu mevsimlerde suyu depolayarak ve kurak mevsimlerde serbest bırakarak, sel ve kuraklık sırasında baraj ve rezervuarlarda suyu kontrol etmeye yardımcı olabilir. Diğer yandan hidroelektrik projeleri, asit yağmuru veya atmosferik kirlilik gibi etkileri içermez. Çevresel etkiler, barajın

bulunduğu havzadaki değişikliklerle sınırlıdır. İyi yönetildiğinde, bu değişiklikler önlenabilir veya hafifletilebilir [28]. Hidrolik enerji güneş ve rüzgar enerjisinden farklı olarak depolanabilir bir enerji kaynağıdır, ucuzdur, herhangi bir yakıt gideri yoktur ve sera etkisine sebep olmaz. Ancak büyük hidroelektrik santralleri, nehir akışını ve balık göçünü kesintiye uğratan ve çeşitli çevresel zararlara neden olan barajların inşasını gerektirir [30]. Hidrolik enerjinin çeşitli avantajları olmasına rağmen hidroelektrik santrallerini inşa etmek doğal bitki örtüsünün ve ekili orman alanlarının su altında kalmasından dolayı biyoçeşitlilik kaybı ve bazı türlerin nesillerinin tükenmesine, habitatların yok olmasına, tarım arazilerinin kaybına, çok sayıda insanın yerleşim yeri değiştirmesine sebep olması, su kütlesi ve su morfolojisinde değişiklikler ve balık faunasına olumsuz etkileri gibi önemli çevresel etkilere de sebep olmaktadır [31].

V. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle enerjisi, biyolojik kaynaklardan elde edilen malzemelerden elde edilen yenilenebilir enerjidir. Biyokütle, doğrudan veya dolaylı olarak kullanılabilir, biyoyakıt gibi başka bir tür enerji ürününe dönüştürülebilir [32]. Biyokütle enerjisi pişirme, ısıtma, elektrik üretimi ve nakliye gibi birçok farklı amaç için kullanılabilir. Yenilenebilir enerji türleri arasında biyokütle enerjisi sıvı yakıtı dönüştürülebilen tek enerjidir. Biyokütle enerjisi yenilenebilir, bol miktarda bulunan ve kolayca üretilen bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisinin kullanılması, ülkelerin fosil enerji kaynaklarına bağımlılıklarını azaltmalarına ve ulusal enerji güvenliğini sağlamalarına yardımcı olacaktır. En önemlisi, biyokütle enerjisi “karbon nötr” bir kaynaktır. Fosil enerjiyle karşılaştırıldığında, biyokütle enerjisi daha az kirletici içermektedir ve çevre açısından daha güvenlidir. Biyokütle enerjisinin kullanılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve iklim değişikliğiyle mücadelede yardımcı olabilir [33].

Biyokütle enerji üretimi, arazi bozulması, arazi rekabeti, kaynak tükenmesi, ormansızlaşma, gıda güvenliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi sorunlara yol açabilir. Ayrıca, biyokütle enerjisi üretimi, fosil enerji kullanımını ve atmosfere CO₂ emisyonlarını etkileyebilir. Bu nedenle biyokütle enerjisi üretimi ekosistemi önemli ölçüde etkilemektedir [32].

Tarımsal atıklar ve hayvan gübresi gibi çeşitli biyokütle kaynakları, daha az sera gazı salınımı ile biyoenerji üretme kapasitesine sahiptir [34]. Organik maddenin çeşitli mikroorganizmalar tarafından anaerobik olarak parçalanmasıyla oluşan biyogaz, organik maddenin doğal döngüsünün vazgeçilmez bir ürünü olmasının yanı sıra çevre dostu sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Biyogaz metan, inert karbondioksit, çok az miktarda hidrojen, hidrojen sülfür ve nemden oluşur. Organik maddenin anaerobik parçalanması, bakteriyel aktivite için gerekli sıcaklık aralığına göre termofilik veya mezofilik olarak adlandırılır. Biyogaz, bileşenlerine göre genellikle termofilik (55 C civarında) ve mezofilik (35 C civarında) fermentasyon olarak karakterize edilir [35].

VI. JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji, atmosfere düşük sera gazı emisyonu salınımı nedeniyle çevre dostu olarak adlandırılır [36]. Jeotermal enerji, Dünya'nın iç kısmında ısı olarak bulunan enerjidir. Bu ısının kaynağı gezegenimizin iç yapısı ve orada meydana gelen fiziksel süreçlerle bağlantılıdır. Bu ısı, Dünya'nın kabuğunda çok büyük ve tükenmez miktarlarda bulunmasına rağmen, eşit olmayan bir şekilde dağıtılır, nadiren yoğunlaşır ve çoğu zaman endüstriyel olarak kullanılamayacak kadar büyük derinliklerde bulunur [37]. Jeotermal enerji, çevreye zarar vermeyen yerel bir kaynaktır ve Dünya'nın iç kısmında bulunan yenilenebilir ısı, genellikle volkanik ve tektonik aktiviteyle

ilişkilendirilir. Bu ısı, öncelikle yer yüzeyinden yüksek derinliklerde sıcak kayalarda depolanır ve ayrıca yüksek sıcaklıklarda hidrotermal rezervuarların karmaşık yapılarında da bulunur [38]. Jeotermal enerjinin ana kaynakları, gezegen oluşumundan elde edilen artık enerjiden ve radyonüklit bozunmasından sürekli olarak üretilen enerjiden gelir. Jeotermal kaynaklar, yeryüzünde hem kaya hem de buhar veya suda depolanan termal enerjiden oluşur. Kullanım alanı ikiye ayrılmaktadır: elektrik üretimi ve doğrudan kullanım [39]. Elektrik üretmek için kullanılan jeotermal enerjinin alan ısıtma ve soğutma, endüstriyel prosesler ve sera ısıtması gibi alanlarda doğrudan kullanımı bulur. Enerji üretimi için genellikle 150 C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıkta jeotermal kaynaklar kullanılmaktadır. Orta sıcaklıklara (90 ila 150 C arasında) ve daha düşük sıcaklıklara (90 C'nin altında) sahip jeotermal kaynaklar, doğrudan kullanım uygulamaları için en uygun olanıdır [40].

Jeotermal enerji üretimi, diğer teknolojilerin çoğundan çok daha düşük sera gazı emisyonu yaratır [36]. Ayrıca jeotermal kaynaklar meteorolojik koşullardan bağımsız olarak kullanılabilir [38]. Jeotermal sıvılar büyük ölçüde nitrojen ve karbondioksit, bir miktar hidrojen sülfid ve daha küçük oranlarda amonyak, cıva, radon ve bor olmak üzere değişken miktarlarda gaz içermektedir. Miktarlar, farklı alanların jeolojik koşullarına bağlıdır. Kimyasalların çoğu, rutin olarak sondaj deliklerine yeniden enjekte edilir ve bu nedenle çevreye salınmaz [41]. Jeotermal enerjinin çevresel etkileri arasında yüzey bozuklukları, sıvı çekilmesinin sebep olduğu fiziksel etkiler, gürültü, termal etkiler, kimyasal kirlilik ve biyolojik etkiler sayılabilir [42].

VII. SONUÇLAR

Artan enerji ihtiyacından dolayı fosil yakıtların her geçen gün hızla tükenmesi ve başta sera gazı emisyonu salınımı gibi çevreye vermiş olduğu zararlar nedeniyle tükenmeyen, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynakları gündeme gelmektedir. Çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği açısından yenilenebilir enerji kaynakları umut vaat eden teknolojiler olarak görülmektedir. Günümüzde enerji temini için güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli ortak özellikleri temiz, tükenmeyen ve bol bulunan enerji kaynakları olmasıdır. Sera gazı emisyonu yaratmazlar ve çevre dostu teknolojilerdir. Birtakım olumsuz çevresel etkilere sebep olabilirler ancak fosil yakıtlarla kıyaslandığında bu etkiler ihmal edilebilir seviyededir. Gelecek nesiller için sürdürülebilir bir çevre bırakmak ancak yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmekle mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] R. Goodland, "The concept of environmental sustainability", *Annu. Rev. Ecol. Systemat.*, 26 (1), pp. 1-24, 1995.
- [2] A. Cariola, F. Fasano, M.L. Rocca and E. Skatova, "Environmental sustainability policies and the value of debt in EU SMEs: Empirical evidence from the energy sector", *Journal of Cleaner Production*, vol. 275, pp. 123-133, 2020.
- [3] S.A.R. Khan, Z. Yu, A. Belhadi and A. Mardani, "Investigating the effects of renewable energy on international trade and environmental quality," *Journal of Environmental Management*, vol. 272, pp. 111089, 2020.

- [4] R.K. Kumar, K.N.V.V. Chaitanya and S.K. Natarajan, "Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation - A review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 282, pp. 125296, 2021.
- [5] Q.A. Al-Shahri, F.B. Ismail, M.A. Hannan, M.S.H. Lipu, A.Q. Al-Shetwi, R.A. Begum, F.O. Al-Muhsen and E. Soujeri, "Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review," *Journal of Cleaner Production*, vol 284, pp. 125465, 2021.
- [6] A.D. Şahin, "Progress and recent trends in wind energy," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 501-543, 2004.
- [7] E.T. Sayed, T. Wilberforce, K. Elsaid, M.K.H. Rabaia, M.A. Abdelkareem, K.J. Chae, and A.G. Olabi, "A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: wind, hydro, biomass and geothermal," *Science of the Total Environment*, Vol. 766, pp. 144505, 2021.
- [8] S.A.A. Shah, P. Zhou, G.D. Walasai and M. Mohsin, "Energy security and environmental sustainability index of South Asian countries: A composite index approach," *Ecological Indicators*, Vol. 106, pp. 105507, 2019.
- [9] J. Benedek, T.T. Sebestyén, and B. Bartók, "Evaluation of Renewable Energy Sources in Peripheral Areas and Renewable Energy-Based Rural Development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 516-535, 2018.
- [10] H. Karabaş, "Sakarya ilinin bitkisel biyokütle açısından atık miktarının ve enerji potansiyelinin araştırılması," *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma dergisi*, vol. 2(1), pp. 35-43.
- [11] A.Q. Al-Shetwi, M.A. Hannan, K.P. Jern, M. Mansur and T.M.I. Mahlia, T.M.I., "Grid-Connected Renewable Energy Sources: Review of the Recent Integration Requirements and Control Methods," *Journal of Cleaner Production*, vol. 253, pp. 119831, 2020.
- [12] L. Kumar, M. Hasanuzzaman, and N.A. Rahim, "Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review," *Energy Conversion and Management*, Vol. 195, pp. 885-908, 2019.
- [13] H. Liang, F. Wang, L. Yang, Z. Cheng, Y. Shuai and H. Tan, "Progress in full spectrum solar energy utilization by spectral beam splitting hybrid PV/T system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 142, pp. 110785, 2021.
- [14] J. Zhang, X. Yuan, M. Si, L. Jiang and H. Yu, "Core-shell structured cadmium sulfide nanocomposites for solar energy utilization," *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 282, pp. 102209, 2020.
- [15] C. Luan, X. Sun, and Y. Wang, "Driving forces of solar energy technology innovation and evolution," *Journal of Cleaner Production*, vol. 287, pp. 125019, 2021.
- [16] M.M. Aman, K.H. Solangi, M.S. Hossain, A. Badarudin, G.B. Jasmon, H. Mokhlis, A.H.A. Bakar and S.N. Kazi, "A review of safety, health and environmental (SHE) issues of solar energy system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1190-1204, 2015.
- [17] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A.A. Adelodun and K.H. Kim, "Solar energy: Potential and future prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 894-900, 2018.
- [18] V. Devabhaktuni, M. Alam, S.S.S.R. Depuru, R.C. Green II, D. Nims and C. Near, "Solar energy: Trends and enabling technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 555-564, 2013.
- [19] Y. Tian and C.Y. Zhao, "A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications," *Applied Energy*, Vol. 104, pp. 538-553, 2013.
- [20] J. Nowotny, J. Dodson, S. Fiechter, T.M. Gür, B. Kennedy, W. Macyk, T. Bak, W. Sigmund, M. Yamawaki, and K.A. Rahman, "Towards Global Sustainability: Education on environmentally

- clean energy technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 2541-2551, 2018.
- [21] P.K. Chaurasiya, V. Warudkar and S. Ahmed, “Wind energy development and policy in India: A review,” *Energy Strategy Review*, vol. 24, pp. 342-357, 2019.
- [22] G.M.J. Herbert, S. Iniyar, E. Sreevalsan and S. Rajapandian, “A review of wind energy Technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 1117-1145, 2007.
- [23] M.A. Çukurçayır ve H. Sağır, “Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları,” *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, pp. 257-278, 2008.
- [24] M.R. Islam, S.Mekhilef and R. Saidur, “Progress and recent trends of wind energy technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 21, pp. 456-468, 2013.
- [25] M.S. Nazir, N. Ali, M. Bilal and H.M.N. Iqbal, “Potential environmental impacts of wind energy development: A global perspective,” *Environmental Science & Health*, vol. 13, pp. 85-90, 2020.
- [26] G.L.T. Filho, I.F.S. Santos and R.M. Barros, “Cost estimate of small hydroelectric power plants based on the aspect factor,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 229-238, 2017.
- [27] I. Yüksel, “Water development for hydroelectric in Southeastern Anatolia Project (GAP) in Turkey,” *Renewable Energy*, Vol. 39, pp. 17-23, 2012.
- [28] I. Yüksel, “Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy future,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 1622-1640, 2008.
- [29] I. Yüksel, “Hydropower for sustainable water and energy development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 462-469, 2010.
- [30] G. Năstase, A. Șerban, A.F. Năstase, G. Dragomir, A.I. Brezeanu, N.F. Iordan, “Hydropower development in Romania. A review from its beginnings to the present” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 297-312, 2017.
- [31] A.L. Andrade and M.A. Santos, “Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52, pp. 1413-1423, 2015.
- [32] H. Long, X. Li, H. Wang, and J. Jia, “Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 344-352, 2013.
- [33] Z. Wang, Q. Bui, B. Zhang and T.L.H. Pham, “Biomass energy production and its impacts on the ecological footprint: An investigation of the G7 countries,” *Science of the Total Environment*, Vol. 743, pp. 140741, 2020.
- [34] F.S. Chien, H.W. Kamran, G. Albashar and W. Iqbal, “Dynamic planning, conversion, and management strategy of different renewable energy sources: A sustainable solution for severe energy crises in emerging economies,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, pp. 7745-7758, 2021.
- [35] S. Inac, S.O. Unverdi and A. Midilli, “Global warming, environmental and sustainability aspects of a geothermal energy based biodigester integrated SOFC system,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, pp. 35039-35052, 2020.
- [36] L. Rybach, “Geothermal energy: Sustainability and the environment,” *Geothermics*, vol. 32, pp. 463-470, 2003.
- [37] E. Barbier, “Geothermal energy technology and current status: An overview,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, pp. 3-65, 2002.
- [38] D. Moya, C. Aldás and P. Kaparaju, “Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, pp. 889-901, 2018.

- [39] P. Bayer, L. Rybach, P. Blum, and R. Brauchler, "Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 446-463, 2013.
- [40] C. Coşkun, Z. Oktay and I. Dincer, "Performance evaluations of a geothermal power plant," *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, pp. 4074-4082, 2011.
- [41] I.B. Fridleifsson, "Geothermal energy for the benefit of the people," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 5, pp. 299-312, 2001.
- [42] H. Kristmannsdóttir and H. Ármannsson, "Environmental aspects of geothermal energy utilization," *Geothermics*, vol. 32, pp. 451-46, 2003.

Application of Artificial Neural Networks (ANN) in the Prediction of PM₁₀ Concentration in Ostim, Ankara

Fatma Erdem

*: fatmaduran82@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6014-6664
Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, Ankara, Türkiye

Özet: Hızlı nüfus artışı, şehirlerin büyümesi ve sanayinin gelişmesiyle birlikte hava kirliliği giderek artan bir sorun haline gelmektedir. Ostim, Ankara'nın en büyük, küçük ve orta ölçekli sanayi üretim bölgesidir. Makine imalatı, metal işleme, elektrik-elektronik, inşaat makineleri, imalat makineleri, otomotiv ve medikal ekipman üretimi gibi birçok farklı üretim alanı bulunmaktadır. Bu endüstriyel yapılanma hava kirliliği sorununu da beraberinde getirmektedir. Partikül Madde (PM), insan sağlığı üzerinde en kötü etkiye sahip hava kirlleticilerden biridir. Bu çalışmada, Ostim ilçesi için YSA ile PM₁₀ tahmini yapılmıştır. YSA, hava kirleticiler için doğrusal olmayan ilişkileri modellemede iyi bilinen bir teknik olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağından elde edilen SO₂, CO, NO₂, NO_x, sıcaklık ve nem değerleri girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. YSA eğitimi Levenberg-Marquardt ileri besleme algoritması ile yapılmış ve gizli nöron sayısı deneme yanılma yöntemi ile 12 olarak bulunmuştur. Model başarı kriteri, korelasyon katsayısı (R) ve Ortalama Kare Hata (MSE) parametreleri aracılığıyla ölçülmüştür. Veriler %75 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olarak kategorize edilmiştir. Maksimum yineleme (epoch) değeri 9 iterasyon olarak belirlenmiştir. Sistemin R değeri eğitim için % 80, doğrulama için % 81, test için %82 ve tüm sistem için %80 olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçları, YSA ile modelleme çalışmasının hava kirliliği tahmininde etkili bir araç olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği; Modelleme; Yapay sinir ağı; Partiküler madde

Abstract: Air pollution is becoming an increasing problem with the rapid population growth, the growth of cities and the development of industry. Ostim is the largest, small and medium-sized industrial production area in Ankara. There are many different fields such as machine manufacturing, metal processing, electric-electronics, construction machinery, manufacturing machines, automotive, and medical equipment. This industrial structuring brings with it the problem of air pollution. Particulate Matter (PM) is one of the air pollutants with the worst effect on human health. In this study PM₁₀ prediction was made by ANN for Ostim town. ANN has been widely used as a well-known technique of capturing nonlinear relations for air pollutants

predictions. SO₂, CO, NO₂, NO_x, temperature and humidity values obtained from the National Air Quality Monitoring Network and used as input variables. ANN training was done with Levenberg-Marquardt feed forward algorithm and the number of neuron in hidden number was found to be 12 by trial and error. Model success criteria was measured via the parameters of the correlation coefficient (R) and Mean Square Error (MSE). Data was categorised as 75% training, 15% validation and 15% testing. The maximum epoch value was determined as 9 iterations. R² values of the system were determined as 80% for education, 81% for validation, 82% for test and 80% for whole system. The results of the study showed that modeling with ANN is an effective tool in air pollution prediction.

Keywords—Air pollution; Modeling; Artificial Neural Network; Particulate Matter

GİRİŞ

Hava kirliliği, atmosferde insan ve diğer canlıların sağlığına, iklime veya diğer malzemelere zarar veren maddelerin varlığıdır [1]. DSÖ verilerine göre hava kirliliği her yıl dünya çapında tahmini yedi milyon insanı öldürmekte olup 10 kişiden 9'unun DSÖ yönergesi sınırlarını aşan, yüksek düzeyde kirlenici içeren hava soluduğunu ve düşük ile orta gelirli ülkelerin en yüksek seviyede maruziyete sahip olduğunu göstermektedir [2].

Ankara Türkiye'nin nüfusu yoğun ikinci büyük şehri, modern başkenti haline gelmiştir. Ankara'nın 1927 yılı nüfus sayımına göre toplam nüfusu 404.581 iken, son 94 yılda 14 kat artarak 2021 yılında 5.663.322 kişiye yükselmiştir. Ankara'nın öncü sanayi bölgelerinden biri olan OSTİM, 17 sektör ve 139 işkolunda, 6.200'den fazla işletme, 60.000'den fazla çalışanın faaliyet gösterdiği, milli ihtiyaçların karşılanmasında bir çözüm merkezi olarak uluslararası marka değerine sahip bir KOBİ kentidir. Makine imalat, metal işleme, elektrik-elektronik, iş makineleri, imalat ekipmanları, otomotiv, plastik-kauçuk, tıbbi araç gereçler gibi çeşitli alanlarda üretim yapılmaktadır [3].

Hava kirlenitçileri "kriter kirlenitçiler" ve "tehlikeli hava kirlenitçiler" olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Kriter kirlenitçiler, bir bölgenin hava kalitesi standartlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için kullanılır. "Hava toksikleri" olarak bilinen tehlikeli hava kirlenitçiler ise kanser veya diğer kronik rahatsızlıklara neden olduğundan şüphelenilen kimyasal bileşiklerdir. Hava kirlenitçi tehlikesi hesaplanırken, öncelikle bir kimyasal bileşiğin insan vücudundaki toksisitesine odaklanılmaktadır [4]. Hava kirlenitçilerinin kaynakları ağırlıklı olarak yanma süreçleri, çeşitli teknolojik süreçler ve araç trafiğidir [5].

Hava kirlenitçiler taşıdıkları benzer özellikler nedeni ile gaz halindeki kirlenitçiler ve buharlar (SO₂, NO_x, CO, ozon, uçucu organik bileşikler), kalıcı organik kirlenitçiler (dioksinler), ağır metaller (kurşun, cıva) ve ince parçacıklı maddeler (PM_{2.5}, PM₁₀) olmak üzere 4 kategoriye ayrılmaktadır [6].

Partikül madde (PM), çeşitli antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan, kompozisyon ve boyut bakımından değişen, havada asılı partiküllerden oluşan hava kirlenitçileri sınıflandırmak için kullanılan genel bir terimdir. Parçacık boyutu 2.5 mm (PM_{2.5}) ile 10 mm (PM₁₀) arasında değişir.

Endüstriyel tesisler, enerji santralleri, araçlar, çöp yakma fırınları, toz ve yangınlar en önemli PM kaynaklarıdır. Partiküllerin boyutu, yüzeyi, sayısı ve bileşimi, sağlık etkilerinin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynar. PM, çok sayıda kirletici maddeyi emebilir ve aktarabilir, bu da bileşiminin değişmesine neden olur. Bununla birlikte, PM esas olarak iyonlardan, reaktif gazlardan, organik bileşiklerden, metallerden ve partikül karbon çekirdeğinden oluşur. PM akciğer veya kalp hastalığı, ölümcül olmayan kalp krizi, ağırlaştırılmış astım, azalmış akciğer işlevselliği, solunum yollarında tahriş, zor nefes alma vb. gibi birçok olumsuz etki ile birlikte erken ölüme neden olabilmektedir [7].

PM₁₀, aerodinamik çapta 10 µm'den küçük partikül maddeyi ifade etmekte ve genellikle parçacık kütesinin çoğunu içermektedir. Boyut dağılımı insan solunum sisteminin farklı bölgelerinde partikül çapına göre farklı oranlarda birikim sağladığı için insan sağlığı açısından önemlidir. PM₁₀ torasik fraksiyonu denilen larinksin ötesindeki solunum sistemine geçerek akciğerin trakea ve bronşiyal bölgelerine nüfuz ederek dağılabilmektedir [8].

Küresel ölçekte hava kirliliğini kontrol etmek çok zordur. Hava kirliliğinin yerel veya bölgesel ölçekte modellenebilmesi hava kirliliği kontrol politikası oluşturulmasının en önemli bileşenidir. Modelleme çalışmaları ile birlikte o alana ait bilgi artışı ve kirletici konsantrasyon bilgilerine ulaşılmış olur [9].

Yapay zeka teknikleri hava kirliliği kontrolü için modelleme çalışmalarında kullanılan oldukça etkili yöntemlerdir. Bu tekniklerin en güncel ve başarılı olanlarından YSA 1940'larda McCulloh ve Pitts tarafından incelenmiştir. Sonrasında, nöral ağları eğitmek için geri yayılım yönteminin Rumelhart ve diğerleri tarafından tanıtılması ile 1980'li yıllarda popüler hale gelmiştir ve 90' lı yıllarda yüzlerce makale yayınlanmıştır [10].

YSA, biyolojik beynin temel bilgi işleme noktası nöronların sinapslarla yüksek oranda birbirine bağlı olduğu gibi bir nöronlar topluluğu olarak tariflenebilmektedir. YSA biyolojik sinir ağlarından esinlenen, hesaplama tabanlı, doğrusal ya da doğrusal olmayan deneysel bir modeldir. YSA, fiziksel sistemlerin karmaşık dinamik davranışlarını yeterli girdi bilgisi verildiğinde belirli çıktı değişkenlerinin değerini tahmin etmeyi öğrenebilme yeteneğine sahiptir [11]. YSA girdi ve çıktı verileri arasındaki karmaşık haritalamayı öğrenebilen evrensel tahmin edicilerdir [12].

YSA'nın hava kirletici parameter tahmininde kullanılması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; Maleki ve ark., İran-Ahvaz için saatlik kriter hava kirletici konsantrasyonlarını ile hava kalitesi endeksi (AQI) ve hava kalitesi sağlık endeksi (AQHI) tahmini için YSA'yı kullanmışlardır. O₃, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ ve CO kirleticilerinin incelendiği çalışmada R değeri 0.87 bulunmuştur [13]. Elangasinghe ve ark., Yeni Zelanda'daki büyük bir otoyolun yakınında NO₂ konsantrasyonlarını tahmin etmek için YSA'yı kullanmışlardır. Rüzgar hızı, rüzgar yönü, güneş radyasyonu, sıcaklık, bağıl nem ile birlikte saat, gün ve ay bilgilerini girdi olarak kullanılmışlardır [14]. Barbes ve ark., çalışmalarında S-SO₂, NO-NO₂-NO_x, CO (CO₂) ve PM₁₀ kirletici konsantrasyon tahminini endüstriyel ve şehir olmak üzere iki farklı alanda YSA ile tahmin etmişler ve YSA'nın modelleme çalışmalarında oldukça etkili ve hızlı olduğunu belirtmişlerdir [15]. Goulhier ve ark. çalışmalarında Münster'de bir caddede (CO₂, NH₃, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and PN₁₀ gibi farklı 10 adet parametre için saatlik kirletici konsantrasyon tahminini

YSA ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda YSA ile yapılan tahminin oldukça güvenilir ve başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir [16]. Azid at al. temel bileşen analizi ve YSA kullanarak yedi yıllık bir veri seti kullanarak hava kirlilik indeksi tahminini YSA ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda yüksek R değerine bağlı olarak YSA ile yapılan tahminlerin daha doğru olduğu belirlenmiştir [17].

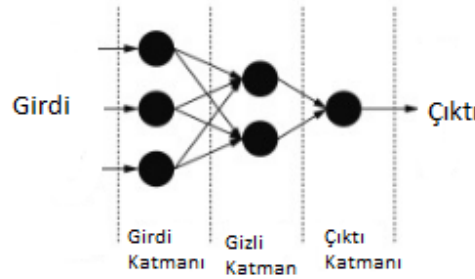
Yapılan bu çalışmada insan sağlığı üzerinde oldukça önemli sağlık etkileri bulunan PM10 kirlenici maddesi için Ankara'nın sanayi ve endüstri anlamında gelişmeye açık ilçesi Ostim'e ait 2020 yılı verileri kullanılarak YSA ile modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Materyal ve Metod

YSA Mimarisi

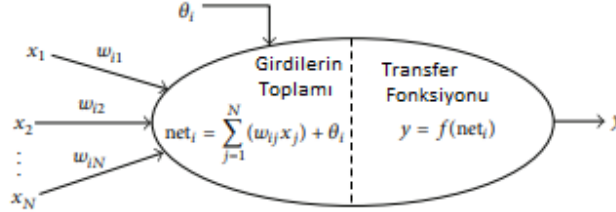
YSA, istenen çıktıyı üretmek için belirli bir algoritma kullanarak ağırlıklı girdi verilerini işleyerek çalışmaktadır. YSA'daki nöronlar arasındaki ilişki, bir eğitim süreci ile değiştirilecek ağırlık faktörleri ile temsil edilir. Yeterli veri seti mevcutsa ve öğrenme algoritması doğru seçilmişse, eğitim süreci, gerçekleştirilen her yinelemeyle ağırlık faktörlerini değiştirecek ve sonunda istenen çıktı elde edilecektir [18].

YSA mimarisi giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere Şekil 1'den görüldüğü gibi 3 katmandan oluşmaktadır. Katmanlar arasındaki düğümlerin birbirine bağlanması, ileri beslemeli sinir ağı ve tekrarlayan sinir ağı olmak üzere iki temel sınıfa ayrılabilir. İleri beslemeli YSA'da, girdilerden çıktılara bilgi hareketi sadece ileri şekilde ve bir yöndedir [19].



Şekil 1. YSA katman yapısı [16].

Bir nöron, modelin önceki katmanındaki nöronlardan girdilerini aldıktan sonra, her sinyali karşılık gelen ağırlığıyla çarparak toplar ve bias değerini ekleyerek Şekil 2'deki gibi bir aktivasyon fonksiyonuna aktarır. Aktivasyon fonksiyonu ile giriş sinyali bir çıkış sinyaline dönüşmekte ve nöronun çıkış değerini hesaplamaktadır. Transfer fonksiyonu, bir YSA'nın gerçekten karmaşık bir şeyi öğrenmesi ve anlamlandırması için önemlidir. Transfer fonksiyonu ile hesaplanan çıkış sinyali, bir sonraki katmana girdi olarak kullanılmaktadır [21-22].



Şekil 2. YSA'nın matematiksel ifadesi [23].

$X_i (i=1,2,\dots,N)$: girdi değişkenleri, W_{ij} : bağlantı ağırlıkları, θ_i : bias, net_i : net girdi sinyali, y : çıktı, f : transfer fonksiyonu

YSA ile modellemede kullanılan transfer fonksiyonları logaritma sigmoid (logsig), tanjant sigmoid (tansig) ve lineer (pureline) transfer fonksiyonlarıdır. Tansig transfer fonksiyonu karmaşık ve doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde oldukça fazla tercih edilmektedir [24].

Veri Seti Normalizasyonu

YSA uygulamalarında verilerin 0'a yakın bir ortalama elde edecek şekilde normalleştirilmesi ile aşırı salınımlar engellenmekte ve artan sistem performansı ile öğrenme basamağı hızlanmaktadır [25]. Öğrenme kısmının etkinliği büyük ölçüde normalleştirilmiş veri setinin özelliklerine bağlıdır. Veri normalleştirme işleminin temel amacı, herhangi bir öğrenme algoritmasına beslenebilecek yüksek kaliteli veriler üretmektir [26]. Min-max normalizasyon yöntemi, verileri doğrusal olarak normalize eder. Minimum bir verinin alabileceği en düşük değer iken, maksimum bir verinin alabileceği en yüksek değeri ifade etmektedir. Bir veriyi Min-Max yöntemi ile 0 ile 1 aralığına indirmek için Eşitlik 1 kullanılmaktadır.

$$x^l = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

x^l : normalize edilmiş veri, x_i : girdi değeri, x_{\min} : girdi seti içerisinde yer alan en küçük sayı; x_{\max} : girdi seti içerisinde yer alan en büyük sayıyı ifade etmektedir [27].

YSA Performans Kriteri

Model performans kriterleri, (MAD, MAPE, MSE, RMSE, R) gözlem değeri ile tahminlenen değeri arasındaki farkı hesaplamak için kullanılmaktadır. YSA model sürecinin bir aşaması olan eğitim sürecinde gözlenen tahmin çıktı değişkenlerinin doğruluğu performans kriterlerine bakılarak değerlendirilmektedir [28-29]. İyi eğitilmiş bir YSA modelinden elde edilen düşük MSE değeri (sıfıra yakın) ile 1'e yakın R değeri tahmin edilen model çıktı değerlerinin hedef çıktılara yakınlığı anlamına gelmektedir [30].

MSE ve korelasyon katsayısı R değeri Denklem 2-3 ile hesaplanmaktadır.

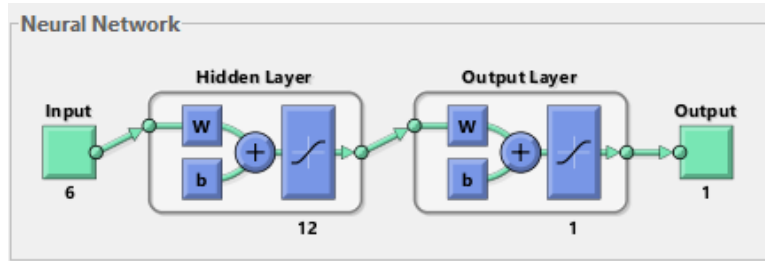
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_t - X'_t)^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_t - X'_t)^2}{\sum_{i=1}^n (X'_t)^2} \quad (3)$$

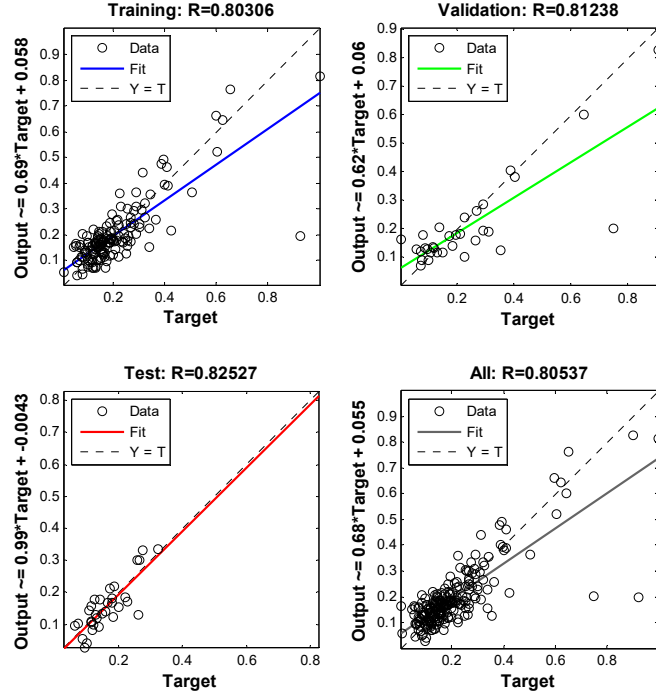
X_t ; gerçek değeri, X'_t tahmini değeri n; toplam gözlem sayısını ifade etmektedir [31].

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada hava kalite modelinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan PM_{10} maddesinin tahmini YSA ile gerçekleştirilmiş olup modelleme aşamasında ağı sunulan veriler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilmiştir. Ostim ilçesine ait 2020 yılı için ölçülen SO_2 , CO , NO_2 , NO_x , sıcaklık ve nem verileri girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Modelden çıkış verisi olarak PM_{10} değeri elde edilmiştir. YSA uygulaması Matlab 2017a Neural Fitting ile gerçekleştirilmiştir. YSA eğitimi Levenberg–Marquardt ileri besleme algoritması ile yapılmış olup deneysel veriler %75 eğitim, %15 validasyon ve %15 test olarak bölünmüştür. Aktivasyon fonksiyonu olarak tansig fonksiyonu kullanılmış olup gizli katmandaki gizli nöron sayısı deneme-yanılma yolu ile 12 olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

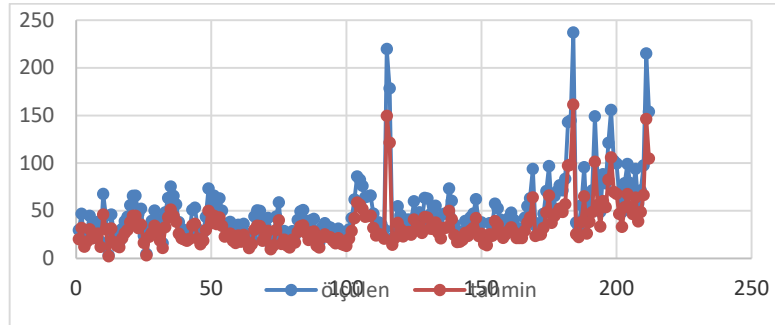


Şekil 3. YSA şematik görüntüsü



Şekil 4. Model Tahmin grafiği

Şekil 4'te bulunan Matlab yazılım programı çıktısı sonuç grafikleri incelendiğinde eğitim, validasyon ve test için R değerleri sırası ile 0.80, 0.81 ve 0.82 olarak bulunmuştur. Tüm sistem için R değeri 0.80 olarak bulunmuştur. MSE değerleri sırası ile eğitim, validasyon ve test için 0.00021, 0.00020 ve 0.00018 olarak belirlenmiştir. Ölçüm ve tahmin PM_{10} sonuçları karşılaştırılmak üzere Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. PM_{10} için ölçüm ve tahmin sonuçları

Şekil 5 incelendiğinde YSA'nın hava kirliliği gibi doğrusal olmayan kompleks yapıdaki bir sistem için parametre tahmininde başarı ile kullanılabilineceğini göstermektedir. Özellikle yüksek PM₁₀ ölçüm değerlerinde tahmin sonuçları ile ölçülen değer arasındaki farkın büyük olduğu görülmektedir. Hava kirliliği içerdiği kimyasal kirlilik bileşenleri kadar meteorolojik etkilerden de fazlaca etkilenmektedir. Bu çalışmada meteorolojik etken olarak sadece nem ve sıcaklık değeri kullanılmıştır. Özellikle rüzgar hızının PM üzerindeki önemli etkisi bilinmektedir. Gelecek çalışmalarda daha fazla meteorolojik veriye ulaşarak daha geniş bir veri seti ile modelleme çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- 1- Borhan M., Mohammad, E. (2011). Monitoring of air quality parameters at different months: a case study from Iran. *Continental J. Water, Air and Soil Pollution* 2 (2): 25 – 31
- 2- WHO News Release, 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. (2018). *Saudi Medical Journal*, 39(6), 641.
- 3- Gümüştekin K., Efe Y., Kurumsal Kimlik Kılavuzu, OSTİM OSB.
- 4- Daniel A. V. (2008). *Fundamentals of Air Pollution*, Chapter 7 - Air Pollutant Hazards, 5th ed. Elsevier Inc. All Rights Reserved, 197-214.
- 5- Cichowicz R, Wielgosiński G, Fetter W. (2017) Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season. *Environ Monit Assess.* ;189(12):605.
- 6- Radaideh, A.J. (2017) Effect of meteorological variables on air pollutants variation in arid climates. *J. Environ. Anal. Toxicol.* 7: 2161–0525.
- 7- Morabet R.E. (2018) Effects of outdoor air pollution on human health, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.
- 8- Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A. (2017). Exposure to PM₁₀, NO₂, and O₃ and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2781-2789.
- 9- Aggarwal, A., Haritash, A. K. and Kansal. G. (2014) Air Pollution Modelling—A Review. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 2, 355-364.
- 10- Arce-Medina, E., Paz-Paredes, J.I. (2009) Artificial Neural Network Modeling Techniques Applied to the Hydrosulfurization Process. *Mathematical and Computer Modeling*, 49, 207-214.
- 11- Dragomir E.G., Oprea M. (2014) Air Quality Forecasting by Using Nonlinear Modeling Methods. In: Mladenov V.M., Ivanov P.C. (eds) *Nonlinear Dynamics of Electronic Systems. NDES 2014. Communications in Computer and Information Science*, 438.

- 12- Oprea M., Mihalache S. F., Popescu, M. (2016) A comparative study of computational intelligence techniques applied to PM2.5 air pollution forecasting, 6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC). IEEE, 103--108.
- 13- Maleki H, Sorooshian A, Goudarzi G, Baboli Z, Birgani YT, Rahmati M. (2019) Air pollution prediction by using an artificial neural network model. *Clean Technol Environ Policy.*, 21(6):1341-1352.
- 14- Elangasinghe, M., Singhal, N., Dirks, K., & Salmond, J. (2014). Development of an ANN-based air pollution forecasting system with explicit knowledge through sensitivity analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 5, 696-708.
- 15- Barbes, L, Neagu, C, Melnic, L, Illie, C & Velicu, M (2009) The use of Artificial Neural Network (ANN) for prediction of some airborne pollutants concentration in urban areas, *Revista de Chimie*, 60(3), 301–307
- 16- Goulhier L, Paas B, Ehrnsperger L, Klemm O. (2020) Modelling of Urban Air Pollutant Concentrations with Artificial Neural Networks Using Novel Input Variables. *Int J Environ Res Public Health*. 17(6):2025.
- 17- A. Azid, H. Juahir, M. Latif, S. Zain and M. Osman (2013) Feed-Forward Artificial Neural Network Model for Air Pollutant Index Prediction in the Southern Region of Peninsular Malaysia," *Journal of Environmental Protection*, 4(12), 1-10.
- 18- R. Suryanita (2016) The application of artificial neural networks in predicting structural response of multistory building in the region of sumatra island," *KnE Engineering*, 1(1).
- 19- Bozkurt, F., Yücel Altay, Ş., & Yağanoğlu, M., (2015). Yapay Sinir Ağları İle Ankara İlinde Hava Kalitesi Sağlık İndeksi Tahmini . 2. Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi , 321-331.
- 20- Imran, M., Alsuhaibani, S. A. (2019). A neuro-fuzzy inference model for diabetic retinopathy classification. *Intelligent Data Analysis for Biomedical Applications*, 147-172.
- 21- El Badaoui H., Abdallaoui A. & Chabaa S. (2017). Study of the ANN model performance criteria for the prediction of time series humidity, *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*. (5)1, 117-124.
- 22- Dorofki, M., Elshafie, A. H., Jaafar, O., Karim, O. A. ve Mastura, S. (2012) Comparison of artificial neural network transfer functions abilities to simulate extreme runoff data, *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 33: 39-44.
- 23- Ali Reza Ghanizadeh, Mansour Fakhri (2014) Prediction of Frequency for Simulation of Asphalt Mix Fatigue Tests Using MARS and ANN, *The Scientific World Journal*, 2014, 16.
- 24- Baughman, D.R., & Liu, Y. (1995). *Fundamental and Practical Aspects of Neural Computing*.
- 25- Ercanlı, İ , Kaya, O . (2019). Yapay Sinir Ağ Modelleri ile Ağaçların Hacim Tahminlerinde Transfer Fonksiyonunun ve Nöron Sayısının Etkisi: Başçatak (Akdağmadeni) Yöresi Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Örneği . *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi* ,5(1) , 28-37.

- 26- Bhanja, S., & Das, A. (2018). Impact of Data Normalization on Deep Neural Network for Time Series Forecasting. ArXiv, abs/1812.05519.
- 27- Yavuz, S, Deveci, M . (2015). İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi . Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi ,0 (40) , 167-187 .
- 28- Akbulut, İ, Özcan, B . (2020). Hava Kirliliği Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Yöntemleriyle Bir Karşılaştırma . Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (1) , 12-22
- 29- Vo Thanh, H., Sugai, Y. & Sasaki, K. (2020) Application of artificial neural network for predicting the performance of CO2 enhanced oil recovery and storage in residual oil zones. Sci Rep 10, 18204.
- 30- Lau, E.T., Sun, L. & Yang, Q. (2019) Modelling, prediction and classification of student academic performance using artificial neural networks. SN Appl. Sci. 1, 982.
- 31- Seyedmohammadi, J., Esmaeelnejad, L. & Ramezanpour, H. (2016) Determination of a suitable model for prediction of soil cation exchange capacity. Model. Earth Syst. Environ. 2, 156.
- 32- Demirel, O., Zaim, S., Caliskan, A., & Ozuyar, P.G. (2012). Forecasting natural gas consumption in İstanbul using neural networks and multivariate time series methods. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 20, 695-711.

Design of Voltage-Mode PID Controller Based on Current Follower Transconductance Amplifiers

Emre ÖZER^{*,1}

^{*}emreoz@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0951-2892

¹Department Electrical and Energy, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey

Abstract This paper presents a novel voltage-mode proportional-integral-derivative, namely PID controller based on current follower transconductance amplifier. The proposed circuit consists of two current follower transconductance amplifiers, four resistors, and two capacitors. The proposed PID controller does not require any passive components matching condition. The sensitivities of the control parameters have been analyzed in ideal and non-ideal conditions. Further, the effects of parasitic impedances on the operating frequency range have been investigated. It also describes a design procedure for selecting passive elements to achieve the desired control parameters. The advantages of the proposed PID controller are the electronically tuning of control parameters and having low sensitivity with respect to active and passive element variation. Simulation results have been performed with the LTspice program using 0.18 μm TSMC CMOS technology parameters. The symmetric power supply is set to ± 0.6 V. The total power dissipation of the proposed PID controller is 1.12 mW. The gain and phase responses of the proposed PID controller are presented. The results are compared with the ideal PID controller's frequency response. Monte Carlo analyzes have been carried out to show the robustness of the circuit. Besides, the sensitivity of the proposed PID controller to temperature has been investigated by temperature analysis. In order to demonstrate the usefulness of the circuit, as an application example, a unit feedback closed-loop control system has been designed to improve the filter's step response. Time and frequency domain simulation results verify the theoretical analysis of the proposed PID controller. Additionally, a comparison of the proposed VM PID controller with the relevant circuits previously published in the literature is presented.

Keywords: Control System, PID Controller, Voltage-Mode, Current Follower Transconductance Amplifier (CFTA).

I. INTRODUCTION

PID controllers are a closed-loop control system often used to control various industrial processes. It is widely used due to its low cost, ease of parameter tuning, and simple design. Proportional, integral, and derivative gains are three parameters of a PID controller.

A number of PID controllers have been presented in the literature using active devices such as current feedback operational amplifier (CFOA), differential difference current conveyor (DDCC), operational transconductance amplifiers (OTA), current differencing buffered amplifier (CDBA), and second-generation current conveyor (CCII).

The PID controller circuits have advantages, as well as disadvantages. Some of the following

properties should be satisfied for optimum design.

- 1 - Employing the minimum number of active and passive components.
- 2 - Electronically and independently tunable control parameters.
- 3 - High input and low output impedance to allow cascade connection.

In this paper, a new CFTA-based VM PID controller is introduced. The proposed PID controller employs two CFTAs as an active device. It also includes four resistors and two capacitors and no need for any matching conditions. In the non-ideal case, the operating frequency range of the proposed circuit is investigated. Monte Carlo and temperature analyses are provided. LTspice simulation results show the functionality of the circuit. The proposed PID controller is compared with the circuits previously reported in the literature.

II. THE PROPOSED CFTA-BASED VOLTAGE-MODE PID CONTROLLER

In this section, a CFTA-based VM PID controller is introduced. The circuit symbol is shown in Fig. 1 and the following matrix equation defines the port relation of CFTA:

$$\begin{bmatrix} v_f \\ i_z \\ i_{x+} \\ i_{x-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & g_m & 0 & 0 \\ 0 & g_m & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f \\ v_z \\ v_{x+} \\ v_{x-} \end{bmatrix} \quad (1)$$

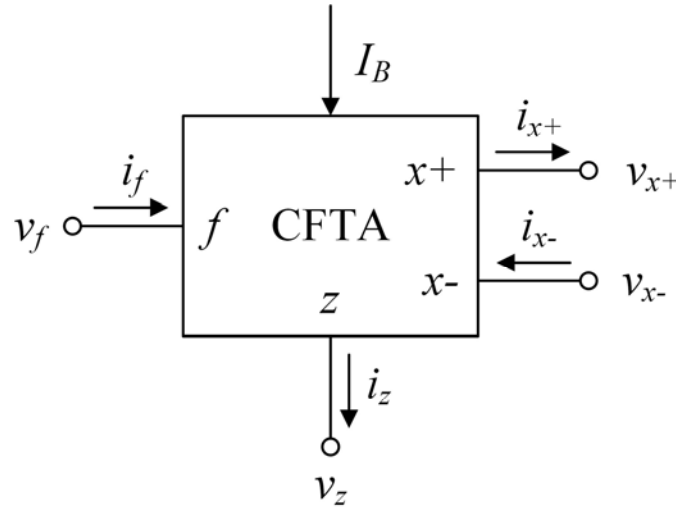


Fig. 1. The circuit symbol of the CFTA

The transconductance g_m is calculated as follows:

$$g_m = \sqrt{I_B \mu_0 C_{ox} (W/L)} \quad (2)$$

where I_B is the bias current, μ_0 is the free electron mobility, while C_{ox} is the gate oxide capacitance per unit area. W and L are channel width and length, respectively.

The proposed VM PID controller, is shown in Fig. 2, includes two CFTAs, four resistors and two capacitors. Considering the port relations in (1), the routine analysis yields the following transfer function:

$$G_c(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = g_{m1}g_{m2}R_3R_4 \left(\frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} + \frac{1}{sC_1R_2} + sC_2R_1 \right) \quad (3)$$

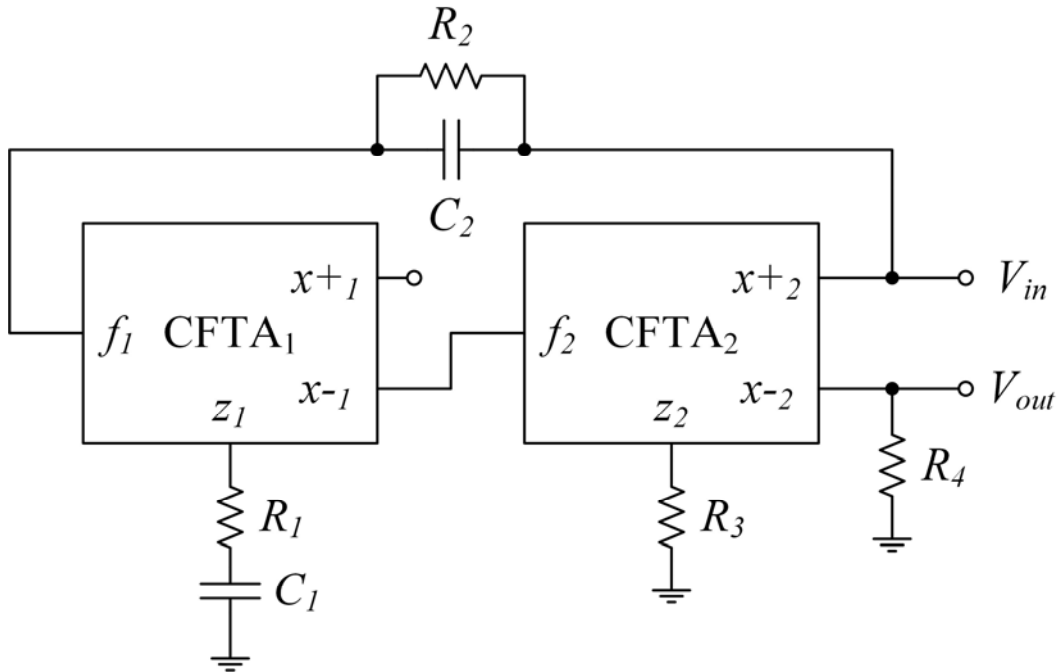


Fig. 2. Proposed voltage-mode PID controller

The general form of the PID controller's transfer function can be written as in (4).

$$G_c(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (4)$$

Here in $V_{in}(s)$ is the input voltage; $V_{out}(s)$ is the output voltage. The proportional gain (K_P), integral gain (K_I), and derivative gain (K_D) can be found as follows:

$$K_P = g_{m1}g_{m2}R_3R_4 \left(\frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (5a)$$

$$K_I = g_{m1}g_{m2}R_3R_4 \left(\frac{1}{C_1R_2} \right) \quad (5b)$$

$$K_D = g_{m1}g_{m2}R_3R_4(C_2R_1) \quad (5c)$$

The sensitivity of the controller parameters with respect to active and passive elements is given in (6). It is clear that the sensitivity is low, and the absolute value is not greater than unity.

$$S_{g_{m1}}^{K_P} = S_{g_{m2}}^{K_P} = S_{R_3}^{K_P} = S_{R_4}^{K_P} = 1 \quad (6a)$$

$$S_{C_2}^{K_P} = -S_{C_1}^{K_P} = \frac{C_2R_2}{C_1R_1 + C_2R_2} \quad (6b)$$

$$S_{R_1}^{K_P} = -S_{R_2}^{K_P} = \frac{C_1R_1}{C_1R_1 + C_2R_2} \quad (6c)$$

$$S_{g_{m1}}^{K_I} = S_{g_{m2}}^{K_I} = S_{R_3}^{K_I} = S_{R_4}^{K_I} = -S_{C_1}^{K_I} = -S_{R_2}^{K_I} = 1 \quad (6d)$$

$$S_{g_{m1}}^{K_D} = S_{g_{m2}}^{K_D} = S_{R_3}^{K_D} = S_{R_4}^{K_D} = S_{C_2}^{K_D} = S_{R_1}^{K_D} = 1 \quad (6e)$$

III. DESIGN PROCEDURE

In this section, a design procedure for selecting of passive elements is described to achieve the desired control parameters [1]. $R_3 = 1/g_{m1}$ and $R_4 = 1/g_{m2}$ were chosen for simplify the calculations. C_1 and C_2 can be written using (5b) and (5c).

$$C_1 = \frac{1}{R_2K_I} \quad (7a)$$

$$C_2 = \frac{K_D}{R_1} \quad (7b)$$

K_P can be written by using (7a) and (7b).

$$K_P = K_DK_I \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_1}{R_2} \quad (8)$$

According to (8), it can be said that K_D and K_I can be chosen independently and arbitrarily. x is defined and K_P can be written as follows.

$$x = \frac{R_2}{R_1} \quad (9)$$

$$K_P = K_D K_I x + \frac{1}{x} \quad (10)$$

The value of x and the minimum value of K_P is calculated as follows.

$$x = \frac{1}{\sqrt{K_D K_I}} \quad (11)$$

$$K_{Pmin} = 2\sqrt{K_D K_I} \quad (12)$$

According to the design requirement of the proposed PID controller, the K_P value should satisfy the following condition.

$$K_P \geq 2\sqrt{K_D K_I} \quad (13)$$

The following steps should be followed in order to obtain the desired PID controller parameters. From (9), R_2 can be written as in (14)

$$R_2 = x R_1 \quad (14)$$

From (7a), C_I can be written as in (15)

$$C_1 = \frac{1}{x R_1 K_I} \quad (15)$$

Equation (10) is rearranged and (16) is found.

$$x^2 K_D K_I - x K_P + 1 = 0 \quad (16)$$

There are two real roots in (16), satisfied the condition in (13).

$$x_{1,2} = \frac{K_P \pm \sqrt{K_P^2 - 4K_D K_I}}{2K_D K_I} \quad (17)$$

The passive components can be found by following the steps below in order to obtain desired K_P , K_I and K_D values that satisfied the condition given in (13).

Step 1: Compute x from (17).

Step 2: Choose R_I arbitrarily.

- Step 3: Calculate R_2 from (14).
 Step 4: Calculate C_I from (15).
 Step 5: Calculate C_2 from (7b).

IV. NON-IDEAL ANALYSIS

The equivalent circuit of the non-ideal CFTA is shown in Fig. 3. Parasitic elements are denoted by the series resistance (R_f) at f terminal and grounded output impedances ($R_{X\pm} \parallel C_{X\pm}$ and $R_Z \parallel C_Z$) at $x\pm$ and z terminals, respectively. α is the current gain from the f terminal to the z terminal. Ideally, the parasitic elements are $R_f = G_{X\pm} = G_Z = C_{X\pm} = C_Z = 0$. In the case of ideal, g_m is constant and α is equal to 1. The following matrix equation defines the port relation of CFTA.

$$\begin{bmatrix} v_f \\ i_z \\ i_{x+} \\ i_{x-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 & 0 \\ \alpha & sC_Z + G_Z & 0 & 0 \\ 0 & g_m & sC_{x+} + G_{x+} & 0 \\ 0 & g_m & 0 & sC_{x-} + G_{x-} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f \\ v_z \\ v_{x+} \\ v_{x-} \end{bmatrix} \quad (18)$$

If only the non-ideal transfer gain of CFTA is taken into account, the K_P , K_I and K_D are found as follows:

$$K_P = \alpha_1 \alpha_2 g_{m1} g_{m2} R_3 R_4 \left(\frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (19a)$$

$$K_I = \alpha_1 \alpha_2 g_{m1} g_{m2} R_3 R_4 \left(\frac{1}{C_1 R_2} \right) \quad (19b)$$

$$K_D = \alpha_1 \alpha_2 g_{m1} g_{m2} R_3 R_4 (C_2 R_1) \quad (19c)$$

It is seen that the parasitic factor of $\alpha_1 \alpha_2$ directly affects the K_P , K_I and K_D . Note that the sensitivities of K_P , K_I and K_D with respect to current transfer gain are equal to unity.

Considering the parasitic elements of CFTA, the following constraints must be simultaneously satisfied [2]:

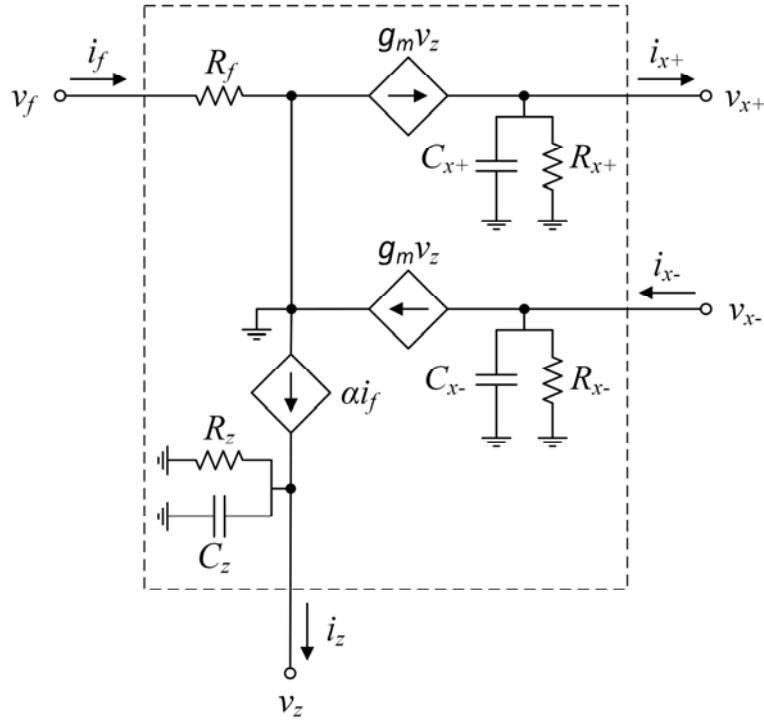


Fig. 3. The equivalent circuit of the non-ideal CFTA

$$\left| R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right| \ll \left| R_z \parallel \frac{1}{j\omega C_z} \right| \Rightarrow \left| R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right| \leq 0.1 \times \left| R_z \parallel \frac{1}{j\omega C_z} \right| \quad (20)$$

$$\left| R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right| \gg R_F \Rightarrow \left| R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right| \geq 10 \times R_F \quad (21)$$

By using (20), the following frequency range is found out:

$$\frac{\sqrt{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2}}{\omega C_1} \leq 0.1 \times \frac{R_z}{\sqrt{1 + \omega^2 C_z^2 R_z^2}} \quad (22)$$

In (22), if C_z is ignored, the following frequency range is obtained:

$$\sqrt{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} \leq 0.1 \times R_z \omega C_1 \Rightarrow f \geq \frac{1}{2\pi} \frac{1}{C_1 \sqrt{0.01 \times R_z^2 - R_1^2}} \quad (23)$$

In (22), if R_z is ignored, the following frequency range is found:

$$\frac{\sqrt{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2}}{C_1} \leq 0.1 \times \frac{1}{C_Z} \Rightarrow f \leq \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{0.01 \times C_1^2}{C_Z^2} - 1} \quad (24)$$

By using (21), the following frequency range is obtained:

$$\sqrt{R_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2}} \geq 10 \times R_F \Rightarrow f \leq \frac{1}{2\pi} \frac{1}{C_2 \sqrt{100 \times R_F^2 - R_2^2}} \quad (25)$$

The overall frequency range is found in (26).

$$\frac{1}{2\pi} \frac{1}{C_1 \sqrt{0.01 \times R_Z^2 - R_1^2}} \leq f \leq \frac{1}{2\pi} \min \left\{ \sqrt{\frac{0.01 \times C_1^2}{C_Z^2} - 1}, \frac{1}{C_2 \sqrt{100 \times R_F^2 - R_2^2}} \right\} \quad (26)$$

V. SIMULATION RESULTS

Simulation results have been performed by using LTspice program using 0.18 μm TSMC CMOS technology parameters. The CMOS realization of the CFTA is shown in Fig. 4. The power supply is selected as $V_{DD} = -V_{SS} = 0.6 \text{ V}$ and bias currents are $I_I = 100 \mu\text{A}$, $I_B = 50 \mu\text{A}$, and $I_C = 35 \mu\text{A}$. The transconductance and current gain values are found as follows: $g_m = 1.9 \text{ mS}$, $\alpha = 0.998837$. The transistor dimensions are given in Table I. The values of parasitic impedances are denoted in Table II.

TABLE I
TRANSISTOR DIMENSIONS

Transistor	Width (μm)	Length (μm)
M ₁ - M ₇ , M ₉ , M ₁₀	18	0.36
M ₈	27	0.36
M ₁₁ , M ₁₂	60	0.36
M ₁₃ - M ₁₈	20	0.36
M ₁₉ - M ₂₂	7.6	0.36
M ₂₃ , M ₂₄	15	0.36

TABLE II
PARASITIC IMPEDANCES

Parasitic Impedances	Values
R_f	38.43 Ω
R_{x+}	54.37 k Ω
C_{x+}	77.83 fF
R_{x-}	54.85 k Ω
C_{x-}	50.37 fF
R_Z	29.9 k Ω
C_Z	169.42 fF

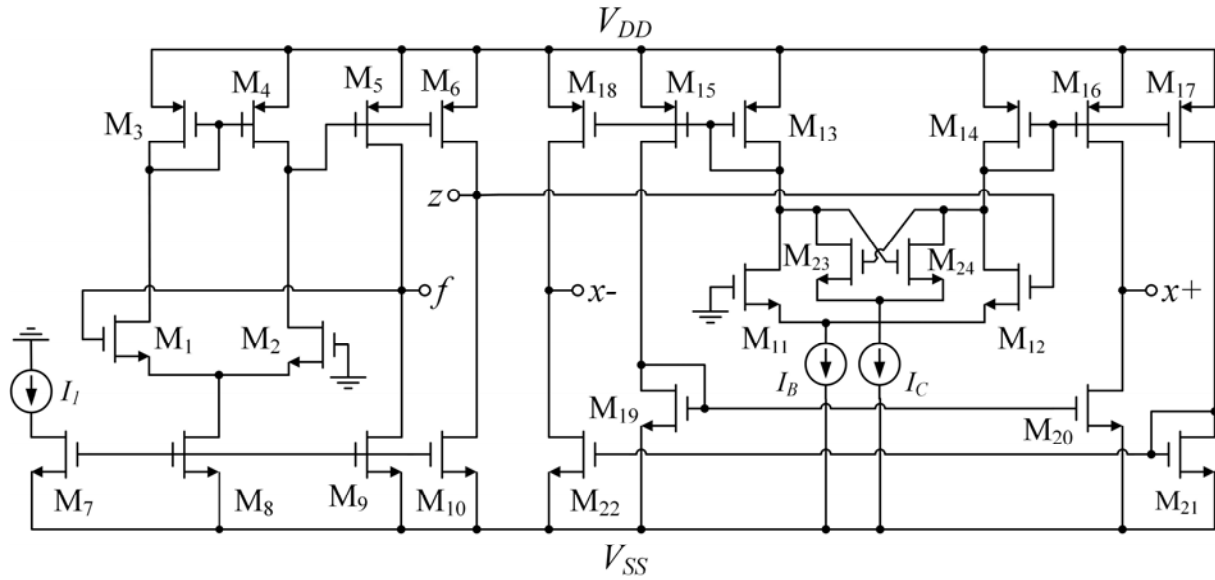


Fig. 4. CMOS realization of the CFTA [3]

The frequency responses of the proposed VM PID controller are given in Fig. 5. The control parameters are set to $K_P = 0.6$, $K_I = 5 \times 10^6$, and $K_D = 1 \times 10^{-8}$ by selecting passive elements $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 10$ pF, $R_1 = 1$ k Ω and $R_2 = 2$ k Ω , and $R_3 = R_4 = 1/g_m \approx 1.6$ k Ω . Monte Carlo (MC) analysis has been performed to validate the robustness of the proposed PID controller. The MC analysis has been carried out 100 times by considering that all passive elements uniformly changed by 10%. The MC simulation result is given in Fig. 6. It is seen that there is no significant change in frequency response to passive element variation. Temperature-dependent variation of the frequency response of the proposed VM PID controller has been investigated. The temperature analysis of the proposed VM PID controller has been performed at $T = -50, 0, 27, 50, 100$ $^{\circ}\text{C}$. The simulation result is given in Fig. 7.

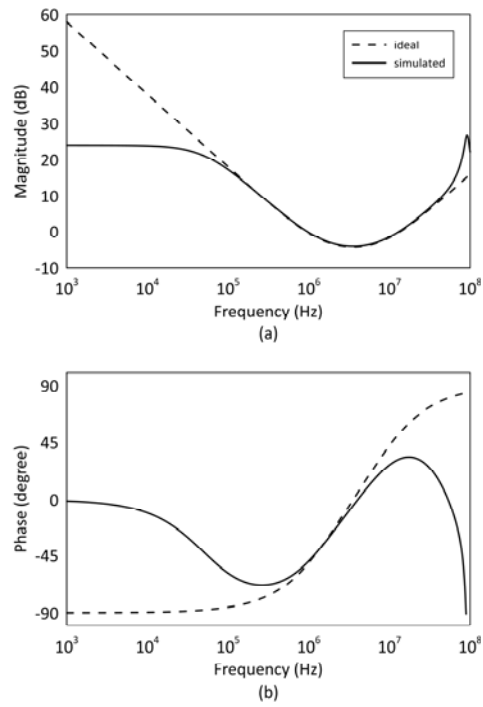


Fig. 5. (a) Magnitude response (b) phase response of the proposed VM PID controller

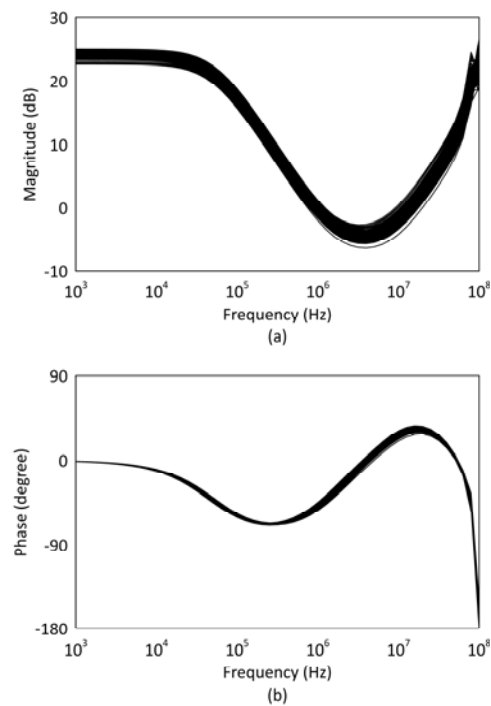


Fig. 6. Monte Carlo analysis results (a) magnitude response (b) phase response

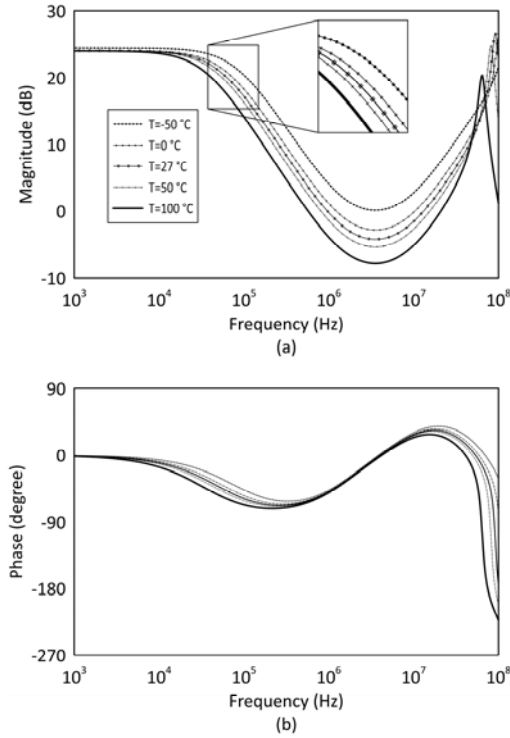


Fig. 7. The temperature analysis results (a) magnitude response (b) phase response

VI. APPLICATION EXAMPLE

A unit feedback closed-loop control system has been designed to improve the filter's step response. The transfer function of the filter is given in (27). The block diagram of the system is shown in Fig. 8. The transfer function of the closed-loop system is found as in (28).

$$G_P(s) = \frac{10^{14}}{s^2 + 10^7 s + 10^{14}} \quad (27)$$

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{10^{14}(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{s^3 + (10^7 + 10^{14} K_D) s^2 + (10^{14} + 10^{14} K_P) s + 10^{14} K_I} \quad (28)$$

A unit step voltage function of 50 mV amplitude is applied to the input of the closed-loop control system. The PID parameters are set to $K_P = 0.7$, $K_I = 1 \times 10^6$ and $K_D = 1 \times 10^{-7}$ by selecting $C_1 = 200$ pF, $C_2 = 100$ pF, $R_1 = 1$ k Ω and $R_2 = 5$ k Ω , and $R_3 = R_4 = 1.6$ k Ω . The error waveform $V_e(t)$, the output of the closed-loop control system $V_{out}(t)$, and output of the uncontrolled low-pass filter are shown in Fig. 9. The comparison of the proposed VM PID controller with the circuits previously reported in the literature is presented in Table III.

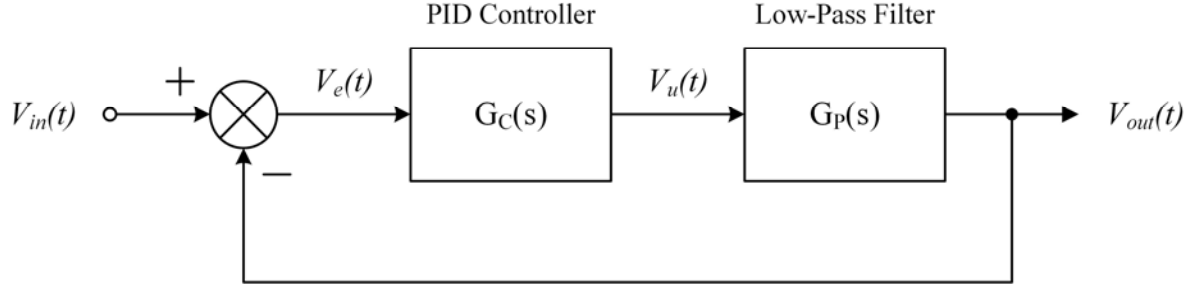


Fig. 8. Block diagram of PID control system

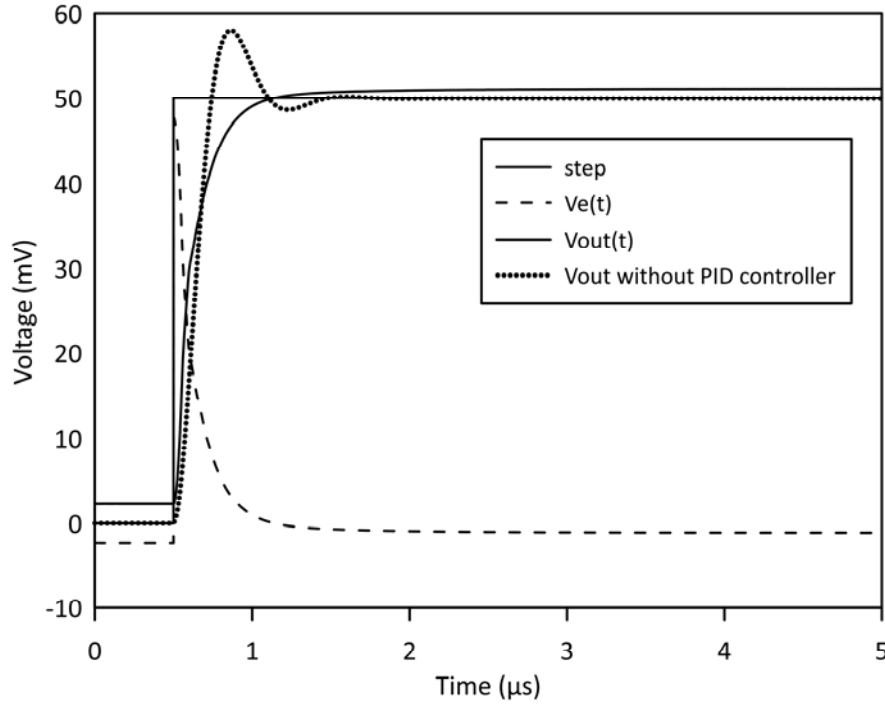


Fig. 9. Waveform of the closed-loop control systems: error waveform $V_e(t)$, output of the system $V_{out}(t)$, and output of the uncontrolled low-pass filter.

VII. CONCLUSIONS

This paper presents a CFTA based VM PID controller employing two CFTAs, four resistors and two capacitors. There is no need any critical matching condition. The sensitivities of the control parameters with respect to active and passive elements have been examined in ideal and non-ideal conditions. The effects of parasitic impedances on the operating frequency range have been analyzed. LTspice simulations have been performed using 0.18 μm TSMC CMOS technology parameters. The total power dissipation of the proposed PID controller is 1.12 mW. Simulation results demonstrate the functionality of the circuit. As an application example, a closed-loop control system application is provided.

TABLE III
COMPARISON TABLE OF PID CONTROLLERS

References	Operating mode	Electronically tunable	# and type of the active elements	# of resistors		# of capacitors		Technology
				F	G	F	G	
[1] in Fig. 2	Voltage	No	1 CFOA	1	1	1	1	AD844
[2] in Fig. 3	Voltage	No	1 CFOA	1	1	0	2	0.18 μm
[4] in Fig. 4	Voltage	Yes	8 OTA	0	0	0	2	0.18 μm
[5] in Fig. 4	Voltage	No	4 CDBA	5	3	1	1	N/A
[6] in Fig. 3	Voltage	Yes	2 MO-CCCCTA	0	0	0	2	BJT
[7] in Fig. 4	Current	Yes	4 CCCDBA	0	0	0	2	BJT
[8] in Fig. 4	Voltage	Yes	8 CCCII	0	2	0	2	BJT
[9] in Fig. 2	Voltage	No	1 DO-CCII+ 1 CCII+	0	3	0	2	0.35 μm
[9] in Fig. 3	Current	No	1 DO-CCII+ 1 CCII+	0	3	0	2	0.35 μm
[10] in Fig. 2	Current	No	3 CCII+	0	4	0	2	AD844
[10] in Fig. 3	Voltage	No	3 CCII+	0	4	0	2	AD844
[11] in Fig. 1b	Voltage	No	3 CFOA	0	4	0	2	AD844
[12] in Fig. 2	Current	No	1 DO-CCII	0	2	0	2	0.13 μm
[13] in Fig. 1	Voltage	No	3 CFOA	0	3	0	3	AD844
[14] in Fig. 3	Voltage	No	3 CFOA	1	3	0	2	AD844
[15] in Fig. 3	Mixed	Yes	6 Transconductor	0	0	0	2	0.18 μm
[16] in Fig. 3	Voltage	Yes	1 ZC-CFTA	1	1	1	1	0.35 μm
[17] in Fig. 1c	Voltage	No	2 CFOA	1	3	0	2	AD844
[18] in Fig. 5	Voltage	Yes	2 OTRA	4	0	3	0	0.18 μm
[19] in Fig. 2	Voltage	Yes	3 DDCC	0	3	0	2	0.13 μm
[20] in Fig. 2	Voltage	No	2 OTRA	4	0	2	0	0.18 μm
[21] in Fig. 4	Voltage	No	2 CFOA	1	2	0	2	AD844
Proposed	Voltage	Yes	2 CFTA	2	2	1	1	0.18 μm

REFERENCES

- [1] M. Sagbas, M. Koksall, and U. E. Ayten, "Design of dominantly proportional PID controller using a single commercially available active component," *2013 36th Int. Conf. Telecommun. Signal Process. TSP 2013*, pp. 427–430, 2013, doi: 10.1109/TSP.2013.6613967.
- [2] U. E. Ayten, E. Yuce, and S. Minaei, "A voltage-mode PID controller using a single CFOA and only grounded capacitors," *Microelectronics J.*, vol. 81, no. September, pp. 84–93, 2018, doi: 10.1016/j.mejo.2018.09.010.
- [3] S. Kumari and M. Gupta, "Design and analysis of high Transconductance Current Follower Transconductance Amplifier (CFTA) and its applications," *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 93, no. 3, pp. 489–506, 2017, doi: 10.1007/s10470-017-1036-x.
- [4] C. Erdal, A. Toker, and C. Acar, "Ota-C based proportional-integral-derivative (PID) controller and calculating optimum parameter tolerances," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 189–198, 2001.
- [5] A. U. Keskin, "Design of a PID controller circuit employing CDBAs," *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 43, no. 1, pp. 48–56, 2006, doi: 10.7227/IJEEE.43.1.5.
- [6] N. Pandey, S. Kapur, P. Arora, and S. Sharma, "MO-CCCCTA based PID controller employing grounded passive elements," *2011 2nd Int. Conf. Comput. Commun. Technol. ICCCT-2011*, pp. 270–273, 2011, doi: 10.1109/ICCCT.2011.6075115.

- [7] S. Srisakultiew and M. Siripruchyanun, "A Synthesis of Electronically Controllable Current-Mode PI, PD and PID Controllers Employing CCCDBAs," *Circuits Syst.*, vol. 04, no. 03, pp. 287–292, 2013, doi: 10.4236/cs.2013.43039.
- [8] C. Erdal, H. H. Kuntman, and S. Kalalı, "A current controlled conveyor based proportional-integral-derivative (PID) controller," *Istanbul Univ. - J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 1243–1248, 2004.
- [9] E. Yuce, S. Tokat, A. Kizilkaya, and O. Cicekoglu, "CCII-based PID controllers employing grounded passive components," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 60, no. 5, pp. 399–403, 2006, doi: 10.1016/j.aeue.2005.03.017.
- [10] E. Yuce, S. Tokat, S. Minaei, and O. Cicekoglu, "Low-Component-Count Insensitive Current-Mode and Voltage-Mode PID, PI and PD Controllers," *Frequenz*, vol. 60, no. 3–4, pp. 65–69, 2006, doi: 10.1109/ISIE.2005.1528911.
- [11] S. S. Gupta, D. R. Bhaskar, R. Senani, and A. K. Singh, "Inverse active filters employing CFOAs," *Electr. Eng.*, vol. 91, no. 1, pp. 23–26, 2009, doi: 10.1007/s00202-009-0112-3.
- [12] E. Yuce and S. Minaei, "New CCII-based versatile structure for realizing PID controller and instrumentation amplifier," *Microelectronics J.*, vol. 41, no. 5, pp. 311–316, 2010, doi: 10.1016/j.mejo.2010.03.008.
- [13] H.-Y. Wang, S.-H. Chang, T.-Y. Yang, and P.-Y. Tsai, "A Novel Multifunction CFOA-Based Inverse Filter," *Circuits Syst.*, vol. 02, no. 01, pp. 14–17, 2011, doi: 10.4236/cs.2011.21003.
- [14] S. S. Gupta, D. R. Bhaskar, and R. Senani, "New analogue inverse filters realised with current feedback op-amps," *Int. J. Electron.*, vol. 98, no. 8, pp. 1103–1113, 2011, doi: 10.1080/00207217.2010.547812.
- [15] V. Silaruam, A. Lorsawatsiri, and C. Wongtaychatham, "Novel resistorless mixed-mode PID controller with improved low-frequency performance," *Radioengineering*, vol. 22, no. 3, pp. 932–940, 2013.
- [16] W. Tangsrirat, "Voltage-mode analog PID controller using a single- z-copy current follower transconductance amplifier (ZC-CFTA)," *Inf. MIDEM*, vol. 45, no. 3, pp. 175–179, 2015.
- [17] V. Patil and R. K. Sharma, "Novel Inverse Active Filters Employing CFOAs," *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 3, no. 7, pp. 359–360, 2015.
- [18] R. Pandey, N. Pandey, S. Chitranshi, and S. K. Paul, "Operational transresistance amplifier based PID controller," *Adv. Electr. Electron. Eng.*, vol. 13, no. 2, pp. 171–181, 2015, doi: 10.15598/aece.v13i2.1164.
- [19] E. Yuce and H. Alpaslan, "DDCC+ based voltage-mode PID controller employing only grounded passive components," *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, vol. 23, no. 2–3, pp. 120–128, 2016.
- [20] A. K. Singh, A. Gupta, and R. Senani, "OTRA-based multi-function inverse filter configuration," *Adv. Electr. Electron. Eng.*, vol. 15, no. 5, pp. 846–856, 2017, doi: 10.15598/aece.v15i5.2572.
- [21] Z. G. Çam Taşkıran, H. Sedef, and F. Anday, "A New PID Controller Circuit Design Using CFOAs," *Circuits, Syst. Signal Process.*, 2020, doi: 10.1007/s00034-020-01540-5.

Dönme Tabanlı Yatay Toprak Basıncı

Rotation-Based Lateral Earth Pressure

Murat Hamderi *,¹

*hamderi@tau.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9167-8866

¹Faculty of Engineering, Turkish-German University, Istanbul, Turkey

Özet Mevcut literatürde, kaba-daneli zeminler için yatay pasif toprak basıncı formülleri genelde Coulomb (1776) ve Rankine (1857) teorilerine dayanır. Bu teoriler, içsel sürtünme açısı, zemin-duvar sürtünme açısı ve diğer bazı geometrik boyutları içerir. Bu yaklaşımlar, pasif durumun oluşması için duvarın yeteri kadar döndüğünü varsayarlar, duvarın dönme açısını bir girdi parametresi olarak ayrıca hesaba katmazlar. Bu çalışmada, zemin modülü, içsel sürtünme açısı, zemin-duvar sürtünme açısı, şev açısı ile birlikte duvar dönme açısı da hesaba katılmıştır. Buna ilaveten yatay pasif toprak basıncı için bazı ampirik ifadeler sunulmuştur. Uygulamada, yatay pasif toprak basıncı formülleri duvarın tasarım dönme limitinin ötesinde geçerli olurlar. Bu yüzden, yatay pasif toprak basıncı katsayısını 3 gibi bir güvenlik sayısı ile bölmek çok yaygın bir uygulamadır. Bu uygulamadaki formülde duvar dönmesi hesaba katıldığından, daha küçük bir güvenlik sayısı kullanılarak, daha hassas tahminler yapılabilir. Dönmenin yanında, bu çalışmada tanıtılan yatay pasif toprak basınç katsayısı, arka dolgunun zemin modülünü de hesaba katar. Bu da yatay pasif basıncın daha hassas tahmin edilmesine katkıda bulunur.

Anahtar Kelimeler: pasif, toprak basıncı, içsel sürtünme açısı, duvar dönmesi, zemin modülü

Abstract In the current literature, the passive lateral earth pressure equations for coarse-grained soils are mainly based on the theories proposed by Coulomb (1776) and Rankine (1857). These theories include parameters such as internal friction angle of soil, soil-wall interface friction angle and some other geometrical dimensions. These approaches do not allow the input of wall rotation as a parameter assuming that the wall sufficiently rotates for the mobilization of passive stresses. In this study, the wall rotation is considered as an input parameter along with modulus of elasticity of soil, internal friction angle, soil-wall interface friction angle and slope angle. In addition, several empirical equations have been introduced for passive lateral earth pressure. In practice, passive lateral earth pressure formulas are valid when the wall rotation is well beyond the design rotation limit of the wall. Therefore, it is quite common to apply a safety factor such as 3 for the passive lateral earth pressure calculations. The fact that the formula introduced in this study considers rotation, a lower safety factor can be employed and more accurate estimations can be made. Besides rotation, coefficient of passive earth pressure formula introduced in the study includes the soil modulus of the backfill. This inclusion contributes to the accuracy of the estimation of passive pressure.

Keywords: passive, earth pressure, friction angle, wall rotation, soil modulus

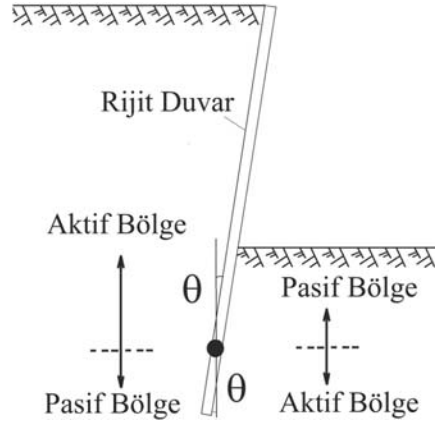
I. GİRİŞ

BİR çok yönetmelikte yatay toprak basıncı katsayısının Coulomb, Rankine veya log-spiral teoriler ile hesaplanması öngörülür [1-4]. Coulomb yatay toprak basıncının blok göçme yaklaşımı ile hesaplamış [5], daha sonra bu hesaplara Poncelet duvar-zemin sürtünme ve şev eğimi açısını da ekleyerek bugünkü haline getirmiştir [6]. Rankine gerilme alanı teorisini kullanarak aktif ve pasif toprak basınç katsayılarını hesaplamıştır [7]. Rankine'nin ifadelerinin içinde duvar-zemin sürtünme açısının bulunmaması, bu ifadeyi doğru çözümden bir miktar daha uzaklaştırır. Uygulamada sıkça kullanılan Coulomb ve Rankine çözümlerindeki ortak nokta, duvar arkasındaki kayma düzleminin doğrusal olduğudur. Öte yandan Caquot ve Kérisel ve Kérisel ve Absi'nin 20. yüzyılda oluşturduğu tablolar kayma düzleminin log-spiral karakterde olduğu esasına dayanır [8-9]. Birçok araştırmacıya göre log-spiral yöntem doğru çözüme en yakın çözüm olarak kabul edilmektedir [10-13].

Uygulamada sıkça kullanılan yanal toprak basıncı çözümleri duvar dönmesini hesaba katmazlar. Bu çözümlerde duvarın yeterince dönerek, kararlı duruma ulaşıldığı varsayılır. Aktif toprak basıncında kararlı duruma duvarın küçük bir dönme yapması ile ulaşılır. Ancak, pasif toprak basıncı için bunun aksine büyük miktarda dönme gerekir. Bu sebeple bazı araştırmacılar duvarın dönmesini de hesaba katan çözümler üretmişlerdir [14-20]. Öte yandan üretilen bu çözümler, katı bir şekilde formülize edilmemiş olduklarından uygulamada kolayca kullanılacak tarzda değildirler. Öte yandan Hamderi, 2021 sonlu elemanlar yöntemi ile yaptığı 100 değişik konfigürasyondaki modeli kullanarak aktif ve pasif toprak basınçları için uygulamada kolayca kullanılacak formüller üretmiştir [21]. Özellikle pasif toprak basıncı üzerine olan 2 formül bu bildiri kapsamında işlenecektir. Bu formüller, geleneksel formüllerde olduğu gibi içsel sürtünme açısını, duvar-zemin açısını, şev açısını içerdiği gibi zemin modülünü ve duvar dönme açısını da içermektedir.

II. ANKRAJSIZ KAZIKLI BİR İKSADA AKTİF VE PASİF İTKİLER

Bir istinat duvarının arkasındaki toprak basıncının aktif kararlı durumuna erişmesi için duvar boyunun binde 1'i kadar dönmesi ya da ötelenmesi gerekmektedir [10], [22]. Bu miktar bir dönme ya da ötelenmenin oluşması istinat duvarının servis hayatı boyunca kolayca oluşabilecek bir durumdur. Öte yandan pasif itki durumunun oluşabilmesi için duvar boyunun yüzde 1 ila 2'si kadar ötelenmelidir [10], [22]. Bir başka deyişle pasif durumunun oluşması için aktif duruma kıyasla 10 ila 20 kat kadar dönme gerektirir. Bu durum Şekil 1'de gösterilen ankrajsız kazıklı bir iksa yapısı incelenerek daha iyi anlaşılabilir. Şekildeki gibi duvar, zeminin içine gömülü olan kısımda oluşan pasif itki ile ayakta kalır. Duvarın dönme noktasının aşağısında ve yukarısında toprağın sıkıştığı bölgede pasif itki, rahatladığı bölgede aktif itki oluşur. Eğer duvar doğru tasarlanmış ise duvarda dönme en fazla binde 5 olur [23]. Az önce bahsedilen kriterlere göre binde 5 duvar dönmesi aktif basıncın tam olarak oluşması için yeterli olmasına karşın pasif basıncı tam olarak oluşması için yeterli değildir. Bu durumun telafisi için uygulamada pasif basınç belli bir güvenlik faktörüne bölünür. Öte yandan pasif basıncı dönme açısına bağlı olarak hesaplayacak bir formül hesabın daha hassas yapılmasını sağlayacaktır.



Şekil. 1. Ankrajsız kazıklı bir iksada aktif ve pasif itkiler

III. PASİF İTKİ İÇİN FORMÜLLERİN ÇIKARILMASI

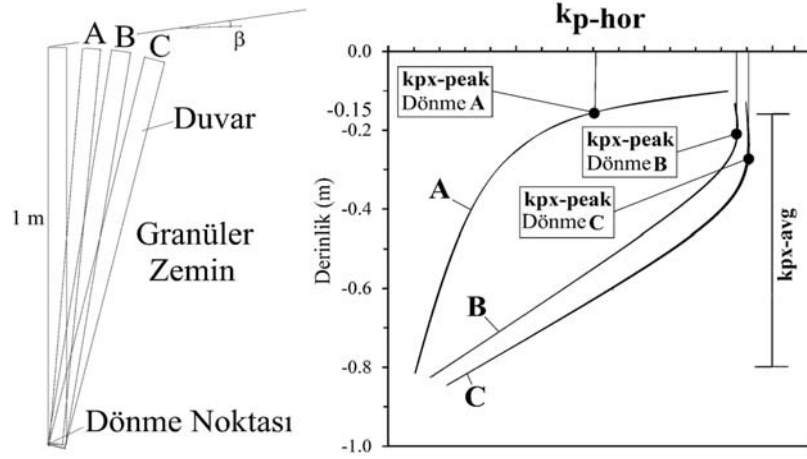
Hamderi Şekil 2’de görülen duvar sistemini içeren 50 adet farklı konfigürasyon sahip sonlu elemanlar modelini kullanarak pasif toprak basıncı için içinde zemin modülü, içsel sürtünme, duvar-zemin, duvar dönme ve şev açıları bulunan adet formül geliştirmiştir [21]. Bunun için öncelikle duvarın arkasındaki noktalarda yatay toprak basıncı düşey toprak basıncına bölünerek k_{p-hor} değerleri bulunur. Bu değerler derinliğe bağlı çizdirildiğinde Şekil 2’deki gibi eğriler elde edilir. Duvar dönmesinin ez az olduğu A durumunda k_{p-hor} değerleri küçüktür, B gibi daha büyük dönme miktarlarında k_{p-hor} değeri de büyür ve genel dağılımları da Şekil 2’deki gibi olur. Daha büyük dönmeler için ise dağılım değişmez, C eğrisinde olduğu gibi sabit kalır. Dikkat edilirse, k_{p-hor} eğrisi duvarın 0,15 m ile 0,85 m derinliğindeki bölgelerinde çizilmiştir. Bunun nedeni duvarın alt ve üst bölgelerinde sınır etkileri nedeniyle olağan davranışın ortaya çıkmayıp, 0,15 m ile 0,85 m arasındaki k_{p-hor} değerlerin en büyüğü $k_{px-peak}$ şeklinde adlandırılmıştır. $k_{px-peak}$ C kararlı dönmesinde en büyük değere erişir, bu değer literatürde sıkça rastlanan pasif itki formüllerinin mertebesinde. En büyük değer yerine, 0,15 m ile 0,85 m derinlik arasındaki k_{p-hor} değerlerinin ortalaması k_{px-avg} değeri de kullanılabilir.

IV. $K_{PX-PEAK}$

$k_{px-peak}$, granüler zeminlerde, pasif itkinin kararlı duruma gelmeden önceki dönme değerleri için pik yatay pasif toprak basınç katsayısıdır. $k_{px-peak}$ değeri θ_p (Rad) pasif duvar dönme açısına, % 1 uzama değerindeki zemin modülüne ($E_{1\%Strain}$), ϕ içsel sürtünme açısına, δ duvar-zemin sürtünme açısına, β şev açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi verilir [21]:

$$k_{px-peak} = \sum_{n=0}^{n=5} \left[a_{2n} \cdot \left(b_{2n} \cdot \left(\frac{E_{1\%Strain}}{50000 [kPa]} \right)^{c_{2n}} \cdot \left(\frac{(\phi+20)}{36} \right)^{d_{2n}} \cdot \left(\frac{(\delta+0.1)}{30} \right)^{e_{2n}} \cdot \left(\frac{(\beta+15)}{15} \right)^{f_{2n}} \cdot (\theta_p \cdot 1000 + 0.0001) \right)^n \right] \quad (1)$$

Burada a_{2n} , b_{2n} , c_{2n} , d_{2n} , e_{2n} , f_{2n} birimsiz denklem katsayılarıdır (Tablo I). $\phi \geq 20^\circ$, $\delta \geq 15^\circ$, $\beta \leq \phi/2$, $\theta_p \leq 0.005$.



Şekil 2. 1 m yükseklikli bir duvarın arkasında yatay toprak basıncı katsayısının değişimi [21]

TABLO I $K_{PX-PEAK}$ FORMÜLÜNÜN BİRİMSİZ DENKLEM KATSAYILARI (EŞ. (1)), [21]

n	a_2	b_2	c_2	d_2	e_2	f_2
0	0.9171	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	44.0467	0.2902	0.9101	0.5523	-0.1538	0.3156
2	-271.2802	0.5051	0.9057	-1.8478	-0.1627	-0.0064
3	108.8555	1.1978	0.8979	-2.7512	-0.0517	-0.0729
4	-147.6745	1.0567	0.8863	-3.1977	0.0545	-0.0763
5	-0.0710	-1.5259	0.6738	-2.2137	1.5363	0.0392

V. K_{PX-AVG}

k_{px-avg} , granüler zeminlerde, pasif itkinin kararlı duruma gelmeden önceki dönme değerleri için ortalama yatay pasif toprak basınç katsayısıdır. k_{px-avg} değeri aşağıdaki gibi verilir [21]:

$$k_{px-avg} = \sum_{n=0}^{n=5} \left[a_{4n} \cdot \left(b_{4n} \cdot \left(\frac{E_{1\%Strain}}{50000[kPa]} \right)^{c_{4n}} \cdot \left(\frac{(\phi+20)}{36} \right)^{d_{4n}} \cdot \left(\frac{(\delta+0.1)}{30} \right)^{e_{4n}} \cdot \left(\frac{(\beta+15)}{15} \right)^{f_{4n}} \cdot (\theta_p \cdot 1000 + 0.0001) \right)^n \right] \quad (2)$$

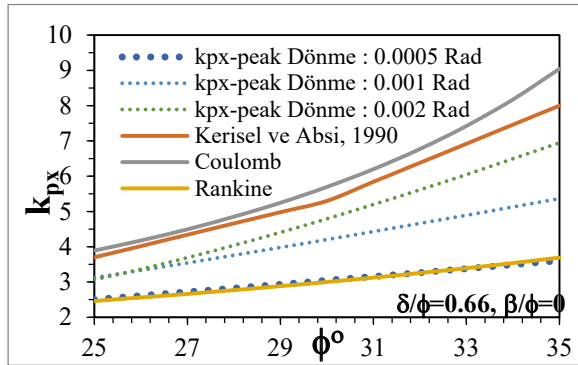
Burada a_{4n} , b_{4n} , c_{4n} , d_{4n} , e_{4n} , f_{4n} birimsiz denklem katsayılarıdır (Tablo II). $\phi \geq 20^\circ$, $\delta \geq 15^\circ$, $\beta \leq \phi/2$, $\theta_p \leq 0.005$.

TABLO II. K_{PX-AVG} FORMÜLÜNÜN BİRİMSİZ DENKLEM KATSAYILARI (EŞ. (2)), [21]

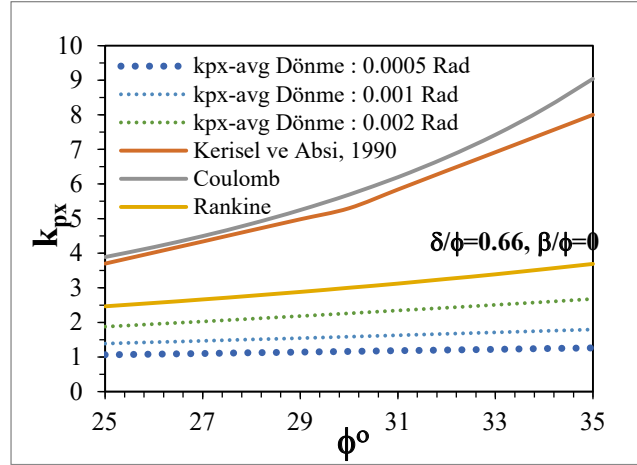
n	a_i	b_i	c_i	d_i	e_i	f_i
0	0.6705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	44.6176	0.0664	0.9228	0.2888	0.0406	0.2456
2	-189.3166	0.1596	0.8914	-1.8668	0.1214	-0.1128
3	45.8769	0.4577	0.8605	-2.6712	0.2287	-0.2310
4	-113.8981	-0.3215	0.8349	-2.9180	0.2616	-0.2772
5	8.4099	0.0539	0.5568	0.3958	-1.3184	-0.2440

VI. $K_{PX-PEAK}$ - K_{PX-AVG} FORMÜLLERİNİN LİTERATÜRDEKİ DİĞERLERİ İLE KARŞILAŞTIRMASI

Şekil 3’de $k_{px-peak}$ pik yatay toprak basınç katsayısının Kerisel ve Absi, 1990, Rankine ve Coulomb formüllerinden çıkan değerlerle karşılaştırması verilmiştir. $k_{px-peak}$ formülünün içinde zemin modülü de ($E_{1\%strain}$) bulunmaktadır. Bu değerler $\phi=25^\circ$ ve $\phi=35^\circ$ değerleri için sırasıyla 12500 kPa ve 17500 kPa olarak alınmış, ara değerler ise interpolate edilmişlerdir. Şekil 3’e göre en küçük pasif itkiyi Rankine, en büyüğünü ise Coulomb vermektedir. Kerisel ve Absi, 1990 ise üst sınırın biraz aşağısındadır. $k_{px-peak}$ değerleri sırasıyla 0,0005, 0,001 ve 0,002 Rad duvar dönme değerleri için verilmiş olup orta ve alt bir yerde kalmaktadır. Pasif kararlı durumun oluşabilmesi için en az 0.01 Rad dönme oluşması gerektiği düşünülürse neden $k_{px-peak}$ değerlerinin ortalarında bir yerde kaldığı anlaşılır [10]. $k_{px-peak}$ değeri Şekil 2’deki parabolik dağılımın en yüksek değeridir. Eğer hesap için kullanılacaksa, üçgen dağılım kabulünde üçgenin yüksekliği olarak alınıp yaklaşık olarak hesaba katılabilir.

Şekil 3. $k_{px-peak}$ ve diğer formüllerin içsel sürtünme açısına göre değişimleri

Şekil 3’deki $k_{px-peak}$ değerlerinin yerine k_{px-avg} değerleri konulursa yatay pasif itkinin daha da düşük çıktığı gözlenir (Şekil 4). Şekil 2’deki parabolik dağılımın ortalama değeri olan k_{px-avg} hesaplarda doğrudan dikdörtgen dağılım kabulünde dikdörtgenin sabit yüksekliği olarak kullanılabilir.



Şekil 4. k_{px-avg} ve literatürdeki diğer formüllerin içsel sürtünme açısına göre değişimleri

VII. SONUÇLAR

Bu bildiride, diğer olağan parametrelerin yanında duvarın dönmesine, zemin modülüne bağlı pik ve ortalama yatay pasif toprak basınç katsayısını hesaplamak için 2 yeni formüle yer verilmiştir. Bu formüller duvar dönmesini ve zemin modülünü içerdiklerinden daha hassas sonuç verirler. Literatürdeki klasik formüllerdeki gibi sonuçların birer güvenlik katsayısına bölünmesi gerekmez. Bu sebeple bu formüller klasik formüllerin yerine kullanıldıklarında daha ekonomik çözümler ortaya çıkar.

REFERENCES

- [1] CEN (European Committee for Standardization) Eurocode 7: Geotechnical design—Part 1, Annex C, “Sample procedures to determine earth pressures,” EN 1997-1. Brussels, Belgium: CEN, 2004.
- [2] NAVFAC (Naval Facilities Engineering Command), “Foundations and earth structures,” NAVFAC DM 7.02, 1986, Alexandria, VA: NAVFAC.
- [3] AASHTO, Guide specifications for LRFD seismic bridge design,” 2nd ed., 2011, Washington, DC.
- [4] AFAD, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018, Ankara.
- [5] Coulomb, C. A., Essai sur une application des regles des maximas et minmas a quelques problemes de statique relatifs a l’architecture. [In French.], 1776, Paris: Academie Royale Des Sciences.
- [6] Poncelet, J. V. 1840. Mémoire sur la stabilité des revêtements et de leurs fondations. Note additionnelle sur les relations analytiques qui lient entre elles la poussée et la butée de la terre. Mémorial de l’officier du génie. Paris: Imprimerie et librairie de Bachelier.
- [7] Rankine, W. J. M. 1857. “On the stability of loose earth.” Proc. R. Soc. London 8: 185–187. <https://doi.org/10.1098/rspl.1856.0049>.

- [8] Caquot, A. I., and J. Kerisel, "Tables for the calculation of passive pressure, active pressure, and bearing capacity of Foundations," 1948, Paris: Gauthier-Villars.
- [9] Kérisel, J., and E. Absi, "Active and passive earth pressure tables," 1990, Rotterdam, Netherlands: Balkema.
- [10] Clough, G. W., and J. M. Duncan, "Earth pressures." In *Foundation engineering handbook*, edited by H. Y. Fang, 1991, 223–235. 2nd ed. New York: Chapman and Hall.
- [11] Budhu, M., "Soil mechanics and Foundations," 2010, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- [12] Benmebarek, S., T. Khelifa, N. Benmebarek, and R. Kastner, "Numerical evaluation of 3D passive earth pressure coefficients for retaining wall subjected to translation." *Comput. Geotech.* 35 (1): 47–60, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2007.01.008>.
- [13] Benmeddour, D., M. Mellas, R. Frank, and A. Mabrouki, "Numerical study of passive and active earth pressures of sands." *Comput. Geotech.* 40: 34–44, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.10.002>.
- [14] Bang, S., "Active earth pressure behind retaining walls." *J. Geotech. Eng.* 111 (3): 407–412, 1985, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:3\(407\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:3(407)).
- [15] Chang, M. F., "Lateral earth pressures behind rotating walls." *Can. Geotech. J.* 34 (4): 498–509, 1997, <https://doi.org/10.1139/t97-016>.
- [16] Chen, L., "Active earth pressure of retaining wall considering wall movement." *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 18 (8): 910–926, 2014, <https://doi.org/10.1080/19648189.2014.911121>.
- [17] Duncan, M., and R. L. Mokwa, "Passive earth pressures: Theories and tests." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 127 (3): 248–257, 2001, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:3\(248\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:3(248)).
- [18] Wilson, P., and A. Elgamal, "Large-scale passive earth pressure load displacement tests and numerical simulation." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 136 (12): 1634–1643, 2010, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000386](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000386).
- [19] Zhang, J. M., Y. Shimoto, and K. Tokimatsu, "Evaluation of earth pressure under any lateral deformation." *Soils Found.* 38 (1): 15–33, 1998, <https://doi.org/10.3208/sandf.38.15>.
- [20] Mei, G., Q. Chen, and L. Song, "Model for predicting displacement dependent lateral earth pressure." *Can. Geotech. J.* 46 (8): 969–975, 2009, <https://doi.org/10.1139/T09-040>.
- [21] Hamderi, M., "Finite Element-Based Coefficient of Lateral Earth Pressure for Cohesionless Soil", *International Journal of Geomechanics*, 21(5), 2021, Doi: 10.1061/(ASCE)GM.19435622.0002000
- [22] CGS (Canadian Geotechnical Society), "Canadian foundation engineering manual," 2006, 4th. ed. Richmond, BC, Canada: CGS.
- [23] Bolton, M. D., and W. Powrie, "Behaviour of diaphragm walls in clay prior to collapse." *Géotechnique* 38 (2): 167–189, 1988, <https://doi.org/10.1680/geot.1988.38.2.167>.

Marmara Adası Enerji Nakil Hattının Modellenmesi

Modelling of Marmara Island Energy Transmission Line

Bariş Can Toygun^{*,1}, Evren İşen²

^{*}btoygun@uedas.com.tr, ORCID: 0000-0004-2010-9970

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

²Elektrik Mühendisliği Bölümü, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

Özet Balıkesir ili Marmara ilçesinin Saraylar Beldesi'nde bulunan Türkiye'nin en büyük mermer rezervinin çıkarılması ve işlenmesi için yaklaşık 120 adet özel trafolu maden ocağı tesisi bulunmaktadır. Bu bölgedeki maden ocaklarının enerji ihtiyacını karşılayan şebeke, Erdek/Narlı'dan başlayarak Marmara Adasına devam eden 3x120/25 kesitte deniz altı kablosu ve Ada içerisinde bir kısmı 3x477 MCM ve kalan kısmı ise 3x3/0 AWG iletkenli havai hattın oluşmaktadır. Maden ocaklarının eş zamanlı devreye girmeleri esnasında yük yoğunluğuna ve mevcut enerji nakil hattının uzun olmasına bağlı olarak hat sonlarında zaman zaman gerilim düşümü yaşandığı bilinmektedir. Ülkemizde faaliyet gösteren 21 Dağıtım Şirketi'nin de uymakla yükümlü olduğu "Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği" belirtilen teknik kalite parametrelerini sağlamak ve hem müşteri memnuniyeti hem de gerilim düşümü kaynaklı kayıplar sebebiyle oluşan maddi-manevi zararların önüne geçebilmek için şebeke işletmecisini gerilim regülasyonu konusunda çalışmalar yapmaya mecbur bırakmaktadır.

Bu çalışmada bu hattın gerilim regülasyonunun sağlanması amacıyla yapılacak olan çalışmaların altyapısını teşkil edecek olan hat modellemesi gerçekleştirilmiştir. Erdek'ten çıkan enerji hattı Saraylar Beldesi'ne kadar Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Kablo ve iletken üreticilerinden alınan R-L-C değerleri kullanılan modellemede kablo ve iletkenlerin π eşdeğer devre modeli kullanılmıştır. Ortaya konan modelin doğruluğunun incelenmesi için enerji nakil hattından alınan gerçek ölçümler kullanılmıştır. Hat başı yani Erdek çıkışından alınan gerçek ölçüm sonuçları simülasyon ortamında kullanılarak hat sonu yani Saraylar Beldesi'ndeki gerilim elde edilmiştir. Bu gerilim değeri gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak modellemenin doğruluğu ortaya konmuştur. Böylece çalışmanın sonraki aşaması olan gerilim düşümü probleminin ortadan kaldırılması için yapılacak olan çalışmalar için kullanılabilecek bir enerji nakil hattı modeli elde edilmiştir. Yine bu model ile hattaki farklı problemlerin çözümleri üzerine çalışmalar yapılması da bu model sayesinde mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Hattı Modelleme; Gerilim Düşümü; π Eşdeğer Devre

Abstract There are many mines that are the Turkey's largest with 120 transformers in Saraylar, Marmara Island for extracting and processing marble reservers. The network that feeds the mines comes from Erdek by 3x120/25 section cable under the water, 3x477 MCM and 3x3/0 AWG conductors in the Island. It is known that voltage drop occurs at the end of the line due to the load density and longness of the existing energy transmission line during the simultaneous engagement of the mines. The regulation of "Regulation on Service Quality Regarding Electricity Distribution

and Retail Sales” obliges the 21 network operators that operating in Turkey to make voltage regulation in order to provide technical quality parameters and to prevent damages caused by voltage drops.

In this study, which will constitute the infrastructure of the future study that will ensure the voltage regulation of this line, the power line that starts at Erdek and ends at Saraylar is modeled in Matlab/Simulink. In the modeling, using the R-L-C values that are obtained from cable and conductor manufacturers, π equivalent circuit model of cables and conductors is used. Actual measurements taken from the power transmission line are used to examine the accuracy of the presented model. The real measurement results taken from the beginning of the line are used in the simulation environment and the voltage at the end of the line are obtained with the measurement results. The accuracy of the modeling is demonstrated by comparing this voltage value with the actual measurement results. Thus, the model of power line that can be used for the studies to be carried out to eliminate the voltage drop problem, which is the next step of the study, is obtained. It will be possible to work on the solutions of different problems in the power line thanks to this model.

Keywords: *Modeling of Power Line; Voltage Drop; PI Equivalent Circuit*

I. GİRİŞ

GÜNÜMÜZDE hızla artan sanayileşme ve teknolojik gelişmeler gerek endüstriyel anlamda gerekse günlük yaşamda bireylerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi seviyesini hızla artırmaktadır. Buna paralel olarak enerji üretiminde de artışlar meydana gelmektedir. Türkiye’de 2019 yılında lisanslı kurulu güç 2018 yılına göre %2,13 artarak 84.957,72 MW olmuştur. Fosil yakıtların çevre dostu olmaması ve rezervlerin hızla tükeniyor olması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelim de artış göstermektedir. Özellikle rüzgar ve güneş enerji kullanımı günümüzde en popüler iki yenilenebilir enerji kaynağıdır. Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisi kurulu güçleri 2018 yılında sırasıyla 6.942,27 MW ve 81,66 MW iken 2019 bu değerler rüzgar enerjisinde %8,33 artışla 7.520,33 MW güce ulaşırken güneş enerjisi kurulu gücü ise %107,81 artışla 169,70 MW güce ulaşmıştır [1]. Kurulu güç bakımından rüzgar enerjisinin gerisinde kalsa da hızla artmakta olan güneş enerjisi sistemleri dünyada güneş tarlaları boyutundan evsel uygulama boyutuna kadar birçok uygulamada yaygın olarak uygulanmaktadır [2]-[4]. Elektrik enerji kaynaklarının arttırılması enerji ihtiyacını karşılamada tek başına yeterli olmamaktadır. Kurulu güç bakımından incelendiğinde bir bölgenin enerji ihtiyacındaki artışa paralel olarak toplam kaynak gücü yeterli olabilir ancak bölgenin enerji hatlarının taşıma kapasitesi bölgeye gerekli enerjiyi taşımaya yeterli olmayabilir. Bölgenin elektrik enerjisi nakil hattında bulunan iletkenler, kablolar ve gerilim seviyelerinin ayarlanması için kullanılan transformatör merkezlerinin güç kapasiteleri tüketici bölgenin enerjisi kapasitesi ile uyumlu değilse bu durumda hatta gerilim düşümleri meydana gelmekte ve bölge gerektiği gibi beslenememektedir. Özellikle bölgede yüksek güçlü tüketiciler bulunuyor ve bu tüketiciler eşzamanlı olarak devreye giriyorsa tüketici noktasındaki gerilimde düşüş meydana gelmektedir. Bu düşüşün engellenmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır [5].

Enerji hattında meydana gelen problemlerin çözümünde hattın modelinin oluşturulması ve bu modelin simülasyon programlarında çalıştırılması, problemi çözmeye yönelik yöntemlerin daha

hızlı ve etkin bir şekilde geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Matlab Gui kullanılarak enerji iletim sisteminin modellenmesi için bir arayüz geliştirilmiştir. Arayüze sistem parametreleri girilerek sistemin çalışma anı için elektriksel büyüklükleri hesaplanabilmektedir [6]. Sakarya ilinde 380/154 kV elektrik iletim şebekesi Matlab/Simulink kullanılarak modellenmiş ve kısa devre arıza durumları incelenmiştir [7]. Kastamonu ili enerji iletim ve dağıtım sistemi Simulink ortamında modellenerek, sistem performansı ve arıza durumları simülasyon ortamında incelenerek sunulmuştur [8]. Başka bir çalışmada Ankara bölgesi iletim hatları DIGSILENT programı kullanılarak modellenmiş ve model üzerinde kısa devre arızası anında mesafe koruma rölelerinin arızayı tespit edememesi, çalışmaması ve kesicinin açmaması gibi durumlarda arızanın sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir [9]. Arıza durumlarının incelendiği başka bir çalışmada ise, Kuzeybatı Anadolu güç sisteminin 13 baralık kısmı Powerworld yazılımı kullanılarak modellenmiş ve faz-faz kısa devre arızası ve yüksek güçte reaktif yüklenme olduğu durumlar incelenmiştir [10].

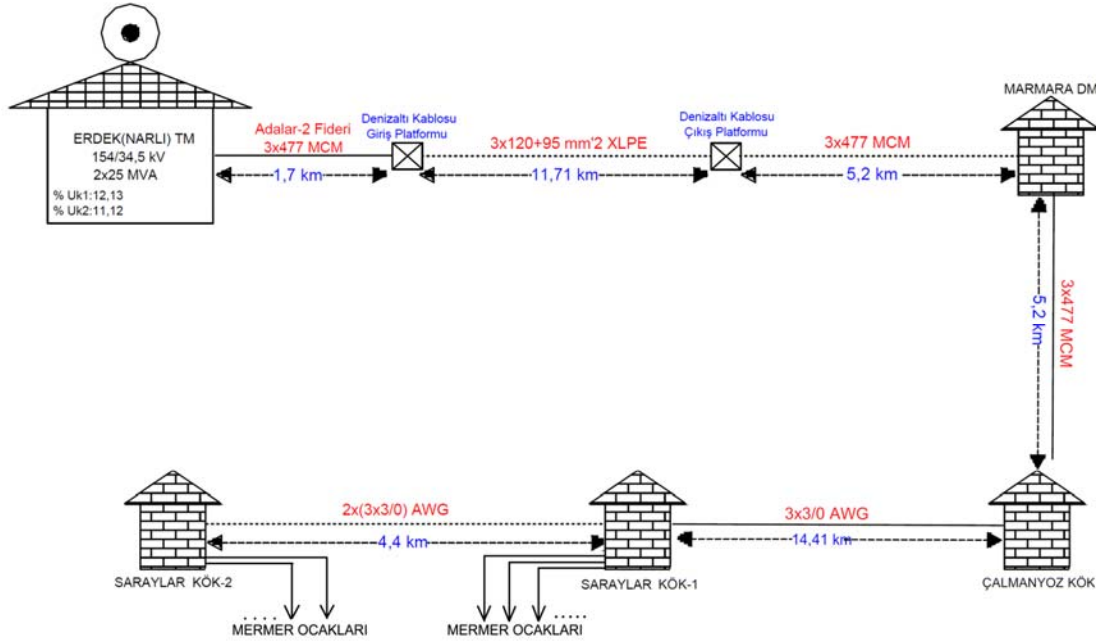
Bu çalışmada Balıkesir ilinde bulunan Erdek/Narlı-Marmara Adası elektrik enerjisi iletim hattının modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modelleme Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Erdek/Narlı'dan başlayan 34,5 kV gerilimli, 1,7 km uzunluğundaki 3x477 MCM iletken hat devamında deniz altından 11,71 km boyunca 3x120+95 mm² XLPE kablo ile devam etmektedir. Marmara Adası'nda 5,2 km uzunluğunda 3x477 MCM kablo ile Marmara Adası dağıtım merkezine ulaşmakta ve devamında ada içerisinde gerekli noktalara dallanmaktadır. Hat modellenmesi bu verilere göre yapıldıktan sonra Erdek/Narlı girişinde gerçek ölçüm verileri kullanılarak sistemin simülasyonu yapılmış ve elde edilen değerler gerçek ölçüm yapılan noktalardaki gerilimler ile karşılaştırılarak modellenmenin doğruluğu ortaya konmuştur. Yüklenme durumunda hat sonunda yer alan yüksek güçlü yüklerin olduğu noktalarda gerçek ölçümlerden bilindiği üzere beklenen gerilim düşümlerinin olduğu tespit edilmiştir. Böylece hat modelinin gerilim düşümü probleminin çözümünde kullanımının uygun olduğu anlaşılmıştır.

II. MARMARA ADASI ENERJİ NAKİL HATTI

Marmara Adası, Balıkesir iline bağlı ve Marmara Denizi'nin güneybatısında yer alan 117,18 km² yüz ölçümüne sahip Marmara Bölgesi'nin en büyük adasıdır. Aynı zamanda Gökçeada'dan sonra Türkiye'nin ikinci büyük adasıdır. Marmara Adası nüfusu yaklaşık olarak 10.000 kişi olmakla birlikte yaz sezonunda artış meydana gelmektedir. Nüfusun azlığı konut kullanıcısı anlamında enerji ihtiyacını da düşük tutmaktadır. Ancak Marmara Adası'nda yer alan Saraylar Beldesi'nde Türkiye'nin en büyük mermer yatakları bulunmaktadır. Bölgede 120 adet özel trafosu bulunan mermer ocağı bulunmaktadır. Yüksek güç tüketimi olan ocakların eşzamanlı olarak devreye girmesi ile yük gücü iki katına kadar çıkmakta ve enerji hattında hat sonunda gerilim düşümlerine neden olmaktadır. Bu nedenle bu tip durumlarda gerilim seviyesini sabit tutabilmek için Erdek Trafo Merkezi'nden 154/34,5 kV değerindeki trafonun kademesi yükseltilerek gerilim artırılmakta ya da manevra yapılarak Marmara Adası'nın batı yakası diğer adaları besleyen farklı bir hattan beslenerek yük yoğunluğu azaltılma ve gerilim dengelenmeye çalışılmaktadır.

Marmara Adası, Erdek ilçesinin Narlı köyüne yaklaşık olarak 12 km mesafededir. Adanın elektrik enerjisi ihtiyacı Narlı'da yer alan 154/34,5 kV gücünde trafo merkezinden sağlanmaktadır. Hattın tek hat diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Merkezden 1,7 km uzunluğundaki 3x477 MCM havai iletken ile başlayan hat Marmara Adası'na 11,71 km uzunluğunda 3x120+95 mm²

XLPE deniz altı kablosu ile taşınmaktadır. Ada giriş noktasından sonra hat 5,2 km uzunluğunda 3x477 MCM havai iletken ile Marmara dağıtım merkezine gelmektedir. Bu noktadan itibaren hat ada içinde taşınmaya devam etmektedir. Enerji ilk olarak 5,2 km uzunluğundaki 3x477 MCM iletken ile Çalmanyoz KÖK binasına kadar taşınmaktadır. Hat bu noktadan sonra 3x30 AWG kablo ile 14,41 km boyunca devam ederek Saraylar KÖK-1'e ve oradan da 4,4 km uzunluğundaki 2x(3x3/0) AWG kablo ile Saraylar KÖK-2 noktasına devam etmektedir. Mermer ocakları Saraylar KÖK-1 ve Saraylar KÖK-2 noktalarına bağlı olup modelleme de bu noktalar toplam güç olarak ele alınmış ve hat modellemesi Çalmanyoz KÖK noktasına kadar yapılmıştır. Maden ocaklarının çektiği güçler toplam olarak bu noktada yük olarak ele alınmıştır. Çünkü çalışmanın bir sonraki aşamasını oluşturacak olan gerilim düşümü probleminin incelenmesi ve çözüm arayışı noktasında hattaki gerilim düşümü problemi bu noktada yaşanmaya başlamaktadır.



Şekil 1. Marmara Adası enerji nakil hattı tek hat diyagramı

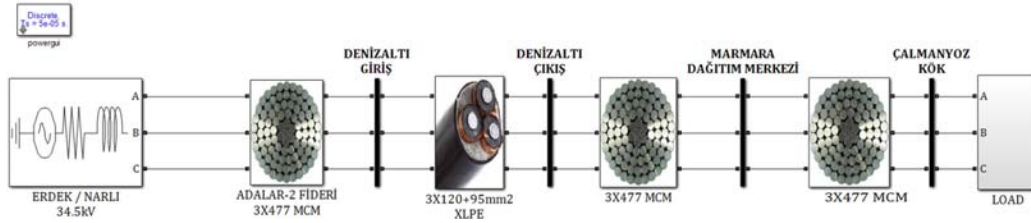
Hat modellemesinde her bir iletken ve kablonun R-L-C parametreleri kullanılmıştır. TABLO 1'de simülasyonda kullanılan değerler görülmektedir. Buradaki değerler km başına endüktans, kondansatör ve direnç değerleridir. Modellemede bu değerler hattın uzunluğu ile çarpılarak kullanılmaktadır.

TABLO 1
MODELLEMEDE KULLANILAN İLETKEN VE KABLO PARAMETRELERİ

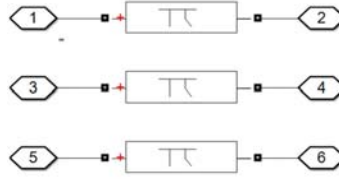
Hat Tipi	L (H/km)	C (F/km)	R (Ω /km)
477 MCM	0.00134	$0.00849 \cdot 10^{-6}$	0.1338
XLPE	0.00039	$0.015 \cdot 10^{-6}$	0.196

III. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Marmara Adası enerji hattının incelenmesi adına Matlab/Simulink ortamında yapılmış olan modelleme Şekil 2’de görülmektedir. Model Erdek/Narlı trafo merkezi çıkışını temsil eden 3 fazlı gerilim kaynağı ile başlamaktadır. Simülasyonda bu blok içerisinde gerilim değeri olarak hattın alınan gerçek ölçüm sonucu kullanılmaktadır. Trafo merkezinden sonra 1,7 km uzunluğundaki 477 MCM iletkenli Adalar-2 Fideri, deniz altından devam eden 11,71 km’lik 120+95mm² XLPE kablo, Marmara Adası’na çıkış noktası ile Marmara Dağıtım Merkezi arasındaki 5,2 km uzunluğundaki 477 MCM iletken ve son olarak bu nokta ile Çalmanyoz KÖK Binası arasındaki yine 5,2 km uzunluğundaki 477 MCM iletken π eşdeğer devresi ile modellenmiştir. Kullanılan π devresi Simulink blokları Şekil 3’te görülmektedir.

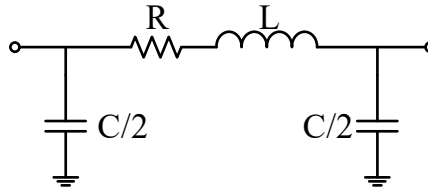


Şekil 2. Hattın simülasyon eşdeğeri



Şekil 3. İletkenlerin π devresi modeli

π eşdeğer devresi iletim hatlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Şekil 4’de π eşdeğer devre modeli görülmektedir. TABLO 1’de verilmiş olan devre parametreleri bu modelde kullanılarak hattın simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Hattın kapasitans değeri hat başı ve sonuna iki eşit parça olarak yerleştirilmektedir. Şekil olarak π harfine benzediğinden dolayı bu isimle adlandırılmaktadır.



Şekil 4. II eşdeğer devre modeli

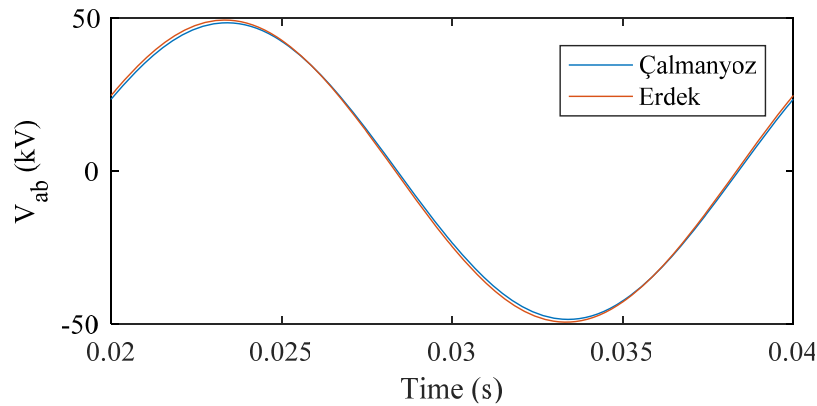
TABLO 2’de simülasyon çalışmasında kullanılan hattın elektriksel ölçüm değerleri ve son sütunda simülasyondan elde edilen gerilim değeri görülmektedir. Çalışmada hattın 10 farklı ölçüm anı için değerler kullanılmıştır. Erdek/Narlı’dan başlayan hat için simülasyon giriş gerilim kaynağında Erdek V_{ab} gerilimi kullanılmıştır. Tablodan görüldüğü gibi bu gerilim zaman içinde 34,415 kV ile 37,786 kV arasında değişim göstermektedir. Çalmanyoz KÖK Binası’nda yapılan ölçümlerle elde edilen akım değerleri Çalmanyoz I_a akımı ile kullanılmıştır. Akım değeri 52 A ile

169 A arasında değişim göstermektedir. Görüldüğü üzere yaklaşık 3 katlık bir değişim söz konusudur. Değişen hat başı gerilimi ve hat sonu akımına bağlı olarak Çalmanyoz KÖK Binası'nda ölçülen hat sonu gerilimi de 33,272 kV ile 34,272 kV arasında değişim göstermektedir. Tablonun son iki sütunundaki gerçek ölçüm ve simülasyon sonuçları incelendiğinde bu sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar hattın modellenmesinin farklı çalışmalar için uygun olduğunu göstermektedir.

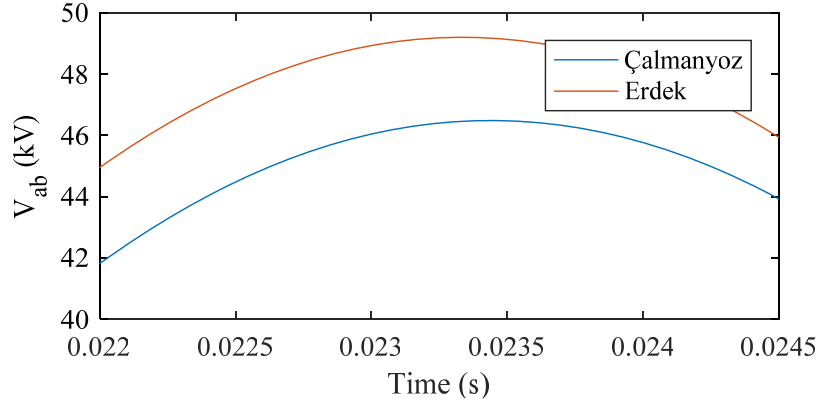
TABLO 2
KULLANILAN ÖLÇÜM VERİLERİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

No	Tarih	Erdek/Narlı V_{ab} (kV)	Çalmanyoz I_a (A)	Çalmanyoz V_{ab} (kV)	Çalmanyoz (Simülasyon) V_{ab} (kV)
1	08.03.2021 12:00	34,79	169	33,272	32,87
2	08.03.2021 20:00	34,415	82	33,930	33,65
3	09.03.2021 09:00	34,485	161	33,375	33
4	09.03.2021 14:00	34,932	124	34,054	33,78
5	09.03.2021 21:00	34,889	68	34,365	34,26
6	10.03.2021 00:00	34,664	66	34,139	33,95
7	10.03.2021 01:00	34,718	58	34,161	33,95
8	10.03.2021 14:00	34,701	139	33,850	33,3
9	11.03.2021 05:00	34,581	52	34,272	34,02
10	11.03.2021 12:00	37,786	123	33,686	33,46

Şekil 5'te 1 numaralı ölçüm için yapılan simülasyondaki Erdek/Narlı ve Çalmanyoz KÖK Binası'ndaki fazlar arası gerilim görülmektedir. Şekil 5(a)'da bir periyot boyunca iki gerilim dalga şekli görülmektedir. Çalmanyoz'daki gerilim düşümünün daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 5(b)'de gerilimlerin maksimum değerleri civarında kısa süreli dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden Erdek/Narlı geriliminin Çalmanyoz geriliminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Çekilen akımdan dolayı hat empedansları üzerinde meydana gelen kayıplar nedeniyle bu gerilim düşümü meydana gelmektedir.



(a) Bir periyot için fazlar arası gerilimler



(b) Fazlar arası gerilimlerin farkı

Şekil 5. Erdek/Narlı ve Çalmanyoz fazlar arası gerilimler

IV. SONUÇ

Çalışmada Balıkesir ilinde bulunan Marmara Adası elektrik enerjisi iletim hattının modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Matlab/Simulink ortamında yapılan modellemede hatta bulunan 477 MCM havai iletken ve deniz altında bulunan 120+95mm² XLPE kablo π eşdeğer devresi ile modellenmiştir. Model, Erdek/Narlı Trafo Merkezi ile Çalmanyoz KÖK Binası arasındaki 23,81 km uzunluğundaki hat için yapılmıştır. Eşdeğer devre modelinde iletken ve kabloların R-L-C değerleri kullanılmıştır. Yine sistemin giriş geriliminde Erdek/Narlı Trafo Merkezi'nden alınan gerçek ölçüm değerleri kullanılarak modelin sonu olan Çalmanyoz KÖK Binası'ndaki gerilim seviyesi elde edilmiştir. Simülasyon ile elde edilen sonuçlar gerçek ölçüm verileri ile karşılaştırılarak modelin geçerliliği ortaya konmuştur. Böylece, çalışmanın temel sebebi olan Marmara Adası'nda bulunan yüksek güçlü mermer ocakları kaynaklı gerilim düşümü probleminin ortadan kaldırılması için yapılacak olan çalışmalarda kullanılacak olan model elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Energy Market Regulatory Authority, Electricity Market Development Report 2019, Ankara, 2020.
- [2] S. Barua and R.A. Prasath, "Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for the Academic Campus Using PVsyst Software," International Journal of Electronics and Electrical Engineering, vol. 5, no. 1, 2017, pp. 76-83.
- [3] E. Quiles, C.R. Blay, G.E. Escrivá and C. R. Porta, "Accurate Sizing of Residential Stand-Alone Photovoltaic Systems Considering System Reliability," Sustainability, vol. 12, pp. 1-18, 2020.
- [4] V. Beranek, T. Olsan, M. Libra, V. Poulek, J. Sedlacek, M.Q. Dang and I.I. Tyukhov, "New Monitoring System for Photovoltaic Power Plants' Management", vol. 11, pp. 1-13, 2018.
- [5] S. Nunoo, J. Attachie and F. N. Duah, "An Investigation into the Causes and Effects of Voltage Drops on an 11 kV Feeder," Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 40-47, 2012.
- [6] A.F. Güven, Z. Keleş and İ.B. Yalçın, "Matlab Gui Yardımıyla Enerji İletim Sistemlerinin Modellenmesi," International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, pp. 1-13, May 2017.

- [7] N. Pamuk, “Sakarya ili elektrik şebekesinin matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmesi ve analiz edilmesi,” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 27, no. 1, pp. 19-39, 2011.
- [8] İ. Tosun, “Kastamonu İli Enerji ve Dağıtım Sisteminin Modellenerek Analizi ve Uygulanması”, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [9] M. Saygılı, and S.S. Tezcan, “Ankara Bölgesi için Enerji İletim Hattı Koruma Modellemesi Analizi ve Uygulaması,” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, vol. 7, no. 2, pp. 303-316, 2019.
- [10] İ. Öylek and M. Varan, “Kuzeybatı Anadolu Güç Sisteminde Arızalı Durum Güç Akışı İncelemelerinin Gerçekleştirilmesi,” Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, vol. 4, no. 3, pp. 33-40, 2016.

Raspberry Pi Based Object Detection and Drawing

Talha Bayrak¹, Vedat Marttin^{*2}, Uğur Yüzgeç¹

^{*} vedat.marttin@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5173-2349

¹ Department of Computer Engineering, Bilecik Seyh Edebali Univesity, Bilecik, Turkey

² Bilecik Seyh Edebali Univesity, Bilecik, Turkey

Abstract Many new products have taken place in the market with the development of technology. We started to meet easily many of our needs in daily life with the opportunities provided by technology. The advancement of technology has created many optional new development environments for software developers. Raspberry Pi is one of these development environments. Some reasons why the Raspberry Pi is preferred are that almost everything a computer can do with its operating system can be done and it can be carried anywhere because it is small enough to fit in many places.

In this study, it is aimed to recognize and draw objects by using TensorFlow, OpenCV and BrachioGraph libraries together with a drawing machine created with hardware. For this purpose, we have realized the recognition of objects using image processing, and the drawing of these objects in the Raspberry Pi environment. For the drawing machine, we used a Raspberry Pi 3 microcontroller with 1.2 GHz ARMv8 quad-core processor, Picamera, and 12g Emax servo motors as hardware. Object recognition process was carried out in the software part with the help of TensorFlow and OpenCV libraries. The processed images were transformed into vector format using BrachioGraph library and drawing tests were performed with servo motors. It was seen that the servo motor type used and calibration adjustments were important. The calibration settings of the BrachioGraph library can be further adjusted for results. In the test phase of this study, it is understood that the objects were successfully recognized and the drawings of the objects were made with the help of servos.

Keywords: *Drawing of objects, Image processing, OpenCV, Raspberry Pi, TensorFlow*

I. INTRODUCTION

New technological products have started to come out with the development of technology in recent years. Nowadays people have started to meet many of our needs in daily life with these technological products. Also people can perform all the works that they require manpower, much faster without wasting time thanks to technological developments.

Especially the new development environments is continued to increase for developers. The reason why Raspberry Pi is preferred is that it can do almost everything the computer can do, it has its own operating system and it can be carried everywhere because of little size [1,2].

Today, there are a lot of studies about object detection using image processing and Raspberry Pi [3-5]. Image processing is mostly used to facilitate the tracking of objects, to classify the objects, and to ensure that the objects in the environment are fully detected [6-8]. There are studies in the literature on automatic drawing of the determined objects on paper. Today, some of these drawing studies have been carried out with the Raspberry Pi microcontroller. In automatic

drawing process, the servo motors are used, but they are likely to not give exact results in some cases depending on the angle of the pens.

In this study, the object identification process was performed on Raspberry Pi 3 using TensorFlow [9] and OpenCV [10] libraries for approximately 200 objects. The BrachioGraph library [11] was used to make clearer, higher quality, smooth vector and charcoal drawings of the recognized objects. Under this library, the vector drawings were made over predetermined close-up photographs of only the relevant objects. The vector drawing of the recognized object was aimed to be drawn by Drawing Machine. The drawings can also be obtained using the BrachioGraph library.

II. MATERIALS AND METHODS

Raspberry Pi [2], servo motors [12] and Picamera [13] were used as hardware materials in this study. The object detection process is performed by comparing the values taken from the Picamera with the values in the TensorFlow Lite [9] data set. When the object is detected, the drawing machine performs the drawing process through servo motors.

A. Raspberry Pi 3 Model B +

Minicomputer that working on free software, has the power to play 1080p videos easily. This computer is portable board thanks to its small size, which carries the operating system on the micro SD card. Raspberry Pi, which works silently because it has no cooling fan or moving parts, meets most of the features expected from a personal computer. The Raspberry Pi can be used as a computer or as a developer platform using the pins on it (Fig. 1.a) [1,2].

B. Servo Motor

Servo motors are a closed circuit motor system. Servo motor contains control card, DC or AC motor, shaft, gear, potentiometer, encoder, and amplifier. The servo motors can have a certain angle, position, and speed thanks to parts inside that a normal motor cannot have. The motor is controlled by an analog or digital electrical signal that determines the amount of movement representing the final command position of the shaft. An encoder type acts as a sensor that provides speed and position feedback. This circuit is built into the motor housing, which is usually equipped with a gear system. Servo motors are available in 0-90, 0-180-0-270, 0-360, or infinite rotating types. Usage areas of servo motors are robots, home appliances, industrial areas, toys, and hobby purposes (Fig. 1.b) [12].

C. PiCamera Module

PiCamera is a high-quality 8 megapixel Sony IMX219 image sensor with a fixed focus lens. It can produce static images of 3280x2464 pixels and also supports 1080p30, 720p60 and 640x480p90 videos. The board is connected to the Raspberry Pi with one of the small sockets on the top surface and uses the CSI interface (Camera Serial Interface), which is designed specifically for connection to cameras [14]. The camera is compatible with all Raspberry Pi Models with CSI (Fig. 1.c). The hardware devices used in proposed system are shown in Fig. 1.

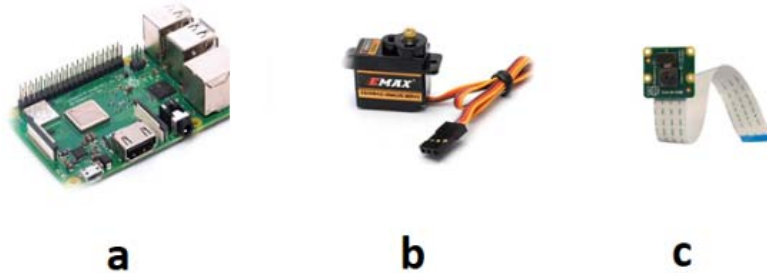


Fig. 1. Hardware (a: Raspberry Pi, b: Servo Motor, c: Picamera)

The drawing process was performed by drawing the objects detected using image processing together with the hardware described above and vector drawing in svg format for each object and json files created using the BrachioGraph library.

III. SOFTWARE TECHNOLOGIES

In the study, several libraries and frames were used to perform image processing and pencil drawing. TensorFlowLite framework and OpenCV library were used for image processing. The BrachioGraph library was used for drawing objects.

A. OpenCV

OpenCV is an open-source image manipulation library. It was started to be developed by Intel in 1999 and then the development process continues with the support of companies and communities such as Itseez, Willow, Nvidia, AMD, and Google. The first version, OpenCV alpha, was released in 2000. In the first place, it started to be developed with the C programming language and then many of its algorithms were developed with the C++ language. It is an open-source library and it is developed under a BSD license. OpenCV is a platform-independent library, so it can run on Windows, Linux, FreeBSD, Android, Mac OS, and iOS platforms [10].

B. TensorFlow Lite

TensorFlow Lite is an open-source deep learning library. It has a flexible structure and platform independence. It allows you to deploy calculations using one or more CPUs and GPUs with a single API. This framework, which was developed using Python, supports many languages such as Javascript, R, Swift as well as Python [9].

C. BrachioGraph

BrachioGraph is an easy-to-build pen plotter driven by a library of Python applications. BrachioGraphs leverages the open-source community and independently created community resources. These resources include videos and brachio.me [15], which is a web version of line drawing software used to vectorize images and 3D printed plotter components [11].

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The picamera connected to the Raspberry Pi becomes active and when the application is run, it starts to take the images around it. As soon as any of the previously defined objects are detected in the system, a svg and json file is created under the BrachioGraph library images folder of the detected object and then the drawing process is performed. In order that the camera does not detect more than one object at the time of the shooting, the first detected object falls directly to the system and the drawing process of that object is performed. To make the drawing quality better and more detailed, single photos of each object were uploaded to the system beforehand and each one was converted into svg extension. Fig. 2 show the flowchart of the proposed system.

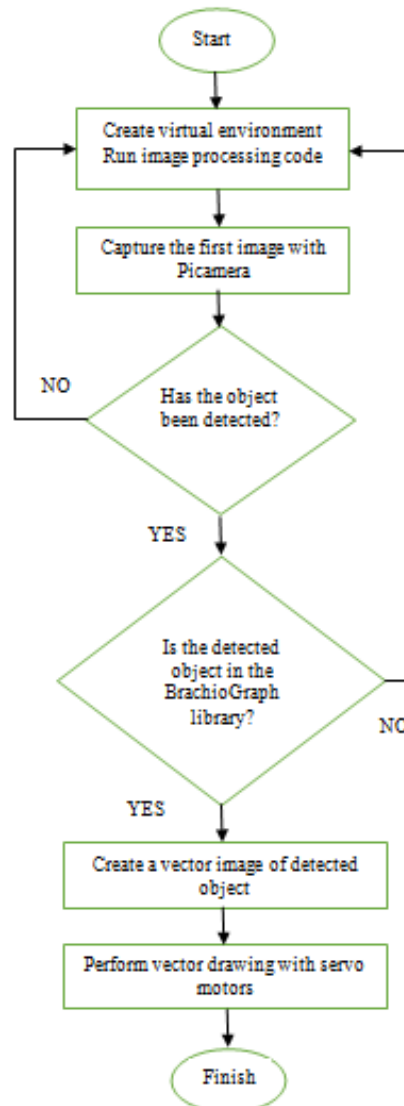


Fig. 2. Flowchart of the proposed system

The drawing machine of the proposed system is shown in Fig. 3. The distance between the centers of each servo motor in the drawing machine is set as 8 cm. Emax 12G Servo Motor is used in the drawing machine. It has been tested with the Tower Pro Servo Motor before, but due to the sensitivity adjustments, the correct result could not be obtained. Drawing machine components developed within the scope of this study are illustrated in Fig. 4.

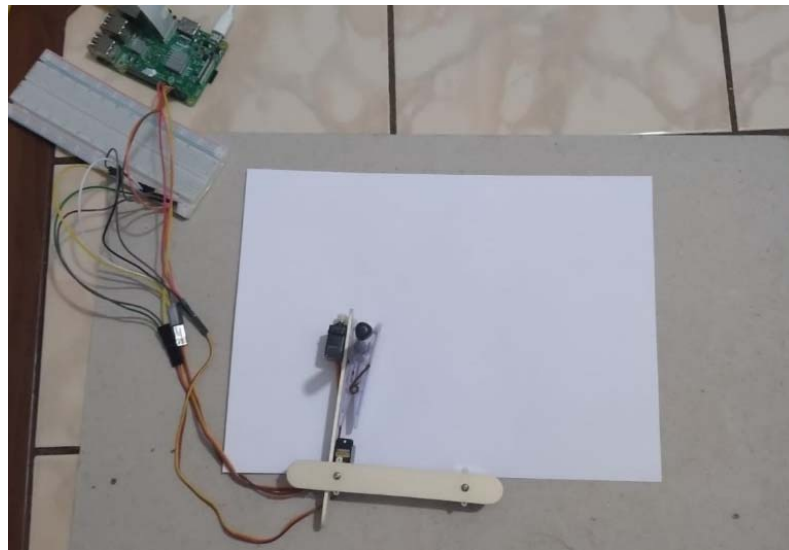


Fig. 3. The drawing machine of the proposed system

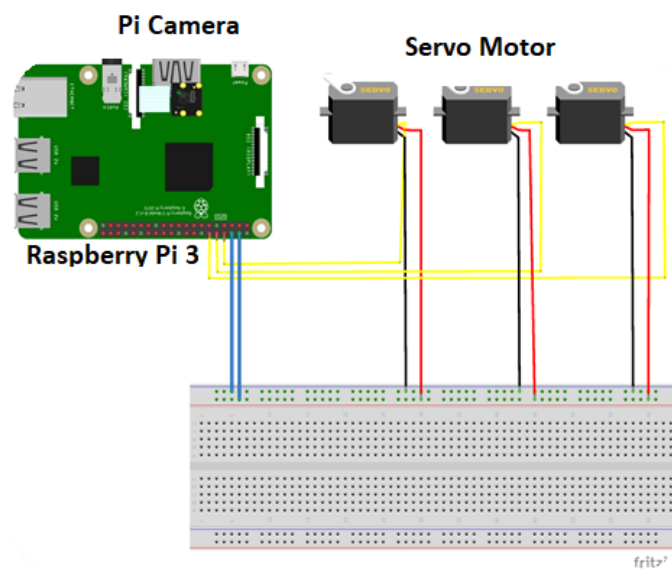


Fig. 4. The drawing machine components

The results of object detection are given in Fig.5. The reason why the object detection percentages in the results are low is due to the resolution of the picamera. Fig. 6 shows some

results of object detection (couch and book) and plotting operations obtained when the proposed system is run. Here, on the left of this figure, the screen from the picamera where objects are detected is shown. The figures in the middle belong to the pre-prepared vector drawings of the detected objects. In the visuals at the end of this figure, the results of the book and couch drawing are given.

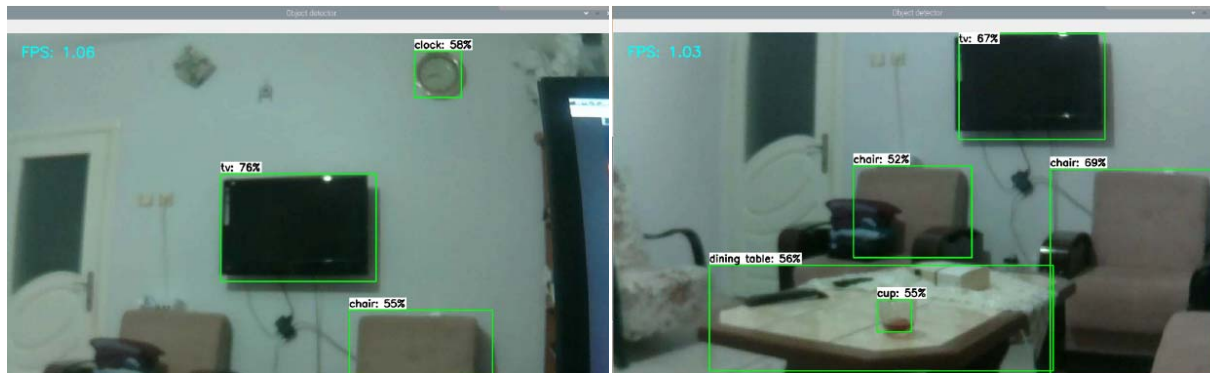


Fig. 5. Object detection results

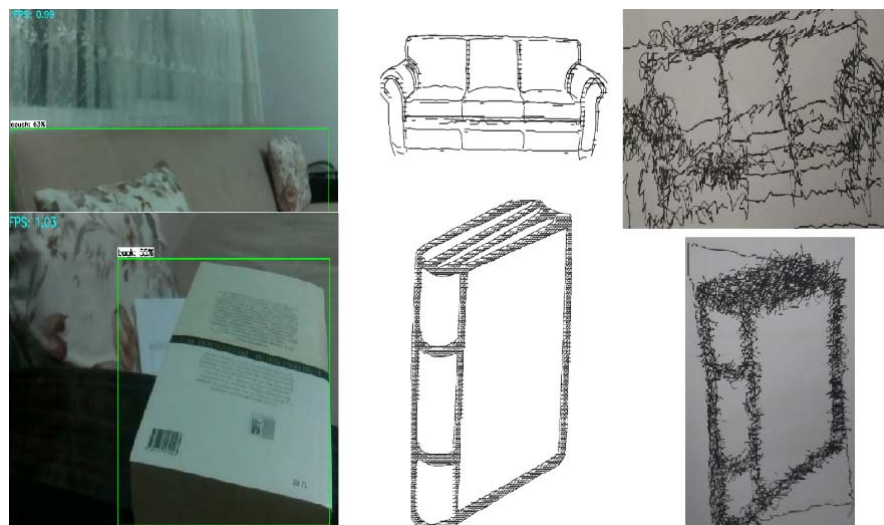


Fig. 6. The proposed system results (couch and book)

V. CONCLUSION

In this study, by installing TensorFlow and OpenCV libraries on Raspberry Pi, the process of defining nearly 200 objects in total was carried out. In order to make clearer and better quality vectorial and charcoal drawings of the defined objects, vector drawings of only the relevant objects were made under the BrachioGraph library. When an object is detected, the vector drawing of the detected object is drawn by the Drawing Machine assembled.

This study is a project open to development. While the study was carried out, the drawings were observed using Artline 0.1, Artline 0.05 and felt tip pen on the drawing machine. It was seen that the vectorial drawings drawn depending on the pen and ground difference may yield

different results and therefore the most appropriate calibration should be adjusted. The 9g Tower Pro was used as a servo motor at first. After the drawings, it was observed that these servo motors and drawings could not give highly accurate results and they are not suitable for such drawings. A drawing machine was developed with 12g Emax Servo motors to be used in this study. It has been observed that when drawing vectors depending on the ink of the pens, they sometimes bleed the ink and therefore draw more lines than usual.

In order to further develop this work and improve charcoal drawings, the calibration settings of the BrachioGraph library can be further adjusted, resulting in more accurate and sharp results. In addition to editing the calibration settings in future studies, it can be ensured that these drawn objects are identified by Raspberry Pi again to improve this work. Visual intelligence can be developed with mobile applications. For example, a mobile game can be created on a mobile platform to improve visual intelligence for children aged 3-6. In this mobile application, by offering children options for each photo, the accuracy rates of the identified objects can be compared, and the accuracy rates can be increased by writing new search and finding functions under the BrachioGraph library for calibration of low-known objects.

ACKNOWLEDGMENT

The paper titled "Raspberry Pi based Object Detection and Drawing" presented in this study was carried out in Bilecik Şeyh Edebali University, Computer Engineering Department, within the scope of the Graduation Thesis.

REFERENCES

- [1] RaspberryPi. <https://www.raspberrypi.org>.(Access Time:09.04.2021)
- [2] Raspberry_Pi. https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. (Access Time:09.04.2021)
- [3] Bornia J, Frihida A, Claramunt C. "Detecting objects and people and tracking movements in a video using tensorflow and deeplearning". In: 2020 4th International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (ICASET); 2020:213-218. doi:10.1109/IC_ASET49463.2020.9318253
- [4] Sanchez SA, Romero HJ, Morales AD. "A review: Comparison of performance metrics of pretrained models for object detection using the {TensorFlow} framework". {IOP} Conf Ser Mater Sci Eng. 2020;844:12024. doi:10.1088/1757-899x/844/1/012024
- [5] Othman NA, Salur MU, Karakose M, Aydın I. "An Embedded Real-Time Object Detection and Measurement of its Size". In: 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP). ; 2018:1-4. doi:10.1109/IDAP.2018.8620812
- [6] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. "Deep learning". Nature. 2015;521(7553):436-444. doi:10.1038/nature14539
- [7] Mehmood F, Ullah I, Ahmad S, Kim D. "Object detection mechanism based on deep learning algorithm using embedded IoT devices for smart home appliances control in CoT". J Ambient Intell Humaniz Comput. 2019. doi:10.1007/s12652-019-01272-8
- [8] Sanjana S, Sanjana S, Shriya VR, Vaishnavi G, Ashwini K. "A review on various methodologies used for vehicle classification, helmet detection and number plate recognition". Evol Intell. 2020. doi:10.1007/s12065-020-00493-7
- [9] Tensorflow. <https://www.tensorflow.org>. (Access Time:09.04.2021)
- [10] OpenCV. <https://opencv.org/about/>.(Access Time:09.04.2021)

Enerji Verimliliğinde Yalın Üretim Tekniklerinin Bayes Ağları Yöntemiyle İncelenmesi

Investigation of Lean Production Techniques in Energy Efficiency Using Bayes Networks

Zeynep Özkan *, İrem Düzdar Argun

*zeynepozkan98@gmail.com ORCID: 0000-0000-0000-0000

Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce

Özet Dünyada hızla gelişen teknolojiyle küresel rekabet ortamı artmaktadır. Bu rekabete ayak uydurmak için firmalar sürekli gelişmeli ve her türlü israfı ortadan kaldırmalı, üretim ya da hizmet sektörü olarak müşterilerin isteklerini, düşük maliyet ve kısa teslim süresinde ve istenen kalitede, daha fazla çeşide sahip ürünlerden küçük miktarlarda verilen ve anlık olarak değiştirilen siparişlere uyum sağlamak zorundadır. İşte tüm bunları sağlayan Yalın Üretim'dir. Dünyada hızla gelişen teknolojiyle firmaların enerji ihtiyacı da artmaktadır. Firmaların enerjiye ihtiyacı artmasıyla enerjinin en iyi ve en uygun nasıl kullanılacağına dair birçok çalışmalar yapılmıştır. Burada en iyi ve uygun nasıl kullanılacağı ifadesi ile anlatılmak istenen verimliliklerdir. Böylece enerji verimliliği kavramı ortaya çıkar. Enerji verimliliği, ürün ve hizmetlerin sağlanması için gereken enerji miktarını en etkin şekilde kullanılması olarak ifade edilebilir. Yalın üretimde amaçlanan her türlü israfın ortadan kaldırılmasıyla enerji verimliliği sağlanır. Ve yalın üretim kavramlarıyla enerji verimliliğinin bir araya gelmesiyle yalın enerji kavramı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın amacı yalın üretim ile enerji verimliliği konusunda beraber yol çizebilmek ve bu iki konu arasındaki ilişkilerin, birbirine bağlı olarak olasılık anlamında nasıl değiştiğini Bayes ağ yöntemiyle saptanmasıdır. Yalın Üretim genel hatlarıyla açıklanmaya çalışılmış ve tekniklerinde bahsedilmiş ve enerji verimliliği yalın üretim özelinde incelenmiştir. Bu çalışmada Bayes Ağları Yöntemi kullanılmıştır. Bayes ağları modelde bulunan değişkenleri, değişkenlerin birbiri üzerindeki etkilerini ve bunlara ait olasılık durumlarını inceleyen ve senaryo analizleri yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Literatür araştırılması yapılarak değişkenler belirlenmiş, Bayes ağları yöntemiyle modellenmiş ve senaryo analizleriyle bulunan çözüm alternatiflerini analiz edilmiş ve duyarlılık analizleriyle kurulan modeldeki bazı değişkenlerin değişimi üzerinden modelin duyarlılığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalın Üretim, Enerji Verimliliği

Abstract: The global competition is increasing because of the fast technological developments. To survive in these competitive conditions, the firms have to flourish continuously and minimize their wastes. The customer orders must be delivered in as short as possible times, at desired qualifications and minimum costs. The producers have to follow the orders which frequently changing and having small amounts of various types of goods. These new customer demands can be satisfied by lean manufacturing method. The energy needs of the manufacturing companies are increasing because of the fast technological developments. Many of the researches are performed to explore the better and optimal energy consumption. One of the results of these

studies is the energy efficiency concept. The energy efficiency can be defined as the consuming the energy in most proper way to produce the goods and services. In lean manufacturing all wastes are diminished to obtain energy efficiency. The lean energy concept consists with the relating lean manufacturing and the energy efficiency. The aim of this study is to draw a common road map to integrate the lean manufacturing and energy efficiency and to state the probability of changes in relation with the other by Bayesian Network Method. The lean manufacturing is defined generally, its methods are discussed and the energy efficiency is analyzed in the sense of lean manufacturing. Bayesian Networks Method is employed in this study. Bayesian Networks method obtains to analyze the variables of the model, the interactions of them and their possibilities to do scenario analyses. The variables are determined by literature review, modelled with the Bayesian Networks and the alternative solution proposals are analyzed with the scenario analyses. Then the sensitivity of constructed model is determined through the changes of some variables of the model with the sensitivity analyses.

Keywords: *Lean Production, Energy Efficiency*

I. GİRİŞ

Küreselleşen dünyada artan ve gelecekte de artışını sürdüreceği öngörülen enerji ihtiyacının karşılanmasına ve enerjinin en iyi ve en uygun nasıl kullanılacağına dair yönelik birçok çalışma yapılmakta ve tartışma sürdürülmektedir. Enerjinin güvenilir bir şekilde, zamanında, kesintisiz ve aynı zamanda çevreye uyumlu kullanılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları kullanılabilirliği gibi, önem verilmesi gereken diğer bir yöntem; enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Enerji birçok firma için ana girdi konumundadır. Artan rekabet ortamında varlığını sürdürmek isteyen firmaların enerji ve enerji verimliliği üzerine çalışma yapmaları gerekmektedir. Enerji verimliliğini artırmak için yapılan çalışmalar, maliyetli ve birden fazla seçeneğe sahip olabilirler. Böyle bir durumda, her bir seçeneğin firmalara etkisinin belirlenmesi ve bu etkilere göre tercih yapılması gerekmektedir. Bunun için Bayes ağlarının kullanılması hem maliyet açısından hem de seçeneklerin değerlendirilmesi açısından etkili bir çözüme ulaşılmasını sağlamaktadır. Bayes ağları, belirsizlik ortamında karar verilmesini gerektiren durumlarda etkili bir araçtır. Eksik veriye sahip olunması durumunda da etkili bir şekilde çalışabilmektedir. Firmaların geçmiş verileriyle konu hakkında uzmanların değerlendirmelerini kullanabilen ve belirlenen değişkenleri, değişkenlerin birbiri üzerindeki etkilerini ve bunlara ait olasılık durumlarını inceleyen ve senaryo analizleri yapılmasını sağlayan bir yöntemdir.

Enerji verimliliği mal ve hizmet üretmek için kullanılan enerji miktarını azaltma ve etkin bir şekilde kullanmaktır. Dünyada enerji verimliliğinin iyileştirilmesi yönündeki ilk çalışmalar 1970'li yıllarda başlamıştır. Türkiye'de enerji verimliliği yönündeki ilk çalışmalar 1981 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır [1].

Sistem etkinliğini sürekli artırmak amacına dayanan Yalın Üretim ilk olarak 1950'lerde, II. Dünya Savaşı sonrası Japonya'da, Henry Ford'un yığın üretim sisteminin ardılı olarak Toyota firmasından Kiichiro Toyoda ve Taiichi Ohno tarafından geliştirilmiştir [2].

Yalın Üretim, fazla üretim, stok, gereksiz işlem, bekleme, taşıma, gereksiz hareket, hatalı üretim ve değer katmayan her faaliyeti sıfırlamaya çalışıp mükemmelliği hedef almaktadır [3].

Yalın Üretim, değer, değer akışı, akış, çekme ve mükemmelliği ilke edinmiştir. Bu ilkelerin uygulanabilmesi için JIT, Kanban, 5S, SMED, Tek Parça Akışı, U Tipi Üretim Hatları Ve Hücresel İmalat, Kaizen, Poka-Yoke, Toplam Üretken Bakım, Toplam Kalite Yönetimi, Heijunka, Shojinka, Jidoka gibi birçok tekniği bulunmaktadır [4].

Yalın Enerji, yalın anlayışın temel odak noktası olan üretimde değer katmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılmasıdır. Bu anlayış ve yalın üretim teknikleri kullanılarak enerji verimliliği sağlanabilir. Bu iki konunun kesişimi olan noktada yalın enerji kavramı karşımıza çıkmaktadır. Yalın enerji, enerji kullanımının verimli hale getirilmesidir [5].

II. LİTERATÜR TARAMASI

Şenol ve Akman yaptıkları çalışmada imalat işletmelerinde enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufun sağlanması için yapısal eşitlik modeli ile incelenmiştir. Enerji verimliliği ile eğitim, denetim ve yönetim arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır [6].

İslatince ve Haydaroglu yaptıkları çalışmada Türkiye'deki enerji kaynakları ve enerji yoğunlukları incelenmiştir. Türk sanayisinin alt dalları enerji verimliliğini analiz yapılmış ve sanayi sektöründe enerji verimliliğini arttırmak için çözüm önerileri sunulmuştur [7].

Albayrak'ın yaptığı çalışmada bir soğutucu fabrikasında enerji verimliliğini sağlamak için enerji tüketiminin fazla olduğu süreçlerin değerlerinin düşürülmesi amaçlamıştır. Çalışmada Bayes ağları yöntemi kullanılmıştır. Enerji tüketimi problemi için en iyi çözümün makine verimliliğini arttırmak olduğu sonucuna varılmıştır [8].

Keskin ve diğerlerinin yaptığı çalışmada kaplı yonga levha yapan bir fabrikada enerji israflarını önlemeyi ve enerji verimliliğinin artırılmasını sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmada Bayes ağları yöntemi kullanılmıştır. Enerji verimliliği artırılmasının sağlanması için en iyi çözümün teknoloji iyileştirmeleriyle olacağı sonucuna varılmıştır [9].

Akçaoğlu'nun yaptığı çalışmada çamaşır makinesi üretimi yapan bir fabrikanın darboğaz problemlerinin çözülmesini amaçlamıştır. Çalışmada Bayes ağları yöntemi kullanılmıştır. Serigrafi alanındaki darboğazın çözümü için malzemede değişiklik yapılması, süreçlerde değişiklik yapılması, üretim yalınlaştırma çalışmaları yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır [10].

Halldórsson ve diğerleri yaptıkları çalışmada Yalın ve enerji verimliliği uygulamalarının entegrasyonunu incelemek ve bu entegrasyonun pratik örneklerini sağlamayı amaçlamışlardır. Yalın ve enerji verimliliğinin entegrasyonu, yalın yönetim ve takım çalışması ve sürekli iyileştirme gibi kalite yönetiminin temel ilkeleri aracılığıyla etkin bir şekilde açıklanabildiği sonucuna varılmıştır [11].

Dereli'nin yaptığı çalışmada tedarikçi seçim ve değerlendirme süreçlerinde, tedarik zincirinin etkinliğini olumsuz etkileyecek etkenlere bağlı riskleri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada Bayes ağları yöntemi kullanılmıştır. Farklı senaryolara göre risk durumlarının gerçekleşme olasılıklarının çok düşük çıkmaması firmaların tedarikçilerini en iyi şekilde seçmeleri durumunda bile tedarik riskleriyle karşılaşabilecekleri sonucuna varılmıştır [12].

III. METODOLOJİ VE UYGULAMA

A. Bayes Ağları

Aralarında belirsiz bir olasılık ilişkisi bulunan durumları modellemeye olanak sağlayan bir sistemdir. İstenilen değişkenleri ve bu değişkenler arasındaki niteliksel ilişkileri açıklayan grafik gösterimi ile nicel yönden olasılıksal ilişkileri açıklayan ve inceleyen bir modelleme sistemidir [8].

Bayes Teoremi üzerine kurulmuş olasılık içeren ağlardır. Bayes ağları yaklaşımında geçmişte yaşanmış olayları, eski bilgileri ve tecrübeleri kullanıp analiz ederek gelecekte yaşanabilecek olaylar için çıkarım yapılabilmesine olanak sağlar. Uzmanların değerlendirilmelerine bağlı olasılık değerlerini içerir. Eldeki verilerin eksikliğinde veya kesin olamadığı durumlarda da kullanılabilir. Değişkenler arası sebep sonuç etkileşimleri ve seçilen değişkenler sistemin bütününde etkilidir ve en ufak bir değişiklik sistemin bütününe etkiler.

Bayes Teoremi İngiliz matematikçi Thomas Bayes tarafından geliştirilmiştir. Temel olarak olasılık dağılımlarını ifade eden, matematiksel bir ifadedir. Birbiri ile ilişkili olan durumları göstermeye yarar. Bayes kuralının en basit şekilde matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [8].

$$P(B/A) = \frac{P(A \setminus B) * P(B)}{P(A)} \quad (1)$$

Denklemden A ve B olarak belirtilen iki farklı olay olarak ifade edilebilir. P ise olasılığı belirtir. Denklemlerdeki ifadeler ek olarak olasılık ile alakalı temel bilgiler de aşağıda belirtilmiştir.

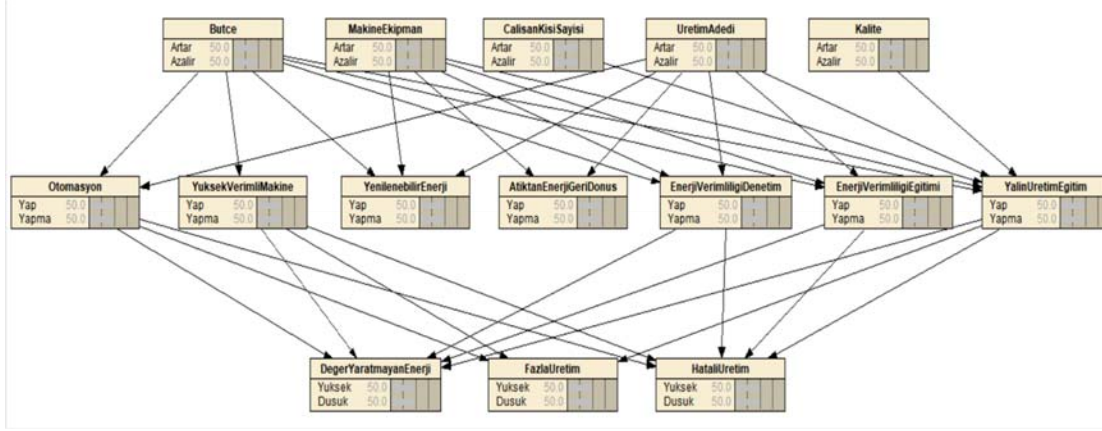
P(A): A olayının meydana gelme olasılığı

P(B): B olayının meydana gelme olasılığı

P(A \setminus B): B olayının gerçekleştiği durumda A olayının gerçekleşme olasılığı

B. Uygulama

Bayes ağları yönteminde model oluşturulabilmesi için değişkenler yapılan literatür araştırması sonucunda belirlenmiştir. Kaynak Değişkenleri: Bütçe[8;10], Makine/Ekipman[8;10], Çalışan Kişi Sayısı[8], Üretim Adedi[8], Kalite[8;12]. Çözüm Alternatifleri Değişkenleri: Otomasyon[6], Yüksek Verimli Makine Kullanımı[8], Yenilenebilir Enerji Kullanımı[7], Atıktan Enerji Geri Dönüş Sistemleri[9], Enerji Verimliliği Denetim Mekanizması[7], Enerji Verimliliği Eğitimleri[6;11], Yalın Üretim Eğitimleri[6;11]. Darboğaz Değişkenleri: Değer Yaratmayan Enerji Kullanımı[9], Fazla Üretim/Stok[10], Hatalı Üretim[9]. Belirlenen değişkenlerin birbiriyle ilişkileri elde edilebilmesi için uzmanların değerlendirilmesiyle ilişki matrisinden yararlanılmıştır. Elde edilen modelin çözülmesini sağlayacağı NETICA programına olasılık verileri olmadan girilmiş aşağıdaki Şekil 1'de görülmektedir. Bu aşamanın tamamlanmasından sonra olasılık değerlerini elde etmek için uzmanlarla anket çalışması yapılmıştır. Anket üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda kaynak değişkenleri değerlendirilmiştir. İkinci kısımda kaynak değişkenlerine bağlı olarak çözüm alternatifleri değişkenleri değerlendirilmiştir. Üçüncü kısımda ise çözüm alternatiflerine değişkenlerine bağlı olarak darboğaz değişkenleri değerlendirilmiştir.



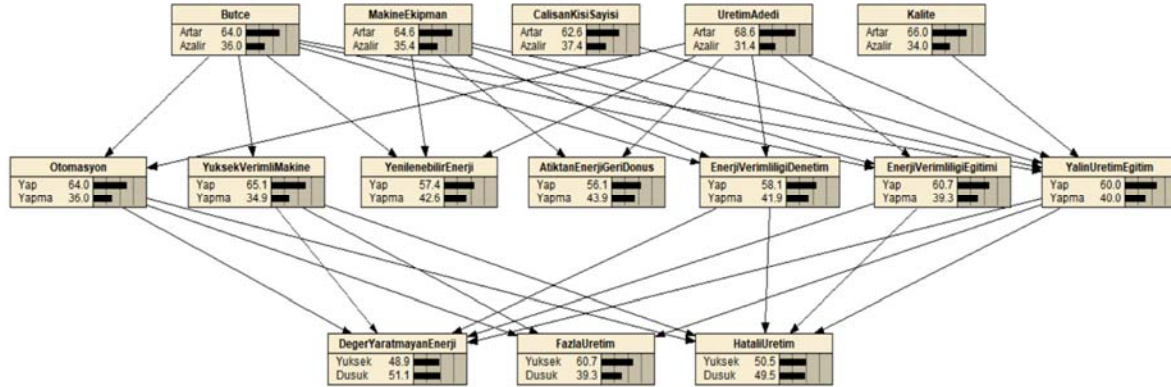
Şekil 1. Bayes ağ modelinin NETICA görünümü.

1) Senaryo Analizleri

Tüm anket işlemlerinin tamamlanmasından sonra anket değerleri NETICA'ya aktarılmıştır.

Mevcut Durum Senaryosu

Senaryoda uzmanlarla yapılan anket sonuçları kullanılarak mevcut durum değerlendirilmiştir. Aşağıda mevcut durum NETICA'dan elde edilen sonuçlar Şekil 2'de görülmektedir.

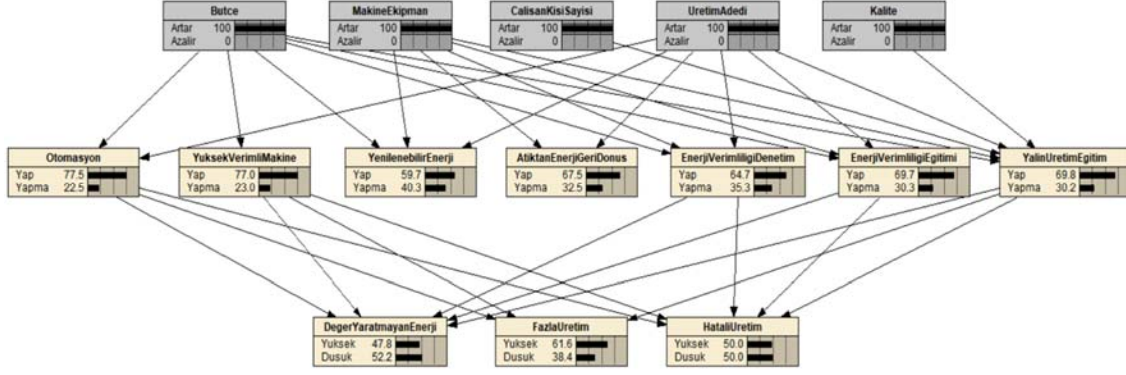


Şekil 2. Mevcut durum NETICA modeli.

Mevcut durum senaryosunda en yüksek yapılma olasılığına sahip çözüm alternatifinin yüksek verimli makine kullanımı değişkeni, en düşük yapılma olasılığına sahip çözüm alternatifinin atıktan enerji geri dönüş sistemleri değişkeni olarak belirlenmiştir. Çözüm beklentisi en yüksek olan darboğazın fazla üretim/stok değişkeni olarak belirlenmiştir.

En İyi Durum Senaryosu

Bu senaryoda kaynaklar için en iyi durum senaryosu yapılmıştır. Tüm kaynak değişkenlerinin artar olasılıkları %100 olarak alınmıştır. Aşağıda en iyi durum NETICA'dan elde edilen sonuçlar Şekil 3'de görülmektedir.

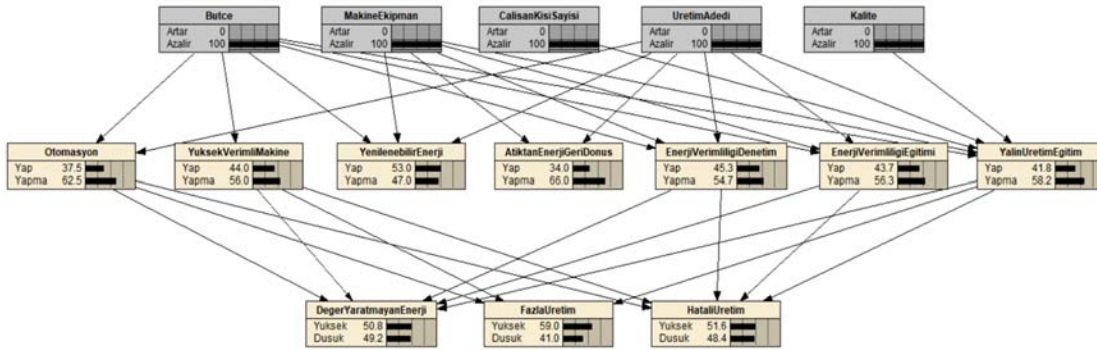


Şekil 3. En iyi durum NETICA modeli.

En iyi durum senaryosu sonucunda çözüm alternatiflerinden en fazla değişim gösteren değişkenin otomasyon olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek 'yap' olasılığına sahip çözüm alternatifinin de otomasyon değişkeni olmuştur. Darboğazlardan en fazla değişim gösteren değişkenin değer yaratmayan enerji kullanımı olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek çözüm beklentisi olasılığına sahip darboğazın ise fazla üretim/stok değişkeni olmuştur.

En Kötü Durum Senaryosu

Bu senaryoda kaynaklar için en kötü durum senaryosu yapılmıştır. Tüm kaynak değişkenlerinin 'azalır' olasılıkları %100 olarak alınmıştır. Aşağıda en kötü durum NETICA'dan elde edilen sonuçlar Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. En kötü durum NETICA modeli.

En kötü durum senaryosu sonucunda çözüm alternatiflerinden en fazla değişim gösteren değişkenin otomasyon olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek 'yap' olasılığına sahip çözüm alternatifinin yenilenebilir enerji kullanımı değişkeni olmuştur. Darboğazlardan en fazla değişim gösteren değişkenin değer yaratmayan enerji kullanımı olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek çözüm beklentisi olasılığına sahip darboğazın ise fazla üretim/stok değişkeni olmuştur.

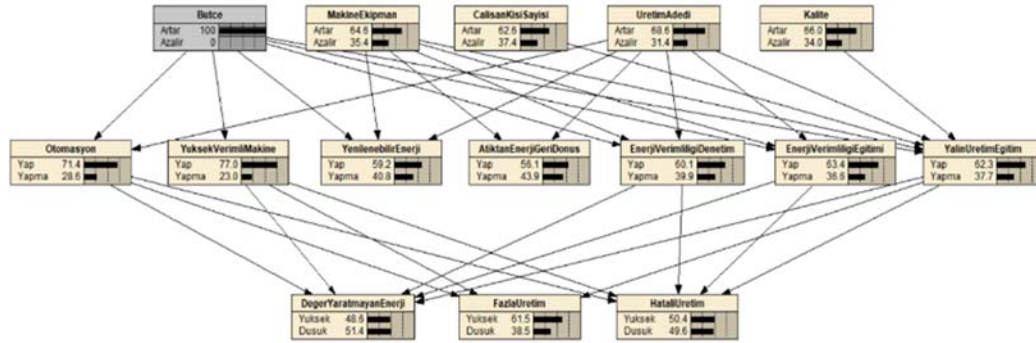
2) Duyarlılık Analizleri

Bazı değişkenlerin değişiminin model üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Her değişken grubundan bir değişken seçilmiştir. Seçilen değişkenler; bütçe, yalın üretim eğitimleri, değer yaratmayan enerji kullanımıdır. Duyarlılık analizinde, seçilen değişkenin değerleri değiştirilirken, diğer değişkenlerin değerleri mevcut durum değerleri olarak

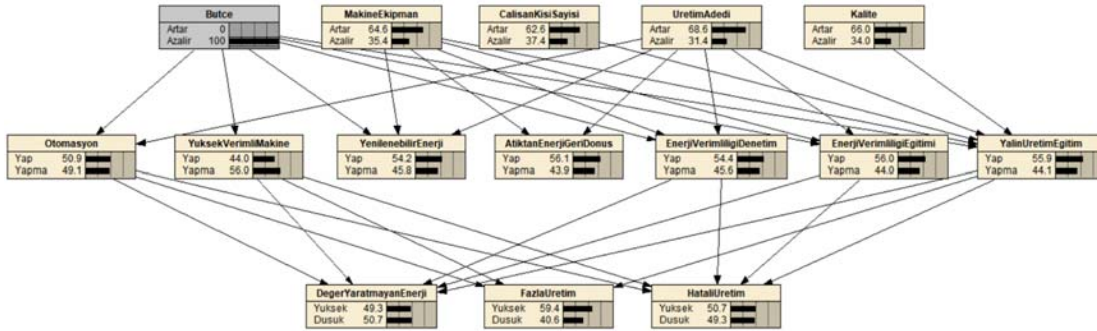
sabit kalacaktır.

Bütçe Duyarlılık Analizi

Bütçe duyarlılık analizinde bütçenin iki durumu için analiz yapılmıştır. İlk durumda bütçenin artma olasılığı %100 olarak alınmıştır. Şekil 5’de görülmektedir. Diğer durumda ise bütçenin azalma olasılığı %100 olarak alınmıştır. Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 5. Bütçe artar durumu için NETICA modeli.

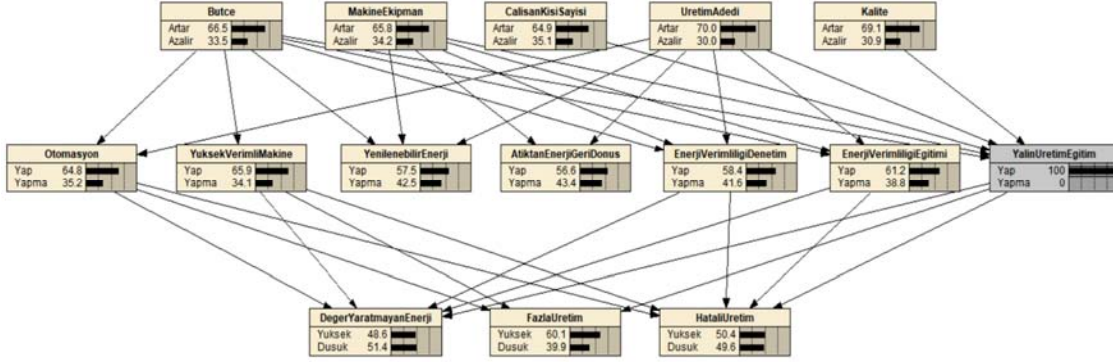


Şekil 6. Bütçe azalır durumu için NETICA modeli.

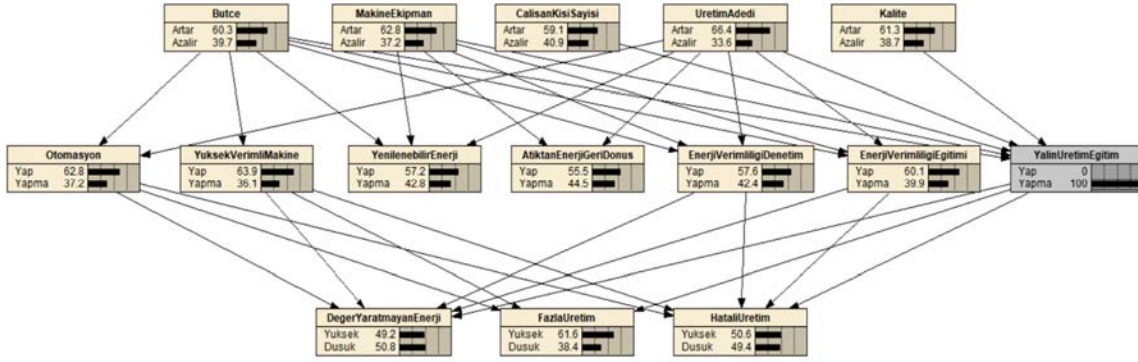
Genel olarak bütçenin artışıyla çözüm alternatifleri değişkenleri artış göstermiştir. Bütçenin artışından en çok etkilenen çözüm alternatifi değişkeni yüksek verimli makine kullanımı, darboğaz değişkeni ise fazla üretim/stok olduğu görülmüştür.

Yalın Üretim Eğitimleri Duyarlılık Analizi

Yalın üretim eğitimleri duyarlılık analizinde yalın üretim eğitimlerinin iki durumu için analiz yapılmıştır. İlk durumda yalın üretim eğitimleri yap olasılığı %100 olarak alınmıştır. Şekil 7’de görülmektedir. Diğer durumda ise yalın üretim eğitimleri yapma olasılığı %100 olarak alınmıştır. Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 7. Yalın üretim eğitimleri yap durumu için NETICA modeli.

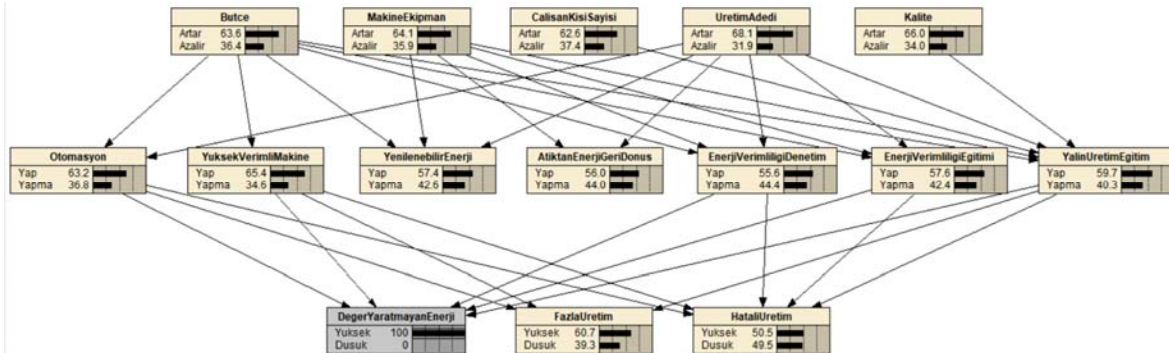


Şekil 8. Yalın üretim eğitimleri yapma durumu için NETICA modeli.

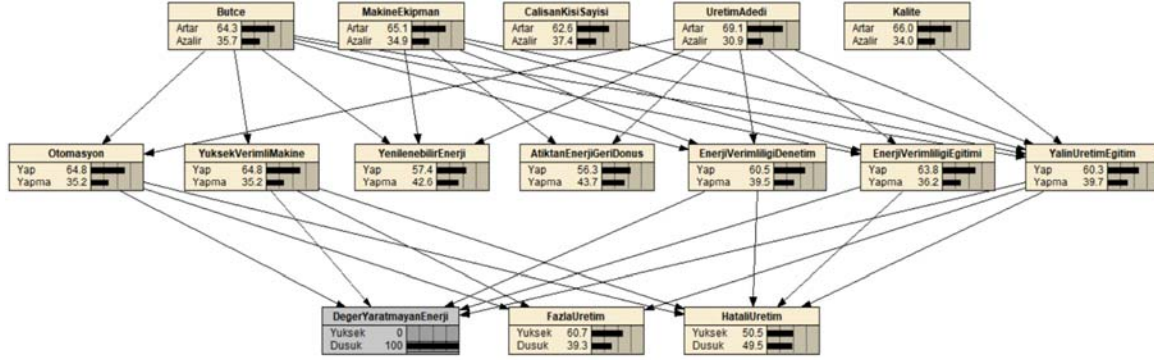
Genel olarak kaynaklarda az bir değişim görülmüştür, yalın üretim eğitimleri yapılmasından en çok etkilenen darboğaz değişkeni fazla üretim/stok olduğu görülmüştür.

Değer Yaratmayan Enerji Kullanımı Duyarlılık Analizi

Değer yaratmayan enerji kullanımı duyarlılık analizinde değer yaratmayan enerji kullanımı iki durumu için analiz yapılmıştır. İlk durumda değer yaratmayan enerji kullanımı sorunun çözülmesi için yüksek olasılığı %100 olarak alınmıştır. Şekil 9'da görülmektedir. Diğer durumda değer yaratmayan enerji kullanımı sorunun çözülmesi için ise düşük olasılığı %100 olarak alınmıştır. Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9. Değer yaratmayan enerji kullanımı yüksek durumu için NETICA modeli.



Şekil 10. Değer yaratmayan enerji kullanımı düşük durumu için NETICA modeli.

Genel olarak kaynaklarda az bir değişim görülmüştür, değer yaratmayan enerji kullanımı sorunun çözülmesi için yüksek durumunda en çok etkilenen çözüm alternatifi değişkeninin enerji verimliliği eğitimleri olduğu görülmüştür.

IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada kaynakların belirlenmesi, çözüm alternatiflerinin seçilmesi ve darboğazların tespit edilmesi ve uzmanların değerlendirmesiyle model oluşturulmuştur. Modelin Bayes ağırları kullanılarak yapılan senaryo analizleriyle sonuçlar elde edilmiştir. Duyarlılık analizleriyle kurulan modeldeki bazı değişkenlerin değişimi üzerinden modelin duyarlılığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada elde edilen mevcut durum çözüm alternatifleri sonuçlarının hepsinin yapma olasılıkları %55 değerinin üzerine çıkmıştır. Bu durumda en iyi çözüm alternatifinin %65,1 değeri ile yüksek verimli makine kullanımı olduğu görülmektedir. Çözülme beklentisi en yüksek olan darboğaz olasılığı ise %60,7 değeri ile fazla üretim/stok olarak bulunmuştur. %50,5 olasılığı ile çözülme beklentisi ikinci en yüksek olan darboğaz hatalı üretim, %48,9 olasılığı ile çözülme beklentisi en düşük olan darboğaz değer yaratmayan enerji kullanımı olarak bulunmuştur.

Çalışmada yapılan en iyi durum senaryosunda kaynakların artmasıyla %77,5 olasılık ile otomasyon yapılması ve en kötü durum senaryosunda kaynakların azalmasıyla %53 olasılık ile yenilenebilir enerji kullanımı yapılması gerektiği öngörülmüştür. Ayrıca en iyi durum senaryosu ve en kötü durum senaryosu sonucunda çözüm beklentisi en yüksek olan darboğaz fazla üretim/stok olduğu sonucuna varılmıştır.

Daha iyi sonuçlara ulaşmak için değer akış haritalama tekniği kullanılarak bir firmada uygulama yapılabilir. Bayes ağı yapısındaki değişkenlerin sayısı arttırabilir, değişkenler için farklı seçenekler eklenebilir ve değişkenler için daha fazla ve farklı uzmanların değerlendirilmeleri alınabilir, bu sayede çalışma daha kapsamlı olur.

KAYNAKLAR

- [1] Makina Mühendisleri Odası. "Dünyada Ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu." (2008).
- [2] David L. Goetsch, Stanley Davis, Toplam Kalite Yönetimi, (2016), Pp. 384-416.

- [3] Terzi, Serkan, And Metin Atmaca. "Yalın Üretim Sistemi Açısından Değer Akış Maliyetlemesinin İncelenmesi." Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 16.3 (2011): 449-466.
- [4] Kılıç, Alper, And Berk Ayvaz. "Türkiye Otomotiv Yan Sanayinde Yalın Üretim Uygulaması." (2016).
- [5] Kissock, J. Kelly, And John Seryak. "Lean Energy Analysis: Identifying, Discovering And Tracking Energy Savings Potential." (2004).
- [6] Şenol, Leyla, And Gülşen Akman. "İmalat İşletmelerinde Enerji Verimliliğinin Yapısal Eşitlik Modeli İle İncelenmesi." Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 7.2: 205-215 (2019).
- [7] İslatince, Hasan, And C. Haydaroglu. "Türk İmalat Sanayinde Enerji Verimliliği Ve Yoğunluğunun Analizi." Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 24 (2009).
- [8] Albayrak, Kazım Onur. Enerji Verimliliğinde Yalın Yöntemlerin Uygulanması: Soğutucu Fabrikasında Bir Uygulama. Diss. Enerji Enstitüsü, (2019).
- [9] Keskin, Cem. "Endüstriyel Enerji Verimliliği Çalışmalarında Değer Akış Haritalarının Kullanımı." Diss. Enerji Enstitüsü, (2013).
- [10] Akçaoğlu, Özcan. Değer Akış Haritalarında Belirlenen Darboğazların Çözümü İçin Bayes Ağları İle Senaryo Üretimi: Çamaşır Makinası Fabrikasında Bir Uygulama. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).
- [11] Halldórsson, Árni, Et Al. "Lean Energy: Turning Sustainable Development Into Organizational Renewal." Sustainability 10.12 (2018): 4464.
- [12] Dereli, Azize. Tedarik Riskleri Altında Tedarikçi Seçiminin Bayes Ağlarıyla Modellenmesi. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).

Deep Learning Based Mask Detector for Coronavirus

Betül Yılmaz¹, Vedat Marttin^{*2}, Uğur Yüzgeç¹

^{*}vedat.marttin@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5173-2349

¹ Department of Computer Engineering, Bilecik Seyh Edebali Univesity, Bilecik, Turkey

² Bilecik Seyh Edebali Univesity, Bilecik, Turkey

Abstract Coronavirus (Covid-19), which appeared in December 2019, affected all countries in the world and was declared a pandemic by the World Health Organization (WHO). Covid-19 virus affects people through transmission. There are some guidelines to reduce the risk of contamination. The most important of these principles is the use of masks. As in all over the world, some restrictions have been imposed in our country to control the Covid-19 virus. Curfew restrictions were introduced firstly in order to minimize the risk of contamination and to control the patient density in the hospital. After a certain period of time, the restrictions were eased and "controlled life with mask" system was adopted. It has been made mandatory to use masks in the community in a controlled life order. It is forbidden for people without masks to be in an environment.

In this study, a deep learning project has been developed that detects whether there is a mask on a human face. A mask detector has been created with computer vision. We used OpenCV library for image processing, and Keras/Tensorflow API for deep learning model. The deep learning model is used as Convolutional Neural Network (CNN). The developed mask detector detects the human face from the computer camera and warns of "there is a mask" or "there is no mask". For the training and test of the proposed system, a data set has been created. Photographs of people whose permissions were obtained were used as the dataset. In the result of this study, it was observed that the masked and unmasked photographs were successfully detected in the trained dataset. It is thought that better results will be obtained by enriching the dataset in future studies.

Keywords: Deep learning, Mask detection, Image processing, Machine learning, CNN.

I. INTRODUCTION

The New Coronavirus Disease (Covid-19) is an infectious and deadly disease that first appeared in China in December 2019. It affected the whole world and declared a pandemic by the World Health Organization as a result of the rapid spread of the disease. Globally, as of 3:46pm Central European Summer Time (CEST), 16 April 2021, there have been 138.688.383 confirmed cases of Covid-19, including 2.978.935 deaths, reported to WHO. As of 14 April 2021, a total of 751.452.536 vaccine doses have been administered [1]. In Turkey, from 3 January 2020 to 3:46pm CEST, 16 April 2021, there have been 4.086.957 confirmed cases of Covid-19 with 35.031 deaths, reported to WHO. As of 14 April 2021, a total of 18.494.796 vaccine doses have been administered [1]. The virus is transmitted from person to person by inhalation of droplets scattered by the sick person's coughs and sneezes. There are some guidelines to reduce the risk of contamination and to prevent it. The main ones are: Hand

hygiene should be cared for, and contact with the mouth, nose, and eyes should be avoided until hands are cleaned. The distance that may be at risk of contamination with the sick individual should be maintained. People should not be found without masks in society [2].

Covid-19 virus is mostly caused by the sick person; it is known to be transmitted by coughing, sneezing, and droplets from the mouth and nose during speech. It has been proven that the risk of Covid-19 transmission is reduced by wearing a mask correctly. Wearing the mask, which is one of the most basic principles, has been made compulsory in some countries[1,2]. In our country, "controlled social life" has been adopted in the recent past and it has been forbidden to be in the society without wearing a mask. For example, you cannot enter a market, greengrocer, store, barber or shopping center without a mask. It is mandatory to wear a mask even on the street. With this prohibition, it has become very important in societies whether people wear their masks correctly or not [2].

The aim of this study is to determine whether people wear their masks correctly or incorrectly during the pandemic period. A data set that consisting of masked and unmasked photographs was created and they used in training and test of a deep learning model. In this study, firstly, the human face is detected and then, the mask information is displayed on the screen. It was tried to reduce the risk of contamination in crowded environments with this study. OpenCV[3] library for image processing and Tensorflow[4] / Keras[5] library for deep learning model were used in the study.

II. MATERIALS AND METHODS

In this study, we utilized machine learning, computer vision, image processing and deep learning technique. The information about these methods is given below.

A. Image Processing and OpenCV

Image processing is a method developed to digitalize the image and perform some operations, to obtain specific images or to extract some useful information from it. The input of this method is an image such as a video or a photo. The output is the desired part of the image that needs attention. Generally, the image processing system handles images in two dimensions while applying predetermined Signal Processing methods.

The purpose of image processing can be briefly divided into five groups. This groups are "visualization" (observing hard-to-see objects), "image sharpening / restoration" (enhancing noisy images), "image acquisition" (interesting and high-resolution image search), "pattern recognition" (identifying various objects in an image) and "image recognition" (distinguishing objects in an image)[6–8].

Face recognition is one of the most used image processing branches in our country and in the world. In the face recognition process, the specific features of human faces are taught to the machine by following the deep learning methodology [8–12]. The metric features for forming the face shape can be defined as the distance between the two eyes and the shape of the average human face. After the criteria specific to human faces are taught to the machine, the machine accepts all objects similar to the same shape in the image as a face.

The mask detection is performed in this work with object recognition, which is one of the purposes of image processing. In order to detect the mask, it is necessary to determine the human

face and to check whether the mask on the face is present or not. The control process is done instantly from the computer camera. OpenCV [3] library was used for this purpose.

OpenCV [3] is successfully used in detecting and identifying faces and objects, tracking and detecting moving objects in the camera. In this study, it was preferred because the mask on the face will be detected. The region of the face has been framed thanks to OpenCV [3]. At the same time, the OpenCV [3] library supports TensorFlow[4] deep learning technology.

B. Deep Learning

It is an artificial intelligence method that uses multi-layered artificial neural networks in areas such as deep learning, object recognition, speech recognition, natural language processing, and is one of the types of machine learning[8,10,13–15]. Instead of learning with rules coded unlike traditional machine learning methods; it can be learned automatically from the data symbols of pictures, videos, sounds and texts.

Deep learning structures enable them to design, train and verify artificial neural networks using advanced programmed interfaces. In this work, Keras[5] and TensorFlow[4] were used as deep learning libraries. MobileNet [9,16,17] deep learning model is provided ready-made by Keras[5]. TensorFlow[4] which is an interface for expressing machine learning algorithms, is used in sentiment analysis, voice recognition, text summarization, information retrieval etc. used in many computer science. It is a mathematical calculation library used to train and build the model. Keras[5] is a neural network interface and is a software library with Python[18]. It works with TensorFlow[4], which facilitates deep learning. MobileNetV2 [9,16,17] architecture was used to continue training the trained model and to fine-tune the model.

C. Machine Learning

Machine learning, which is a sub-branch of artificial intelligence, is a discipline that provides the ability of systems to learn and develop automatically from data or experiences. Machine learning focuses on the development of computer programs that can access data and use it to learn.

The machine that learns the data in the training data with certain algorithms can then make its own decision. Machine learning is closely related to computational statistics that focus on making predictions using computers. Mathematical optimization study offers methods, theory and application areas in the field of machine learning. There are multiple ways you can teach data to the machine depending on your purpose in machine learning. These can be classified as “supervised learning”, “unsupervised learning” and “reinforcement learning”[10,12]. In this study, supervised learning was utilized to train the deep learning model.

D. Computer Vision

Computer vision seeks to understand and automate the tasks of the human visual system. Computer vision tasks include methods for obtaining, processing, analyzing and understanding digital images, for example to generate numerical or symbolic information in decision forms, and extracting high-dimensional data from the real world. It shares other topics such as artificial intelligence and computer vision, image recognition and learning techniques. As a result, computer vision is sometimes seen as a part of the field of artificial intelligence or computer science in general [11].

III. SOFTWARE METHODS

In this study, Jupyter Notebook [19] was used as a machine learning implemented in Python[18]. OpenCV [3] was used as an image processing library. Tensorflow[4] and Keras [5] were used as deep learning techniques.

A. Jupyter Notebook

Jupyter Notebook [19] is a machine learning project and implemented in Python language [18]. It is an open source program that provides an interactive environment for various programming languages.

B. TensorFlow

TensorFlow [20] is deep learning software that uses data flow charts. It has an open source software library for numerical calculations. Mathematical operations are represented by their nodes in the graphs, while multi-dimensional data arrays are shown with graphical edges in TensorFlow. Since it has a flexible architecture, the codes written can run on desktop, server or mobile devices[14,15,21].

C. Keras

Keras [5] is a deep learning library for Python [18] that allows you to easily create and train a deep learning model thanks to the many functional functions it contains. It has been developed to enable fast and easy application of deep learning models for research and development. It is compatible with Tensorflow [20], Theano [22] and CNTK [23] libraries.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

In this work, the Covid-19 mask detector was implemented with computer vision and deep learning. Deep learning based mask detector was tested on real-time video and image images. Fig. 1 shows the project structure on Jupyter Notebook folder. The Jupyter Notebook folder structure is explained below:

- Dataset: The data set of the project consists of images masked and without mask.
- Example: There are pictures used in the mask detection tests from the image.
- Train Mask: The model is trained with the training process with the visuals in the data set.
- Video Mask Detection: The trained model is tested with the video project.
- Image Mask Detection: The trained model is tested for mask detection over the image.

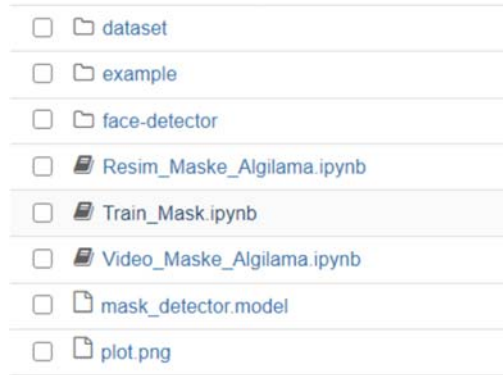


Fig.1. Jupyter Notebook folder, project structure

A. Creating a Dataset

Deep learning model used in this study was trained by supervised learning method, which is a machine learning type. A dataset consisting of masked and unmasked images was created for the training and testing phase. Fig. 2 shows some examples of dataset of people wearing masks. In Fig. 3, some examples of dataset consisting of people who do not wear masks are shown.



Fig. 2. Dataset of people wearing masks



Fig. 3. Dataset of people who do not wear masks

B. Training of the deep learning model (CNN)

The second phase is the training part of the dataset. After the necessary libraries are imported in the Train_Mask project folder, images are taken from the dataset and transferred to a list and arranged. After the data is prepared and edited, it is loaded into the CNN model and the model is ready to train. CNN model is trained with the train dataset and its weight parameters are optimized. As can be seen from Fig. 4, after the training was completed, 99% accuracy was determined. Fig. 5 shows the accuracy and loss curves of the CNN model during training process. It was observed that the loss of education was lower and the accuracy rate was higher as can be seen from the graph of the training process.

```
[INFO] evaluating network...
```

	precision	recall	f1-score	support
maskeli	1.00	0.97	0.99	34
maskesiz	0.97	1.00	0.99	38
accuracy			0.99	72
macro avg	0.99	0.99	0.99	72
weighted avg	0.99	0.99	0.99	72

```
[INFO] saving mask detector model...
```

Fig. 4. Training result of CNN model

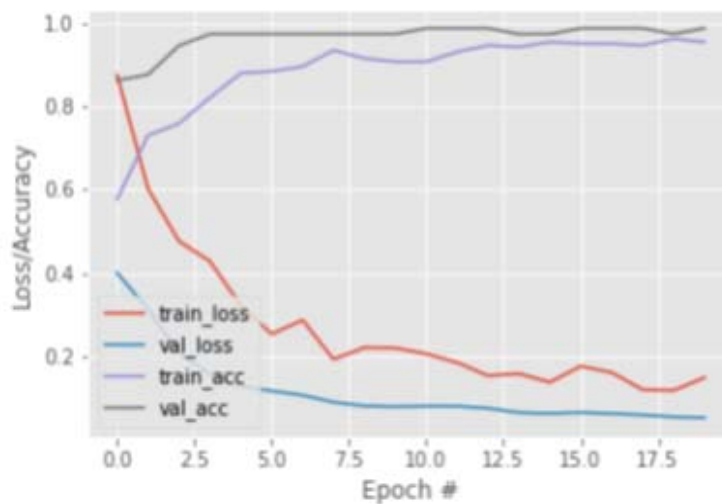


Fig. 5. Accuracy and loss curves of CNN model

C. Mask detection on the image

The trained CNN model has been tested to perform mask detection on human faces in test images. First, the face region was estimated from the image, and then the mask was estimated

thanks to the proposed deep learning model. As a result, the borders of the face region were drawn using OpenCV on the screen. The mask detector displays a green frame if the mask is worn, and displays "there is a mask" ("maske var" in Turkish), if the mask is not worn, it displays a red frame and shows "no mask" ("maske yok" in Turkish) on the screen. Fig. 6 shows the results of the mask detection based on CNN model for images with people wearing masks. In Fig. 7, test results for images with people without a mask are shown. As can be seen from the results in both figures, the proposed mask detector successfully detected the mask on the images.



Fig. 6. Mask detection on the images (mask on)



Fig. 7. Mask detection on the images (mask off)

D. Mask Detection on Video

The second test of the trained CNN model was carried out on the video. You can access a test video from the https://www.youtube.com/watch?v=hbhWHSAmnCA&ab_channel=BetülYılmaz link. In Fig. 8, the results of the mask detection on video are shown.

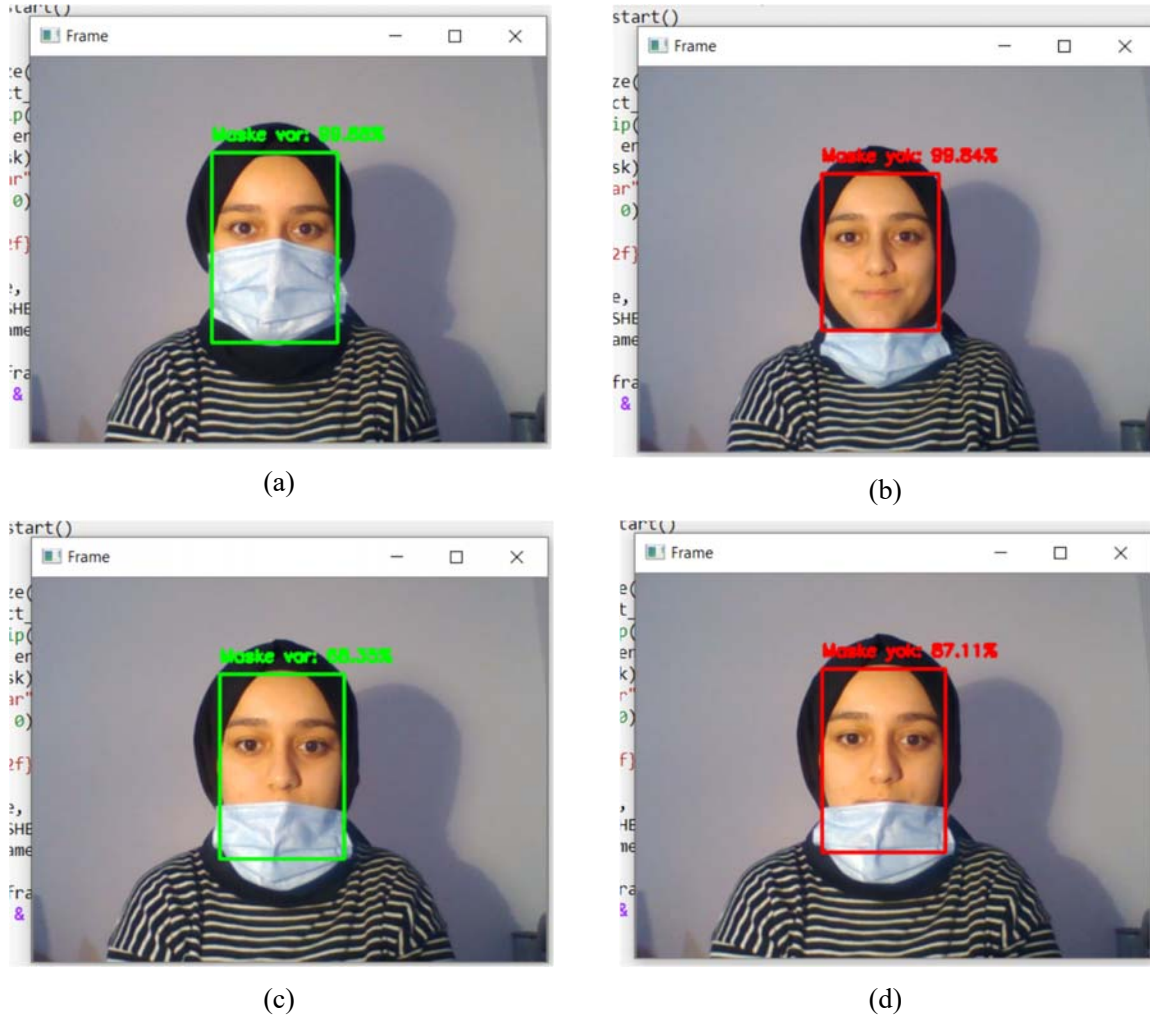


Fig. 8. Mask detection results on video

Looking at the results, it is understood that the proposed system detected the mask with 99.88% accuracy when the person wears the mask properly in the video as seen in Fig. 8a. When the person does not wear the mask properly, it can be seen from Fig. 8b that the proposed system detects that there is no mask with an accuracy of 99.84%. As in Fig. 8c, it is seen that the rate of wearing a mask by the system is 68.35% when the mask is not fully worn. As can be seen in Fig. 8d, the mask is only in the mouth area and the rate of mask absence is 87.11%.

V. CONCLUSION

In this study, a mask detector based on deep learning model has been proposed to detect whether people are wearing the mask correctly. The mask was detected by taking video from the

computer camera and using the existing photo images. We used Jupyter Notebook, OpenCV, Tensorflow, and Keras libraries/methods. The proposed system detects the mask in the face images on the picture or video and gives a warning to the screen as "there is a mask" or "there is no mask" together with the classification accuracy rates.

The project is open to development and can be used by integrating with other systems. In the next step of this work, a camera placed at the entrance of any indoor environment can be used to develop a system that allows access to people with a mask at the entrance and does not allow access to those who do not have a mask. In addition, it can be integrated with security cameras, it can be instantly checked whether there is a mask on people's faces in a closed environment, and if the mask is removed, it can be detected and warned. In addition, it can be designed and used as an application on Android / iOS platforms.

ACKNOWLEDGMENT

The paper titled "Deep Learning based Mask Detector for Coronavirus" presented in this study was carried out in Bilecik Şeyh Edebali University, Computer Engineering Department, within the scope of the Project.

REFERENCES

- [1] World Health Organization (WHO). <https://covid19.who.int>. (Access Time:17.04.2021)
- [2] Republic of Turkey Ministry of Health. <https://covid19.saglik.gov.tr>. (Access Time:17.04.2021)
- [3] Opencv. <https://opencv.org/about/>. (Access Time:17.04.2021)
- [4] Tensorflow. <https://www.tensorflow.org>. (Access Time:17.04.2021)
- [5] Keras. <https://keras.io>. (Access Time:17.04.2021)
- [6] Sanjana S, Sanjana S, Shriya VR, Vaishnavi G, Ashwini K. "A review on various methodologies used for vehicle classification, helmet detection and number plate recognition." *Evol Intell*. 2020. doi:10.1007/s12065-020-00493-7. unpublished
- [7] Othman NA, Salur MU, Karakose M, Aydın I. "An Embedded Real-Time Object Detection and Measurement of its Size". In: 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP). ; 2018:1-4. doi:10.1109/IDAP.2018.8620812
- [8] Kong X, Wang K, Wang S, et al. "Real-time Mask Identification for COVID-19: An Edge Computing-based Deep Learning Framework". *IEEE Internet Things J*. 2021:1. doi:10.1109/JIOT.2021.3051844
- [9] Sanjaya SA, Adi Rakhmawan S. "Face Mask Detection Using MobileNetV2 in The Era of COVID-19 Pandemic". In: 2020 International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI). ; 2020:1-5. doi:10.1109/ICDABI51230.2020.9325631
- [10] Loey M, Manogaran G, Taha MHN, Khalifa NEM. "A hybrid deep transfer learning model with machine learning methods for face mask detection in the era of the COVID-19 pandemic". *Measurement*. 2021;167:108288.

- [11] Bhargava A, Bansal. "A. Novel coronavirus (COVID-19) diagnosis using computer vision and artificial intelligence techniques: a review". *Multimed Tools Appl.* 2021. doi:10.1007/s11042-021-10714-5
- [12] Bhadani AK, Sinha A. "A Facemask Detector using Machine Learning and Image Processing Techniques". *Eng Sci Technol , an Int J.* 2020;(November):0-8.
- [13] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. "Deep learning". *Nature.* 2015;521(7553):436-444. doi:10.1038/nature14539
- [14] Sánchez SA, Campillo J, Martinez-Santos JC. "Use of deep learning algorithms for real-time detection of vessels in confined spaces using the Tensorflow framework". *J Phys Conf Ser.* 2020;1448:12003. doi:10.1088/1742-6596/1448/1/012003
- [15] Bornia J, Frihida A, Claramunt C. "Detecting objects and people and tracking movements in a video using tensorflow and deeplearning". In: *2020 4th International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET).* ; 2020:213-218. doi:10.1109/IC_ASET49463.2020.9318253
- [16] Sandler M, Howard A, Zhu M, Zhmoginov A, Chen L. "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks". In: *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.* ; 2018:4510-4520. doi:10.1109/CVPR.2018.00474
- [17] MobileNetV2. <https://keras.io/api/applications/mobilenet/>.(Access Time:17.04.2021)
- [18] Python. <https://www.python.org>. (Access Time:17.04.2021)
- [19] Jupyter Notebook. <https://jupyter.org>. (Access Time:17.04.2021)
- [20] Tensorflow. <https://www.tensorflow.org>. (Access Time:17.04.2021)
- [21] Sanchez SA, Romero HJ, Morales AD. "A review: Comparison of performance metrics of pretrained models for object detection using the {TensorFlow} framework". *{IOP} Conf Ser Mater Sci Eng.* 2020;844:12024. doi:10.1088/1757-899x/844/1/012024
- [22] Theano. <https://pypi.org/project/Theano/>.(Access Time:17.04.2021)
- [23] CNTK. <https://docs.microsoft.com/en-us/cognitive-toolkit/setup-cntk-on-your-machine>. (Access Time:17.04.2021)

Seydisuyu Havzasında CBS Destekli Peyzaj Envanter ve Karakter Analizi Çalışması

GIS Supported Landscape Inventory and Character Analysis Study in Seydisuyu Basin

Kürşat Aksoy^{*1}, Recep Bakış², Saye Nihan Çabuk³, Alper Çabuk⁴

^{*}: k_aksoy@eskisehir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2897-7393

¹: Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilimdalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

²: İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

³: Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

⁴: Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

Özet: Hızla artmakta olan dünya nüfusu göz önüne alındığında, su ve temel besin kaynakları temini açısından havzalar önemli bir role sahiptir. Aynı zamanda havzalar, sahip oldukları zengin doğal faktörler sayesinde yüzyıllardır peyzajların şekillenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla peyzajı meydana getiren ve onlar üzerinde değişim yaratan bu faktörlerin tespiti ve uygun yöntemlerle analiz edilmesi peyzaj planlanması ve tasarımını etkileyen önemli bir süreçtir. Türkiye zengin doğal kaynaklara ve peyzaj değerlerine sahiptir. Bu bağlamda, Avrupa Peyzaj Sözleşmesi'nin (APS) gereklerini yerine getirmek, peyzajların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması için çok büyük önem taşımaktadır. Bu bildiride, çalışma alanı olarak belirlenen Sakarya Havza'sının bir alt havzası olan Seydisuyu Havzası'nın sahip olduğu peyzaj karakterlerinin belirlenmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) desteğiyle hidrolojik havza sınırlarının belirlenmesi, coğrafi ve topografik değerlerinin tanımlanması ve haritalanması amaçlanmıştır. Bu amaçla Avrupa'da yaklaşık 50 yıldır kullanılan ve son yıllarda ülkemizde de yaygın hale gelen Peyzaj Karakter Analiz (PKA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde sayısal yükseklik modeli (DEM), jeoloji, jeomorfoloji, şimdiki arazi kullanım kabiliyeti (SAK), arazi kullanım kabiliyeti (AKK) gibi veriler kullanılmıştır. Bu veriler parametrik yöntem ile analiz edilerek sınıflandırılmış ve haritalandırılmıştır. Analizler sonucu çalışma alanında 5 farklı özelliğe sahip (jeoloji, jeomorfoloji, arazi kullanım kabiliyeti, şimdiki arazi kullanımı, büyük toprak grupları) 452 Peyzaj Karakter Tipi (PKT) ve hidrolojik ağ kollarına bağlı 5 farklı Peyzaj Karakter Alanı (PKA) ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar sayesinde, Türkiye'de kırsal kalkınma, tarım, ekolojik denge gibi konularda, geleceğe yönelik havza içi uygulama, yönetim ve geliştirme çalışmalarında kullanılabilecek önemli bir altık ve veri kaynağı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Peyzaj, Peyzaj Karakter Analizi, Peyzaj Planlama, Seydisuyu Havzası

Abstract: In terms of the rapidly increasing world population, basins play an important role in terms of water and basic food resources. At the same time, basins have had significant place in shaping landscapes for centuries, thanks to their rich natural and cultural factors. Therefore, determination and analysis of these factors that both create and change the landscapes, with the utilization of appropriate methods is an essential process which also affects the landscape planning and design. Turkey has rich natural resources and a wide variety of landscape values. Within this context, it is of great importance to fulfil the requirements of the European Landscape Convention (APS) for the protection and transfer of the landscape values to the future generations. In this paper, it is aimed to determine the hydrolytic basin boundaries, define and map the geographical and topographic values of the landscape characters of the Seydisuyu Basin, which is a sub-basin of the Sakarya Basin, determined as the study area, with the support of Geographical Information Systems (GIS). For this purpose, Landscape Character Analysis (LCA) method, which has been used in Europe for about 50 years and has become widespread in Turkey in recent years, was used. In this method, data such as Digital Elevation Model (DEM), geology, geomorphology, current land use capability, land use capability were used. These data were analyzed, classified and mapped using the Parametric Method. As a result of the analysis, 452 Landscape Character Types (LCT) and 5 different Landscape Character Areas (LCA) with 5 different characteristics (geology, geomorphology, land use capability, current land use, large soil groups) have emerged. With the obtained results, in Turkey, rural development, agriculture, issues such as ecology, future app basin has revealed significant gold and data sources that can be used in the management and development.

Keywords: *Geographical Information Systems, Landscape, Landscape Character Analysis, Landscape Planning, Seydisuyu Basin*

1. GİRİŞ

Dünya coğrafyasının ekosistem döngüsünde önemli bir yere sahip olan havzalar; tarımsal üretim, su temini ve rekreasyon faaliyetleri için son derece önemli alanlardır. Aynı zamanda havzalar ekosistem açısından da hassas bölgelerdir. Havzalar, küresel ısınma nedeniyle tehdit altında olan su ve doğal kaynaklarının korunduğu peyzaj alanlarıdır. (Köle ve Yiğitbaşıoğlu, 2013).

Havza içerisinde barındırdığı zengin doğal kaynaklar ile kendisine özgü topografik, hidrolojik ve meteorolojik özellikleri barındıran peyzaj alanlarıdır. Ekosistem ölçeğinde tanımlandığında ise havzalar, akarsu ağları ile birbirine bağlanmış etkileşim içerisinde bulunan ekosistemsel peyzaj alanlarıdır (Randhir, 2007).

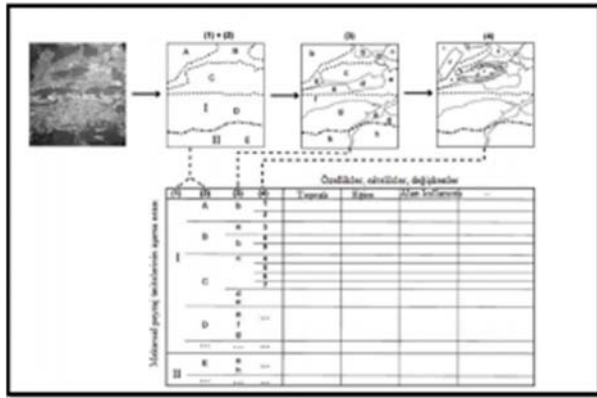
Seydisuyu havzası Sakarya nehrinden dolayı önem kazanmaktadır. Nitekim dünyanın su kıtlığı çektiği 21.yy'da su toplama ve kaynaklarının oluşturduğu alanlar (havzalar), koruma, kullanma ve geliştirme stratejileri konusunda önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı Seydisuyu havzası peyzaj karakter analizinin yapılarak gelecekte yapılabilecek topografik, fizyografik ve hidrolojik çalışmalara entegrasyon sağlanmasıdır.

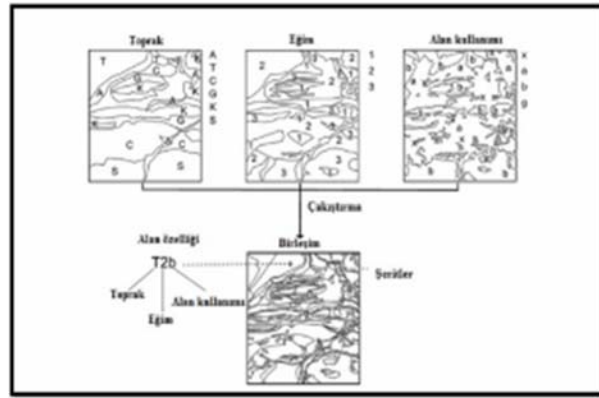
Peyzaj karakter alanı; bulunduğu bölgenin coğrafi özelliğini yansıtan aynı zamanda bulunduğu bölgenin coğrafi özellikleri dışında kendine özgün özellikleri de olan coğrafi peyzaj alanlardır (Şahin vd., 2014).

Peyzaj karakter analizi; doğal ve kültürel peyzaj özelliklerinin sistematik analizleri sonucu peyzaj karakter alanları ve türlerinin peyzaj birimi (PB) ve peyzaj karakter tipi (PKT) olarak iki başlık altında belirlenmesidir. (Kim ve Pauleit, 2007).

Peyzaj Sınıflandırma ulusal, bölgesel ve yerel ölçekte bilgi paylaşımı için bir çerçeve oluşturmakta ve etkinliğini artırmaktadır (Brown ve Brabyn, 2012). Peyzaj sınıflandırmada, peyzaj sınıflamasının holistik (Bütünsel) (Şekil-1) ve parametrik (Parametrelî) (Şekil-2) olmak üzere iki yöntemi vardır (Troll, 1939).



Şekil-1: Peyzaj Sınıflandırmada Holistik (Bütünsel) Yöntem



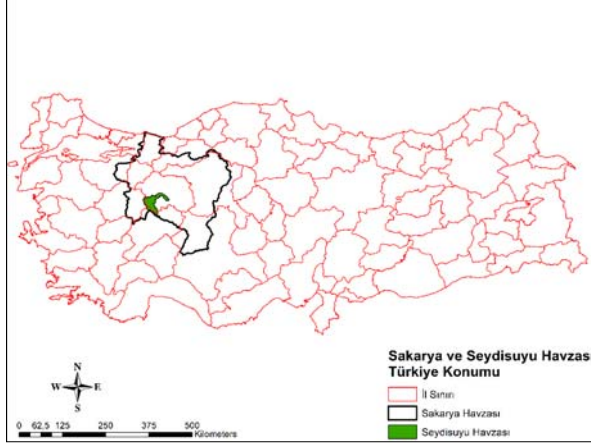
Şekil-2: Peyzaj Sınıflandırmada Parametrik Yöntem

II. MATERYAL VE YÖNTEM

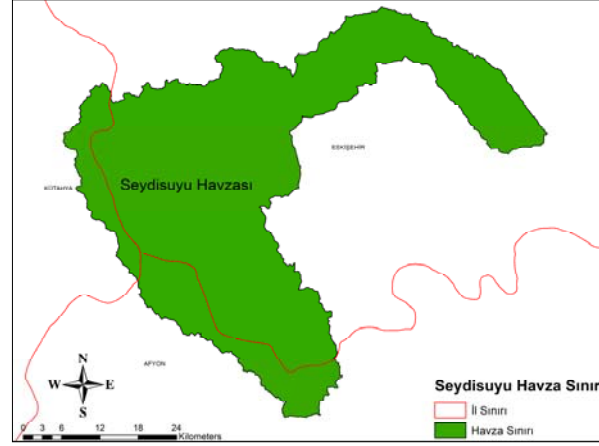
A. Materyal ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye'nin 12 numaralı Sakarya Havzası'nın alt havzası olan Seydisuyu Havzası'dır (Şekil-3). Hidrolojik havza sınırı olarak, Seydisuyu havza alanının büyük bir kısmı Eskişehir'de, alanın kalan diğer parçaları da Afyon ve Kütahya illerinde yer almaktadır. Seydisuyu Havzası'nın toplam alanı 1816,1 km² dir. Bu alan Eskişehir yüzölçümünün yaklaşık %13'ünü kapsamaktadır (Şekil-4). Bu çalışmada Maden Teknik Arama (MTA), Harita Genel Komutanlığı, Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verileri ve verilerinden üretilen raster ve vektörel haritalar kullanılmıştır.

Bu çalışma için DEM, alt havza, yükseklik, eğim, eş yükselti, bakı, akarsu ağı, sıcaklık, yağış, yüzeyel buharlaşma, arazi kullanım kabiliyeti, büyük toprak grupları, şimdiki arazi kullanımı, eğime göre toprak gruplama, jeoloji ve jeomorfoloji haritaları kullanılmıştır.



Şekil-3: Sakarya Havzası Türkiye Konumu Haritası



Şekil-4: Seydisuyu Havzası Haritası

B. Yöntem

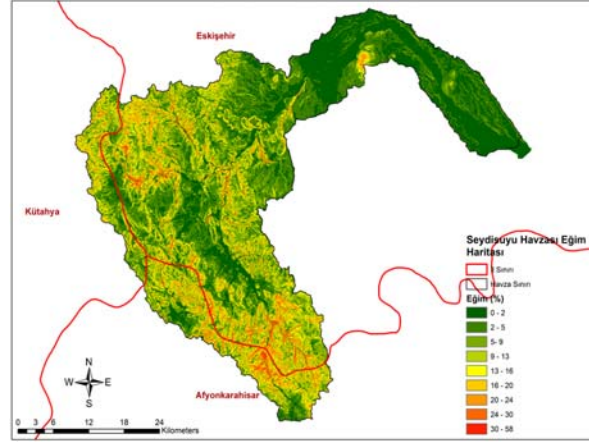
Çalışmada PKA yönteminde, Görmüş (2012), Şahin vd. (2011), Çetinkaya ve Uzun (2014), Görmüş vd. (2013), Koç (2017), Erdoğan (2014), Tırnakçı ve Turgut (2020) ve Uzun vd. (2018)'nin yaptıkları çalışmalardan yararlanılmıştır.

Peyzaj karakter analizi için 1/25 000 ölçekli topografik haritalar sayısallaştırılmış, CBS ortamına aktarılmış ve DEM haritası oluşturulmuştur. DEM haritası üzerinden diğer konumsal değer haritaları (eğim, bakı, yükseklik vb.) elde edilmiştir. 20 yıllık meteoroloji verileri kullanılarak Inverse Distance Weighting (IDW) yöntemi ile meteoroloji haritaları elde edilmiştir. (IDW Metodu; belirli bir bölgeden alınan numunelerden faydalanarak belirtilen arama yarıçapı içindeki numune de örneklenen maddenin kaynağını bulmaya yöneliktir.) Toprak verileri sayısallaştırılarak jeoloji ve jeomorfoloji, arazi kullanım kabiliyeti, büyük toprak grupları, şimdiki arazi kullanımı ve eğime göre toprak gruplama haritaları elde edilmiştir.

Bu çalışmada peyzaj karakter tiplerinin belirlenmesinde Avrupa Peyzaj Karakter Analizi (European Landscape Character Analysis–ELCA) kapsamında kullanılan “Peyzaj Karakter Analiz Yöntemi” yani bu çalışmada peyzaj karakter analizi için “Parametrik Yöntem” kullanılmıştır.

Peyzaj karakter analizi sırasında kullanılacak yöntemin aşamaları, kavramlar ve karakterler belirlenmiştir. Bu çalışmalar yapılırken Şahin vd. (2014), Görmüş vd. (2013), Koç (2017), Erdoğan (2014), Tırnakçı ve Turgut (2020), Koç (2020), Uzun vd. (2018), Swanwick (2002), Múcher et al. (2005), Wascher et al. (2005) çalışmalarından yararlanılmıştır. Seydisuyu Havzası peyzaj karakter tiplerinin belirlenmesinde şimdiki arazi kullanımı, büyük toprak grupları, arazi kullanım kabiliyeti, jeoloji ve jeomorfoloji verileri kullanılmıştır.

Peyzaj karakter tipini oluşturmak için; ArcGIS 10.5 programında Model Builder bölümünden peyzaj tip haritalarını kesiştirmek amacıyla “model” oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde hata payının en düşük düzeyde olması için yapılan çakıştırmalar ve analizler vektörel haritalar üzerinden elde edilmiştir. Vektörel harita çakıştırma işlemi yapılırken Analysis Tools modülünde “Overlay” katmanı içerisindeki “Intersect” (Kesişim) alt modülü kullanılmıştır. Sınıflamaların grupmanı için Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Bir sonraki aşamada grupmanlar ArcGIS’de bulunan öz nitelik tablosuna aktarılmıştır. Son olarak; Classification modülünde raster



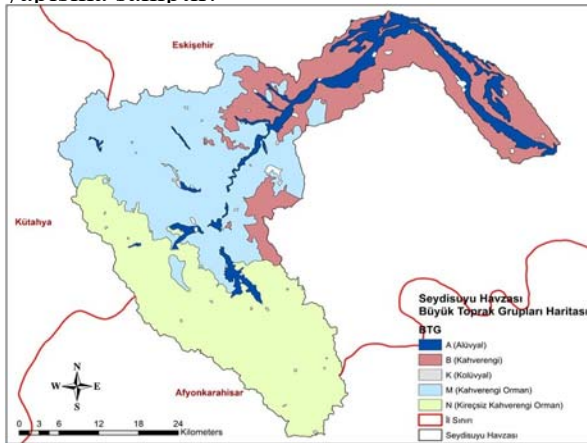
Şekil-9: Seydisuyu Havzası Eğim Haritası

A.B. Seydisuyu havzası toprak özellikleri

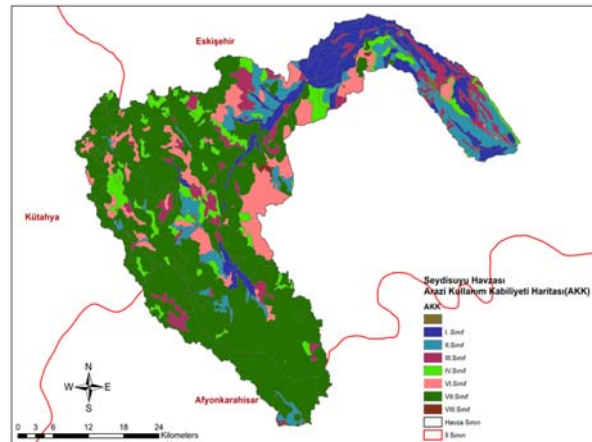
Bir bölgenin peyzaj gelişiminde önemli rol oynayan faktörlerden biri de topraktır. Toprağın oluşumu ve özellikleri ise iklim, ana kayacın yapısı ve eğim durumuna göre değişir. Tüm bu jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerle birlikte üzerindeki canlı sistemin uzun dönemler süresince karşılıklı etkileşimleri sonucu ortaya çıkmaktadır (Başyigit ve Çelik, 2002).

Bu çerçevede çalışmada toprak verileri kullanılarak büyük toprak grupları (BTG), arazi kullanım kabiliyeti (AKK), şimdiki arazi kullanım kabiliyeti (SAK) ve eğime göre toprak gruplama haritaları üretilmiştir (Şekil-10, Şekil-11, Şekil-12, Şekil-13).

Havza alanı büyük toprak grupları açısından genel anlamda kireçsiz kahverengi orman ve kahverengi orman toprak yapısına sahiptir, arazi kullanım kabiliyeti açısından genel anlamda 7. sınıf toprak yapısına sahiptir, şimdiki arazi kullanımı açısından genel anlamda ormanlık bir alana sahiptir, eğime göre toprak gruplama açısından ise genel anlamda dik ve çok dik eğimli bir arazi yapısına sahiptir.



Şekil-10. Seydisuyu Havzası Büyük Toprak Grupları Haritası



Şekil-11. Seydisuyu Havzası Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfları Haritası

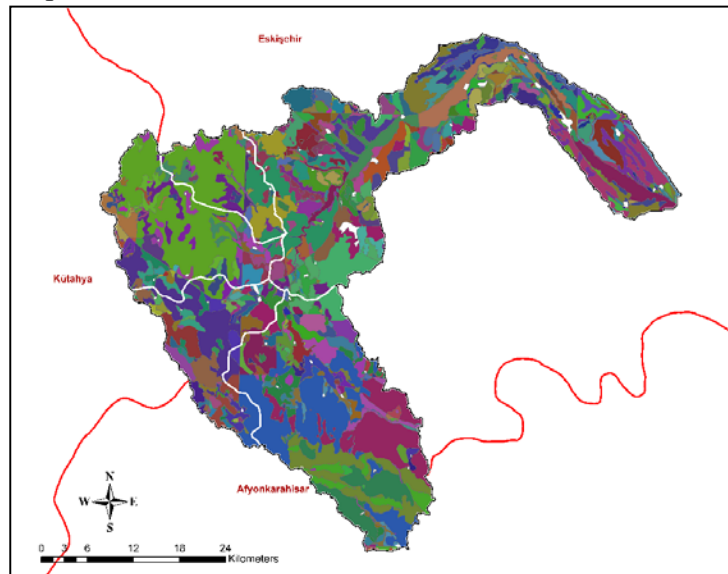
A.D. Seydisuyu havzası peyzaj karakter tipi

Yapılan analiz çalışmaları sonucu Seydisuyu Havzası; jeolojik, jeomorfolojik, şimdiki arazi kullanımı (SAK), arazi kullanım kabiliyeti (AKK), büyük toprak grupları (BTG) olarak 5 farklı haritanın çakıştırılması ile 452 farklı poligon elde edilmiştir (Şekil-16). Peyzaj karakter tiplerine ait lejant Şekil-17'da verilmiştir. Belirlenen peyzaj karakter tipleri 0,001 km² ile 1,8 km² arasında değişkenlik göstermektedir. Alansal bu değişkenlik arazinin heterojenliğinden kaynaklanmaktadır. Peyzaj karakter tiplerinin bu derece farklılık göstermesi alan heterojenliğine bağlanmaktadır (Kellert, 1995, Martín et al., 2018).

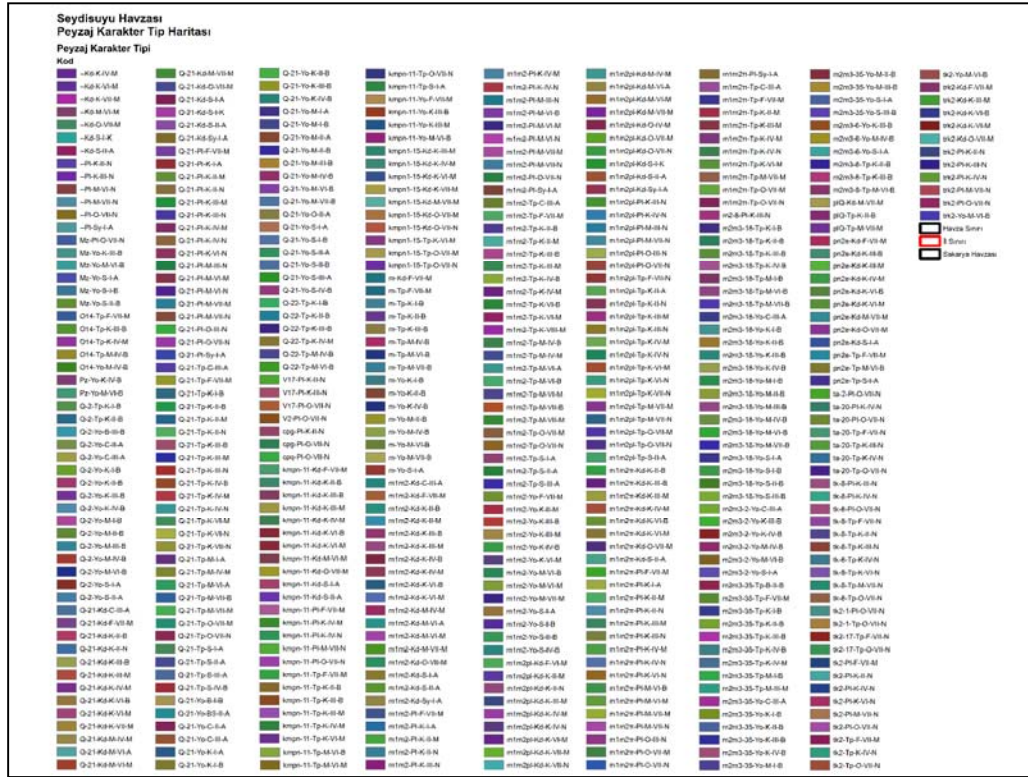
Seydisuyu Havzası; jeolojik, jeomorfolojik, şimdiki arazi kullanımı (SAK), arazi kullanım kabiliyeti (AKK), büyük toprak grupları (BTG) olarak 5 farklı özelliğe sahip 452 peyzaj karakter tipi 'ne sahiptir. Alt havza özelliklerine göre Seydisuyu Havzası 5 peyzaj karakter alanına (PKA) sahiptir.

Çalışma alanı baskın karakterler açısından incelendiğinde; 1_No'lu Peyzaj Karakter Alanı; %22,7 lik "m1m2π-Pl-O-VII-N" baskın peyzaj karakter tipine sahiptir. 2_No'lu Peyzaj Karakter Alanı; %21,5 lik "m1m2pl-Tp-O-VII-N" baskın peyzaj karakter tipine sahiptir. 3_No'lu Peyzaj Karakter Alanı; %43,75 lik "m1m2pl-Kd-O-VII-M" baskın peyzaj karakter tipine sahiptir. 4_No'lu Peyzaj Karakter Alanı; %45,4 lik "m1m2pl-Kd-O-VII-M" baskın peyzaj karakter tipine sahiptir. 5_No'lu Peyzaj Karakter Alanı; %4,6 lik "m1m2-Kd-O-VII-M", %4,4 lük "Q_21-Yo-S-I-A", %4,3 lük "m1m2-Tp-M-VI-B", %4,25 lik "Q_2-Yo-K-II-B" baskın peyzaj karakter tipine sahiptir.

Seydisuyu havzası genel anlamda ormanlık bir alana sahiptir. Havzanın geri kalan kısmının büyük çoğunluğunda ise kuru ve sulu tarım yapılmaktadır. Alanın büyük bir çoğunluğu özellikle güney ve kuzeybatı kesimleri dik ve çok dik bir arazi yapısına sahiptir. Alanın büyük bir kısmı kahverengi orman ve kireçsiz kahverengi orman toprak yapısına sahiptir. Alan, kullanım kabiliyeti açısından büyük bir kısmı VII. sınıf verimsiz bir toprak yapısına sahiptir. Alan, jeolojik açıdan büyük ölçüde miyosen-şelf kayaç ve mermer bir arazi yapısına ve jeomorfolojik açıdan ise yüksek ova ve dağlık bir alana sahiptir.



Şekil-16 Seydisuyu Havzası Peyzaj Karakter Tipi Haritası



Şekil-17: Seydisuyu Havzası Peyzaj Karakter Tipi Haritası Lejanti

Sonuç ve Tartışma

Peyzaj karakter analizleri; peyzaj yönetimi için pratik çözümlere, karakter karşılaştırmalarına ve peyzajın oluşturduğu bütündeki görsel etkiyi ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır.

Peyzaj karakter analizi, alansal peyzaj hakkında bilgi almamıza katkı sağlamaktadır. Peyzaj karakter analiz yöntemleri sübjektif ve objektif olduğu gibi peyzajın biyofiziksel ve görsel yönlerini ortaya çıkarmaya çalışır.

Türkiye 'de peyzaj karakter analizi konusunda Uzun vd. (2010), Atik vd. (2015), Şahin vd. (2011), Çetinkaya ve Uzun (2014), Görmüş vd. (2013), Koç (2017), Erdoğan (2014) önemli çalışmalar yapmış olup, çalışmalarında çoklu peyzaj katmanlarını çakıştırarak peyzaj karakter tiplerinin ön sınıflamasını elde etmişlerdir.

Uzun vd. (2010) ve diğer analiz çalışmalarında yerel düzeyde yapılacak peyzaj sınıflama çalışmalarında hangi verilerin kullanılacağını net olarak tanımlanmamıştır. Bunun nedeni çalışılan alanla ilişkili olarak bazı verilerin ön plana çıkabilecek olmasıdır. Dolayısıyla çalışma alanının bulunduğu bölgeye göre bu değişebilmektedir.

Çalışma alanı bölge ölçeğinde oldukça değerli maden alanlarına sahiptir. Alan yönetimi açısından büyük öneme sahip olan karakter alanlarının belirlenmesi bundan sonra gerçekleştirilecek olan çalışmalar için altlık görevi görecektir.

Çalışma alanımız olan; Seydisuyu havzasında topografya ön plana çıkan bir kavramdır. Bu nedenle yapılan karakter analiz çalışmalarında topografik nesneler ön plana çıkmıştır.

Yapılan analiz çalışmalarında Seydisuyu Havzası'nda 452 peyzaj karakter tipi belirlenmiştir. Benzer çalışmalarda ise; Erdoğan (2014) 854, Koç (2012) 384 ve Atik et.al (2017) 35 peyzaj karakter tipi belirlemişlerdir.

Seydisuyu havzası genel anlamda ormanlık bir alana sahip kahverengi ve kireçsiz kahverengi organik toprak yapısına sahiptir. Alanın büyük bir çoğunluğu özellikle güney ve kuzeybatı kesimleri dik ve çok dik bir arazi yapısına sahiptir. Alanda genel anlamda maden çıkarma çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan maden çalışmaları, alanın dik bir arazi yapısına sahip olması ve büyük bir kısmının ormanlık bir alan olmasından dolayı çalışma alanında kuzey kesimler, Seyitgazi ve Mahmudiye yakınları dışında tarımsal faaliyetler sınırlıdır.

Alan genel anlamda VII. Sınıf (verimsiz, fazla erozyona uğramış, taşlı ve kuru) arazi kullanım kabiliyetine ve büyük bir kısmı kahverengi orman ile kireçsiz kahverengi orman toprak yapısına sahiptir. Toprak genel anlamda kireçli ve şistli bir toprak yapısına sahip olduğu için organik madde kapsamı yetersizdir. Çalışma alanındaki toprağın, toplam azot, alınabilir fosfor ve çinko kapsamı toprak yapısına bakılarak yetersiz olduğu söylenebilir.

Bu çalışma Seydisuyu Havzası'nda yapılan ilk peyzaj karakter analiz çalışmasıdır. Bu çalışmanın ileride yapılacak planlama ve yönetim çalışmalarına önemli bir altlık ve veri kaynağı olması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Wascher, D. M., Groom, G., Mücher, S., Kindler, A., Blustt, G., Damarad, T., Nieto A., Delbaere, B. et al. (2005). "European Landscape Character Areas Typologies, Cartography and Indicators for the Assessment of Sustainable Landscapes"
- [2] Koç, A. (2017). Yukarı Aras Havzası Örneğinde Peyzaj Karakter Analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [3] Erdoğan, A. (2014). Peyzaj Karakter Analizi: Artvin Şavşat İlçesi Örneği. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- [4] Mücher, C.A., Garcia-Feced, C., Perez-Soba, M., Wascher, D.M. (2005). Landscapes of Europe. In: Perez-Soba, M., Wascher, D.M. (Eds.), Landscape Character Areas – Information Press, Oxford, United Kingdom, pp. 6–8
- [5] Şahin, Ş., Perçin, H., Kurum, E., Uzun, O., Bilgili, B. (2014). Bölge-Alt Bölge (İl) Ölçeğinde Peyzaj Karakter Analizi ve Değerlendirmesi Ulusal Teknik Kılavuz. Ankara: Elma Teknik Basım Matbaacılık, ISBN No: 978-605-136-201-4.
- [6] Kolata, F. (2013). Seydisuyu (Eskişehir) Yakın Çevresinde Yetişen Bazı Yabani Bitkilerde Başta Bor Olmak Üzere Bazı Elementlerin Birikim Düzeylerinin Belirlenmesi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir

- [7] Görmüş, S., Oğuz, D. (2013). Kırsal Yerleşim ve Korunan Alan Arasındaki Etkileşimin Değerlendirilmesinde Peyzaj Karakter Analizinin Rolü: Kapısuyu Havzası Örneği, Tarım Bilimleri Dergisi, 19 (2013) 310-322
- [8] Bakış, R. ve Bayazıt, Y. ve Uyguçgil, H. (2012). Seydisuyu havzasındaki yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılımlarının uzaklığa bağlı tahminleme yöntemleri ile haritalanması. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012). Zonguldak.
- [9] Bakış, R. ve Bayazıt, Y. (2015). Seydisuyu havzasında küçük ölçekli hidroelektrik enerji potansiyelinin araştırılması. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16 (3) – 2015. Eskişehir.
- [10] Alparslan, C. (2017). İzmir, Urla, Çeşme ve Karaburun Peyzaj Envanter ve Peyzaj Karakter Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi. Eskişehir
- [11] Brown, G., Brabyn, L. (2012'a). An Analysis Of The Relationships Between Multiple Values And Physical Landscapes At A Regional Scale Using Public Participation GIS And Landscape Character Classification. Landscape and Urban Planning 107(3):317- 331.
- [12] Brown, G., Brabyn, L. (2012'b). The extrapolation of social landscape values to a national level in New Zealand using landscape character classification. Applied Geography 35(1-2):84-94.
- [13] Uzun, O., Yılmaz, O. (2009). Düzce Asarsuyu Havzası Peyzaj Değerlendirmesi ve Yönetim Modelinin Geliştirilmesi. Tarım Bilimleri Dergisi 2009, 15 (1) 79-87 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara.

Pürüzlü Yüzey Üzerinde Granüler Malzemelerin Duruş Açılarının Slump Deneyi ile Belirlenmesi

Determination of The Angle of Repose of Granular Materials by Slump Test On Rough Surface

Mert Ali Taşdemir^{*1}, Hakan Elçi², Şener Ceryan³, Nurcihan Ceryan⁴

^{*}mertali.tasdemir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6701-5608

¹Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Bölümü, İzmir, Türkiye,

³Balıkesir Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

⁴Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Balıkesir, Türkiye

Özet Granüler malzemelerden oluşturulan yığınların yatay düzleme göre oluşturduğu en yüksek eğim açısına duruş açısı denir. Duruş açısı, jeoteknikte statik koşullar altında eğimli yüzeylerin stabilitesini ve istinat duvarları gibi destek yapılarının güvenliğini ve maliyetini etkileyen önemli bir parametredir. Duruş açısına; granüler malzemenin dane boyutu, şekli, pürüzlülüğü, sürtünme açısı, yığın oluşturduğu zeminin pürüzlülüğü ve suya doygunluk derecesi etki eder. Bu çalışmada granüler malzemelerin duruş açısını belirlemek için, standart bir yöntem olan taze beton çökme (slump) deneyi kullanılmıştır. Çalışmada granüler malzemelerde sıklık durumunun duruş açısına etkisi slump deney aleti yardımıyla araştırılmıştır. Sıkı granüler malzemelerden oluşan yığınların duruş açıları, gevşek granüler malzemelerden oluşan yığınlara göre daha yüksek duruş açısı değerine sahiptir. Çalışmada kireçtaşlarına ait granüler malzemelerin farklı boyutlarda, farklı şekillerde, farklı dane yüzey pürüzlülüğüne ve farklı su içeriği değerlerine sahip agrega kullanılmıştır.

Keywords: *Duruş açısı, Granüler Malzemeler, Pürüzlü Zemin*

Abstract Angle of repose, when the granular material is in a pile, the highest angle of slope created by the horizontal plane is called. The angle of repose is an important parameter that affects the stability of cohesionless soils on sloping surfaces under static conditions in geotechnics and the safety and cost of supporting structures such as retaining walls. This parameter varies depending on the grain size of the granular material, the grain shape, grain roughness, the roughness of the soil where the heap is formed and the degree of saturation of the grains in the water. In this study, fresh concrete slump test, which is a standard method, was used to determine the stance angle of granular materials. This work, the effect of densest states on the stance angle of granular materials was investigated with the help of a slump test device. The dense piles of granular material gave higher angle of repose value than the loose of granular material piles. In the study, aggregate of granular materials belonging to limestones in different sizes, different shapes, different grain surface roughness and different water content values were used.

Keywords: *Angle of repose, Granular materials, Rough ground*

1. GİRİŞ

Granüler malzemeler kullanım alanı olarak endüstride ve mühendislik uygulamalarında yaygın olan malzemelerdir. İri ve ince granüler malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanılması kaçınılmazdır. Bundan dolayı granüler malzemelerin işlenmesi ve üretilmesi sürecini optimize etmek ve kolaylaştırmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [1]. Bu yöntemlerden birisi de duruş açısıdır. Duruş açısı, granüler malzemelerden oluşturulan yığının bozulmadan, duraylı bir şekilde kalmasını sağlayan en yüksek açı olarak ifade edilir. Duruş açısı, granüler malzemelerin işleme, depolama ve taşıma sistemlerinin tasarımı için önemlidir [2]. Granüler malzemeler eğim yönünde akışkan gibi davranarak hareket edebilecek durumda oldukları için taşınması ve üretilmesinde zorluklar ortaya çıkarır. Duruş açısı jeoteknikte statik koşullarda ayırık zeminlerin eğimli yüzeylerdeki stabilitesini, istinat duvarları gibi dayanma yapılarının güvenliğini ve maliyetini etkileyen önemli bir parametredir. Bu parametre, granüler malzemenin dane boyutuna, dane şekline, dane pürüzlülüğüne, yığın oluşturduğu zeminin pürüzlülüğüne ve danelerin suya doygunluk derecesine bağlı olarak değişir. Bu çalışmada Slamp deneyi aleti kullanılarak sonuçların güvenilirliğini sağlamak ve sıkılık durumunun duruş açısına etkileri araştırılmak istenmiştir. Sıkılık; şişlemeye bağlı olarak ortaya çıkar. Granüler malzemeler ne kadar şişlenirse o kadar sıkışır ve daha az oturma gösterir. Sıkılık ne kadar fazlaysa duruş açısı da o kadar fazla olur. Zemin mukavemeti, danelerin yüzey şekli ile ilgilidir. Daha kırıklı yüzey şekillerine sahip agregalar, birbirleriyle temas noktalarında daha yüksek gerilmeler oluşturarak daha yüksek gerilimler meydana getirirler. Yuvarlaklaşmış danelerde daha az gerilme meydana gelir. Zemin mukavemeti yığınların oluşturulduğu yüzey pürüzlülüğüne göre de değişir. Yığın oluşturulan zemin ne kadar pürüzlü ise duruş açısı da o kadar yüksek çıkmaktadır. Çalışmada pürüzlü zemin olarak zımpara kullanılmıştır. Çalışmada granüler malzeme olarak farklı boyutlarda, farklı şekillerde, farklı dane yüzey pürüzlülüğüne, farklı litolojilere (Bazalt ve Kireçtaşı) ve farklı su içeriği değerlerine sahip agrega (ince ve iri daneli agrega) kullanılmıştır. Böylelikle agrega litolojisinin duruş açısına olan etkisi de araştırılmıştır [3].

1.1. Önceki Çalışmalar

Kuru veya tamamen suya doygun bir kum yatağında kazı yapılırsa, kazı yapılan şevin kenarlarındaki malzeme tabana doğru kayar. Malzemenin bu davranışı, kum daneleri arasında bir bağın olmadığını gösterir. Kayan malzeme, şevlerin eğim açısı, duruş açısı olarak bilinen belirli bir açıya eşitlenene kadar durmaz [4]. Duruş açısının genel olarak yığındaki malzemenin içsel sürtünme açısı değil, aynı malzemenin yıkılmadan sabit bir şekilde yığın oluşturabileceği açı sonucuna varılmıştır [5]. İki dane arasındaki teması kesmek için, danelere Coulomb kriteri tarafından belirlenen sınırlı miktarda kuvvet uygulamak gerektiğini vurgulanmıştır. İki boyutlu bir modelde, heyelanların oluşturduğu yığınlara duruş açısı Θ_R (sınırdaki eğim) olduğunu söylenmiştir. Ayrıca, bu yığınlar, kaydırma açısından Θ_T , daha küçük bir açıyla durağan halde bulunmaktadır [6]. Geoteknik uygulamalarda kullanılan yöntemlerden biri olan duruş açısının, birincil uygulaması şev stabilitesinin ve istinat yapılarının tasarımının belirlenmesi olduğu belirtilmiştir [7]. Nem içeriğinin varlığı, daneli malzemenin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Örneğin, nemli granüler malzemenin oluşturulan bir yığının duruş açısı aynı malzemenin yapılmış kuru bir yığının duruş açısından daha büyüktür [8]. Laboratuvarında bir toprak yığınının kademeli olarak birikmesi, bir yamacın tepesinde yığının oluşmasını temsil ettiği belirtilmiştir. Çalışmalarda, kaba kum ve ince kumdan oluşan ikili karışımlarda duruş açısını

laboratuvar ortamında ölçülmüştürler. Karışımların yerleştirildiği zeminin pürüzlülüğünün duruş açısı üzerindeki etkisi de incelemişler [9]. Granüler malzemelerin duruş açısı değerleri, farklı çaplarda ve uzunluklarda silindirler ve farklı pürüzlülük derecelerine sahip zeminler kullanılarak incelenmiştir. Yapılan deneylere göre granüler malzemelerin duruş açısı, yığınların üzerinde olduğu zeminin pürüzlülük derecesinden etkilenmiştir. Taban ne kadar pürüzlü ise, duruş açısı o kadar yüksek çıkmıştır [10]. Geoteknik araştırmalarda, granüler malzemeler için kayma mukavemeti ve kayma mukavemeti açısı önemli özelliklerdir. Bu özellikler öncelikli olarak dane şekli, dane boyutu ve dane boyu dağılımı tarafından kontrol edilmektedir. Granüler zeminlerin geoteknik özellikleri (dane boyu dağılımı, maksimum ve minimum boşluk oranları, rölatif sıklık, kayma mukavemeti açısı vb.) ve şekilsel özellikleri (yuvarlaklık, küresellik, köşelilik, konvekslik, fraktal boyut vb.) hesaplanmış ve dane şeklinin zeminlerin geoteknik özelliklerine etkisi araştırılmıştır [11]. Duruş açısını bir toprak yığınının bozulmadan sabit kalmasını sağlayan maksimum açı olarak tanımlanmış ve eğimli veya istinat duvarları gibi projelerin emniyetini ve maliyetlerini etkilediğini belirtmiştir [12]. Granüler malzemelerin duruş açıları, mikro davranışın ve makro davranışlarla ilişkilendirmek için önemli bir parametredir [13]. Madenlerde bulunan atık malzemelerdeki şev stabilitesi sorunu önemli bir zorluktur. Linyit madeni bozulmalarının istikrarsızlıkları önemli çevresel ve ekonomik yükümlülüklerle sonuçlanır ve bu nedenle bu tür sorunların öngörülmesi ve önlenmesi bir öncelik olmalıdır [14].

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÖRNEKLERİN İNDEKS ÖZELLİKLERİ

2.1.Çalışmada Kullanılan Örneklerin Fiziksel Özellikleri

Çalışmada granüler malzeme olarak ince ve iri daneli agregalar kullanılmıştır. Kireçtaşlarına ait örnekler üzerinde, 5 farklı çapta, 3 farklı pürüzlülük yüzeyine (Pürüzlü, Aşındırılmış ve Pürüzsüz), farklı zemin pürüzlülüklerine sahip (pürüzlü zemin – düz zemin) ve farklı su içeriği değerlerine sahip (Kuru, Suya Doygun) agregalar kullanılmıştır (Şekil 1). Temin edilen kayaçlar, Dokuz Eylül Üniversitesi (DEU) Torbalı Meslek Yüksekokulu kaya mekaniği laboratuvarında, laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırılarak ve standart elekler yardımı ile 0-2, 2-4, 4-8, 8-10, 10-14 mm agrega boyutlarına küçültülmüştür. Dane yüzey pürüzlülüğünün duruş açısına etkisini bulabilmek için granüler malzemelerin yüzeyleri aşındırılmıştır. Çeneli kırıcıdan çıkan agregaların tüm yüzeyleri kırık olduğu için bu agregalar pürüzlü ve köşeli agregalar olarak, Los Angeles parçalama deneyi sonrası (500 devir 12 bilya) çıkan daha az pürüzlü agregalar aşındırılmış dane olarak belirtilmiş; pürüzlü ve küreselleşmiş olarak tanımlanmıştır. Micro Deval aşınma deneyi (12000 devir, aşındırıcı şarj ve su) sonrası çıkan agregalar pürüzsüz ve yuvarlaklaşmış agrega olarak ayırtlanmıştır[4].



Şekil 1. Çalışmada kullanılan kireçtaşına ait görünüm

Çalışma için kullanılan kayaçların laboratuvar ortamında fiziksel özellikler kapsamında kuru ve suya doymuş yoğunluk değerleri ve gözeneklilik değerleri belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kireçtaşının fiziksel özellikleri

Litoloji	Kuru ρ_b (Mg/m ³)	Suya doymuş ρ_b (Mg/m ³)	Açık Gözeneklilik ρ_r (%)	n
D.Kireçtaşı	2769 ± 40	2750 ± 23	0,461 ± 0,307	5

D: Dolomitik ρ_b : görünür yoğunluk, ρ_r : açık gözeneklilik, n: örnek sayısı, ±: Standart Sapma

Granüler malzemelerin kuru ve suya doymuş birim hacim ağırlıkları, dane gözenekliliği ve boşluk yüzdesi TS EN 1097-3 (TSE, 1999)'a göre belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 2: Çalışmada kullanılan kireçtaşına ait granüler malzemelerin fiziksel özellikleri

Litoloji	Dane çapı (mm)	Kuru ρ_b (Mg/m ³)	Suya doy. ρ_b (Mg/m ³)	ρ_r (%)	v (%)	n
Dolomitik Kireçtaşı	0-2	1441 ± 34	1320 ± 14			3
	2-4	1243 ± 14	1243 ± 26			3
	4-8	1302 ± 33	1346 ± 32	0,30 ± 0,07	53,42 ± 0,65	3
	8-10	1320 ± 18	1343 ± 26	0,28 ± 0,08	55,63 ± 1,80	3
	10-14	1328 ± 11	1348 ± 17	0,31 ± 0,09	54,28 ± 1,75	3

ρ_b : agrega yığın yoğunluğu, ρ_r : agrega dane gözenekliliği, v : agrega boşluk yüzdesi, n: örnek sayısı, ±: Standart Sapma.

3. DURUŞ AÇISININ TANIMLANMASI

Bu çalışmada farklı dane boylarına sahip Kireçtaşı örneklerinin kayma durumlarını etkileyen faktörler incelenmiştir (Şekil 3 - 5). Slamp hunisi granüler malzeme ile doldurularak yukarı doğru çekilmiş ve koni şekilli yığın oluşturulmuştur. Yığının kaymadan durabileceği en dik açı oluşturulmuş ve yığının yatayla yaptığı açı hesaplanmıştır. Bu açının değişmesine neden olan etmenler araştırılmıştır. Bu açının değişmesine danelerin suya doymuşlukları, yoğunluk, danenin

pürüzlülüğü, dane boyutu ve şekli, sürtünme katsayısı ve yığının oluşturulduğu zeminin pürüzlülüğü etki etmektedir.

Suya doymun granüler malzemeden oluşturulan bir yığının duruş açısı aynı malzemeden yapılmış kuru bir yığından daha büyüktür. Daneler arasında oluşan yapışma kuvvetleri yığının daha sıkı durmasını sağlamaktadır. Malzemeler yüzey kuru - suya doymun olarak duruş açıları ölçülmüştür.

Danelerde pürüzlülük miktarı arttıkça danelerin sürtünme katsayısı artacağından, duruş açısı değerleri de buna bağılı olarak artmaktadır. Ayrıca yığın oluşturulacak zeminlerin pürüzlülüğü de sürtünmeye bağılı olarak duruş açısını arttıracaktır. Duruş açısı oluşturulan yığınların danelerinin mekanik ve geometrik özelliklerine göre değişmektedir. Yuvarlaklık, köşelilik ve pürüzlülük doğrudan duruş açısına etkilidirler.

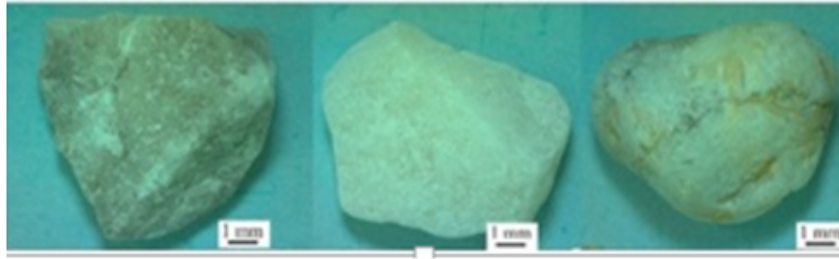


Şekil 2. Kireçtaşı 10 – 14 mm pürüzlü zeminde şişlenmemiş (sol sütun), şişlenmiş (sağ sütun) haldeki duruş açısı

Pürüzlü

Aşındırılmış

Pürüzsüz



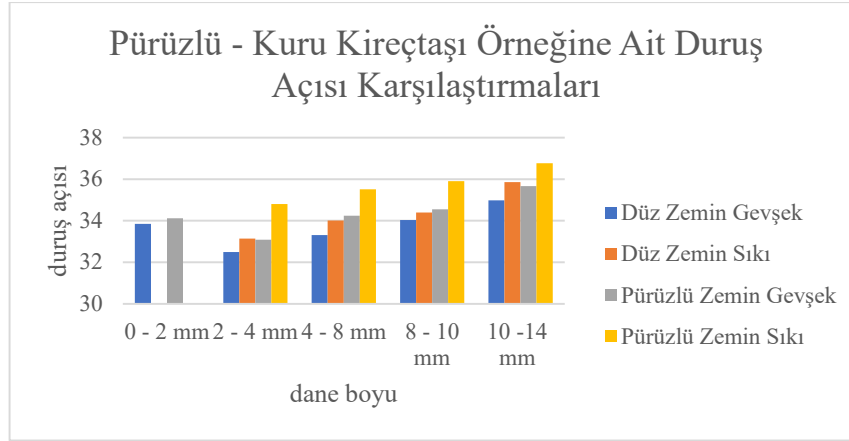
Şekil 3. Kireçtaşı kayaç örneklerine ait görünüm

3.1.Kireçtaşı Örneklerine Ait Slump Deney Sonuçları

Kireçtaşı agregasına malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 8 - 13) (Şekil 4 - 17). Düz zeminde oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri, pürüzlü zeminde oluşturulan duruş açısı değerlerine göre düşük çıkmıştır. Gevşek (şişlenmemiş) malzemelerden oluşturulan yığınların duruş açısı değerleri sıkı (şişlenmiş) malzemenin duruş açısı değerlerinden düşük çıkmıştır. Dane boyu artarken duruş açısı değeri de artmaktadır. Hem cetvel ile hem de elektronik açıölçer ile bulunan duruş açısı değerleri tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 3. Pürüzlü, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
Kireçtaşı	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Kuru	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	33,85	33,57			34,12	34,1		
2 - 4 mm	32,5	32,45	33,14	33,11	33,39	33,1	34,8	34,81
4 - 8 mm	33,31	33,16	34,01	33,97	34,24	34,21	35,51	35,47
8 - 10 mm	34,03	34,01	34,4	34,32	34,55	34,53	35,9	35,92
10 -14 mm	34,98	34,9	35,86	35,86	35,66	35,6	36,76	36,7

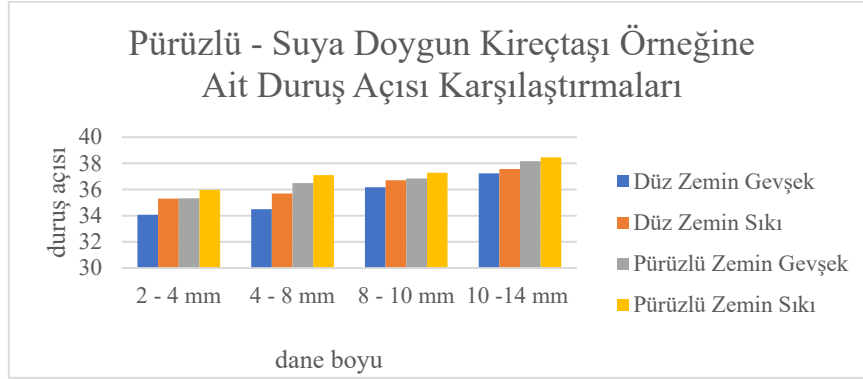


Şekil 4. Pürüzlü, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Kireçtaşlarına ait granüler malzemelerden oluşturulan duruş açıları danelerin suya doygunluğuna göre değişmektedir. Suya doygun numunelerin duruş açıları aynı malzemenin kuru haldeki duruş açılarından daha büyük açılar vermektedir (Tablo 4) (Şekil 5).

Tablo 4. Pürüzlü, suya doygun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları.

Pürüzlü	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
Kireçtaşı	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Suya								
Doygun	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	34,07	34,32	35,3	35,16	35,33	35,18	35,97	35,8
4 - 8 mm	34,5	34,31	35,7	35,33	36,48	36,44	37,1	37,11
8 - 10 mm	36,17	36,11	36,71	36,99	36,84	36,8	37,28	37,2
10 -14 mm	37,23	37,2	37,56	37,5	38,16	38,02	38,45	38,37

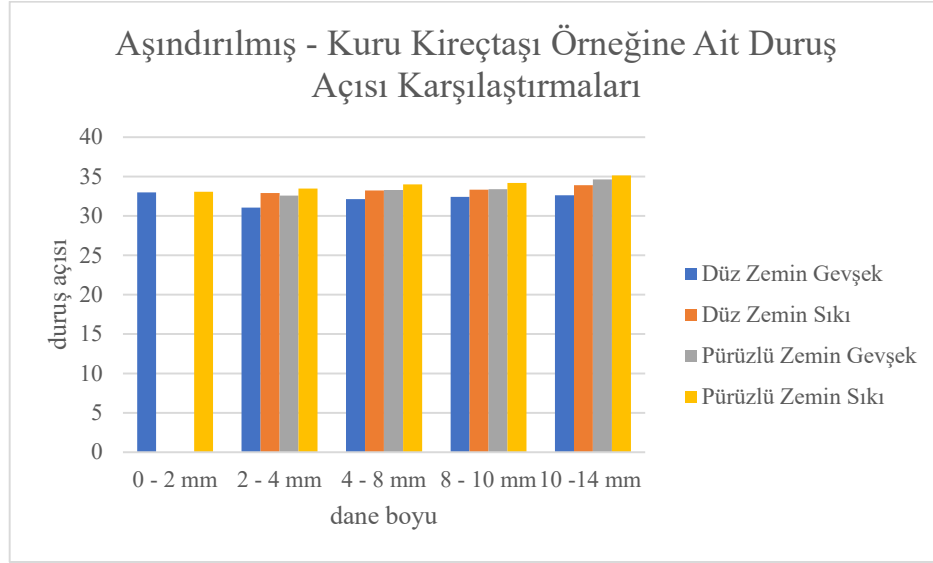


Şekil 5. Pürüzlü, suya doymun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

Aşındırılmış danelerden oluşturulan yığınlar; pürüzlü malzemelere göre pürüzlülüğün azalmasına bağlı olarak duruş açısı değerleri de azalmaktadır (Tablo 5) (Şekil 6). Gevşek haldeki duruş açısı sıkı haldeki duruş açısına göre yüksek, pürüzlü zeminde oluşturulan yığınların duruş açısı da düz zemine göre daha yüksek sonuçlar vermektedir.

Tablo 5. Aşındırılmış, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

Aşındırılmış Kireçtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
0 - 2 mm	32,99	32,8			33,10	33,06		
2 - 4 mm	31,06	31,35	32,61	32,53	32,87	32,6	33,49	33,21
4 - 8 mm	32,14	32,88	33,23	33,28	33,29	33,32	34	34,13
8 - 10 mm	32,42	32,75	33,33	33,65	33,39	33,27	34,18	34,09
10 - 14 mm	32,62	32,73	33,89	33,72	34,62	34,77	35,13	35,47

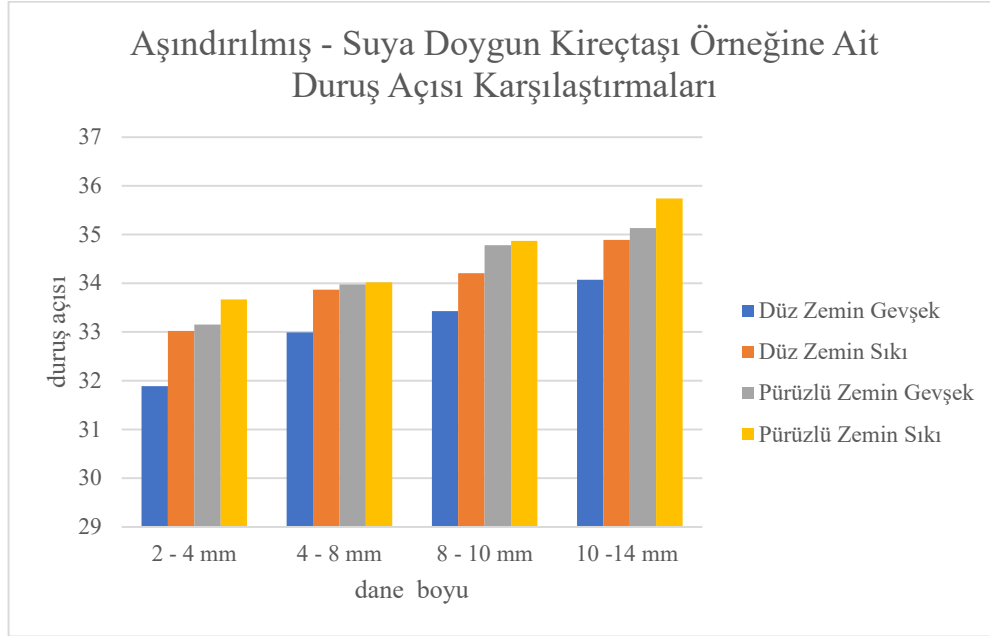


Şekil 6. Aşındırılmış, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

Aşındırılmış halde bulunan granüler malzemelerin suya doygun haldeki duruş açıları kuru haldeki duruş açılarından yüksek çıkmaktadır. Suya doygun halde bulunan granüler malzemelerden 0 - 2 mm boyutlarındaki örneklerden yığın oluşturulamamıştır. Suya doygunluk daneler arası çekim kuvvetini arttırdığından bir yığın meydana gelmemektedir. Dane boyu ve zemin pürüzlüğü arttığından duruş açısı da artmaktadır (Tablo 6) (Şekil 7).

Tablo 6. Aşındırılmış, suya doygun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

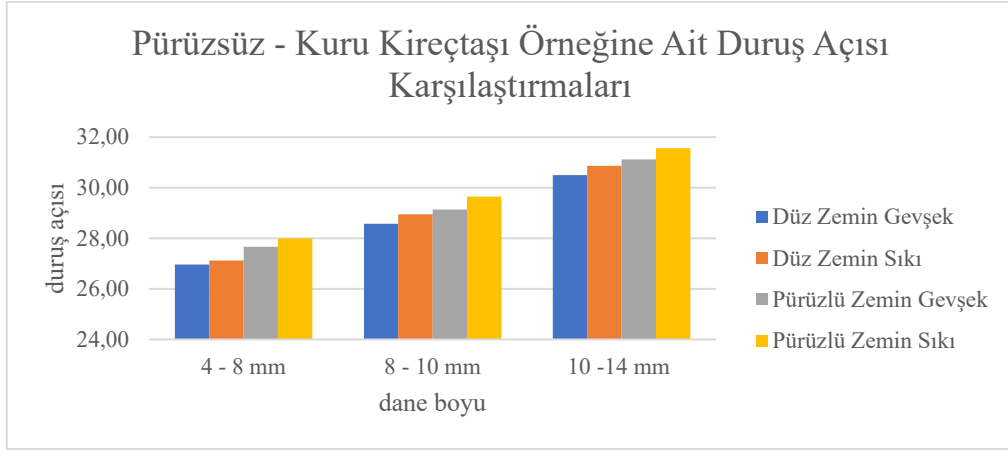
Aşındırılmış	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
Kireçtaşı	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Suya								
Doygun	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
2 - 4 mm	31,89	31,86	33,02	33,05	33,15	33,12	33,67	33,65
4 - 8 mm	32,99	33,01	33,87	33,84	33,98	33,92	34,02	34,08
8 - 10 mm	33,43	33,4	34,21	34,17	34,78	34,7	34,87	34,9
10 - 14 mm	34,07	34,16	34,89	34,33	35,13	35,24	35,74	35,69



Şekil 7. Aşındırılmış, suya doymuş kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları
Pürüzsüz danelerden oluşturulan yığınların duruş açıları da dane boyu arttıkça artmaktadır (Şekil 8). Pürüzsüz danelerden oluşturulan duruş açıları pürüzlü danelere göre düşüktür (Tablo 7).

Tablo 7. Pürüzsüz, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

Pürüzsüz Kireçtaşı Kuru	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
4 - 8 mm	26,96	26,95	27,12	27,10	27,66	27,68	27,99	27,95
8 - 10 mm	28,57	28,60	28,95	28,95	29,14	29,15	29,65	29,70
10 - 14 mm	30,50	30,43	30,87	30,77	31,12	31,01	31,56	31,51

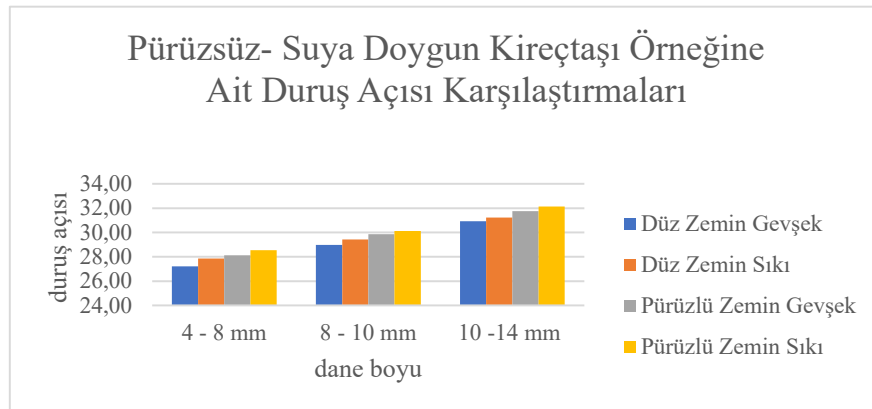


Şekil 8. Pürüzsüz, kuru kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

Pürüzsüz halde bulunan Kireçtaşı örneğine ait granüler malzemeler suya doygun hale getirildiğinde ölçülen duruş açısı değeri kuru halde ölçülen duruş açısı değerinden yüksek çıkmaktadır (Tablo 8) (Şekil 9). Şişlenmiş durumdaki açı değeri şişlenmemiş haldeki duruş açısından yüksek çıkmaktadır.

Tablo 8. Pürüzsüz, suya doygun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

Pürüzsüz	Düz Zemin				Pürüzlü Zemin			
Kireçtaşı	Gevşek		Sıkı		Gevşek		Sıkı	
Suya Doygun	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°	Makine°	Cetvel°
4 - 8 mm	27,21	27,34	27,87	27,85	28,12	28,15	28,54	28,51
8 - 10 mm	28,98	29,01	29,43	29,41	29,86	29,80	30,12	30,14
10 - 14 mm	30,92	30,99	31,23	31,10	31,76	31,80	32,14	32,08



Şekil 9. Pürüzsüz, suya doygun kireçtaşı örneğine ait duruş açısı karşılaştırmaları

4. SONUÇLAR

Bu çalışma granüler malzemelerin davranışının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Farklı boy ve çaplara sahip Kireçtaşlarından meydana gelen yığınlar oluşturulmuş ve bu yığınların duruş açıları belirlenmiştir. Kireçtaşı kayaçlarından 0 – 2 mm, 2 – 4 mm, 4 – 8 mm, 8 – 10 mm ve 10 – 14 mm boyutlarında ince ve iri granüler malzemeler elde edilmiştir. Farklı çap ve litolojiye ait granüler malzemeler üzerinde Slump deney aleti kullanılarak, duruş açıları hesaplanmış ve aralarındaki ilişki incelenmiştir.

Pürüzlü dane, aşındırılmış dane ve pürüzsüz dane kullanılarak pürüzlülüğün duruş açısına etkisi hesaplanmıştır. Danelerin pürüzlülüğü arttıkça sürtünme arttığından dolayı duruş açısı da artmaktadır (Pürüzlü dane 33.46°, aşındırılmış dane 31.13°, pürüzsüz dane 29.16°).

Daneler suya doymun hale getirilerek nemin duruş açısına etkisi ölçülmüştür. Nem içeriği kohezyonu arttıracığından danelerin birbirlerine yapışması artacağından duruş açısı da artmaktadır (Nemli numune 32.48°, Kuru numune 31.12°).

Duruş açısının oluşturulduğu zeminin duruş açısına etkisi ölçülmüştür. Düz zemin ve pürüzlü zemin arasında duruş açıları karşılaştırılmıştır. Pürüzlü zeminde oluşturulan duruş açısı sürtünmeden kaynaklı olarak daha yüksek açı değeri göstermektedir (Düz Zemin 31.77°, Zımpara zemin 32.76°).

Agregalar iyi sıkıştırıldığı takdirde sağlamlığı, dayanıklılığı ve yüksek kayma direncinden dolayı yüksek duruş açıları vermektedir (Şişlenmiş agrega 33.14°, şişlenmemiş agrega 31.75°). Bu çalışmada literatürdeki diğer yöntemlere göre daha basit ve kullanışlı olması hem de bir standart oluşturulması amacıyla Slump testi aleti kullanılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] M.B.H. Al-Hashemi, and S.B.O. Al-Amoudia, "A review on the angle of repose of granular materials." *Powder Technology*, 330, pp. 397–417, 2018.
- [2] F.T. Teferra, "Engineering properties of food materials." *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering*, 3, pp. 45-89, 2019.
- [3] M.A. Taşdemir, "Granüler Malzemelerin Duruş Açılarının Slump Deneyi ile Belirlenmesi ve Fraktal Katsayısı İle Sürtünme Açısının İlişkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2021.
- [4] K. Terzaghi, "Theoretical Soil Mechanics.", 1943.
- [5] J.R. Metcalf, "Angle of repose and internal friction." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 3, pp. 155-161, 1965.
- [6] J. Lee, and H.J. Herrmann, "Angle of repose and angle of marginal stability: molecular dynamics of granular particles." *Journal of Physics A Mathematical General*, 26, pp. 373-383, 1992.
- [7] J.E. Bowles, "Foundation analysis and design." 5th ed., McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1997.
- [8] A. Samadani, and A. Kudrolli, "Angle of repose and segregation in cohesive granular matter.", *Physical Review E*, 64, 2001.
- [9] Z. Chik, and L.E. Vallejo, "Characterization of the angle of repose of binary granular materials." *Canadian Geotechnical Journal*, 42, pp. 683–692, 2005.

- [10] Z. Liu, "Measuring the angle of repose of granular systems using hollow cylinders." Master's Thesis, University of Pittsburgh, 2011.
- [1 1] S. Arasan, "Görüntü analizi ile granüler zeminlerin bazı geoteknik özelliklerinin belirlenmesi" (Doktora Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, 2011.
- [12] P. Rouse, "Comparison of methods for the measurement of the angle of repose of granular materials." *Geotechnical Testing Journal*, 37 (1), pp. 164-168, 2014.
- [1 3] M.B.H. Al-Hashemi, and S.B.O. Al-Amoudia, "A review on the angle of repose of granular materials." *Powder Technology*, 330, pp. 397–417, 2018.
- [14] M.S. Masoudian, L.E. Zevgolis, A.V. Deliveris, A.M. Marshall, C.M. Heron, and N.C. Koukoulzas, "Stability and characterisation of spoil heaps in European surface lignite mines: a state-of-the-art review in light of new data." *Environmental Earth Sciences*, 78, 505, 2019.

Inpainting for Digital Images of Paintings

Şafak Altay Açar^{*,1}

^{*}safakaltay@karabuk.edu.tr, ORCID:0000-0001-6502-7456

¹Department of Computer Technologies, Yenice Vocational School, Karabük University, Karabük, Turkey

Abstract This paper presents two different inpainting methods which are developed specially for digital images of paintings. Colour classes and their neighbourhood relations with each other are used in the first method. In the second method, regression analysis is applied. Also, reference images are used to inpaint damaged image in both methods. Presented inpainting methods are tested with ten digital images of paintings. The second inpainting method is more successful according to the obtained results.

Keywords: *Inpainting, Painting, Regression Analysis*

I. INTRODUCTION

IMAGE processing applications have become very common in recent years. One of them, inpainting, is used to fill the gaps on the images. These gaps may have been caused by a damage or these gaps may have been created for deleting an object. Many academic studies are made on inpainting and restoration of paintings. Cornelis et al. [1] present a study which restores digitized paintings. They detect and inpaint cracks which are in the Ghent Altarpiece. Anitha et al. [2] propose a restoration approach for hidden paintings. A method which restores prehistoric Thera wall paintings, is presented by Karianakis and Maragos [3]. Jaidilert and Farooque [4] present a semi-automatic study which inpaints paintings. They use Thai mural painting images for experimental study. Zeng and Gong [5] propose a restoration research based on nearest neighbor for ancient Chinese paintings. A method for visual enhancement of paintings, is presented by Abraham and Latha [6]. They use discrete wavelet transform in their study. Hu et al. [7] present a method for inpainting quality evaluation. They applied the method to Thangka images. Wang et al. [8] propose a average-face-based inpainting method. They carry out the method for face images of Dazu Rock Carvings. Convolutional neural network and nearest neighbor based a restoration method is presented by Zeng et al. [9].

In this study, two different inpainting methods are presented. These inpainting methods are developed specially for digital images of paintings. There are three reference images whose painter is same. Colour information which is obtained these reference images are used to inpaint damaged image whose painter same is with reference images.

II. INPAINTING METHODS

A. First Inpainting Method

Each RGB colour value is divided into 3 ranges. These ranges are (0-84), (85-169) and (170-255). When different combinations of RGB values are calculated, 27 colour classes are created. All colour values around of each pixel in the three reference images are scanned. Thus, the most common colour class near the each colour class is determined. The process flow is shown in

Fig.1.

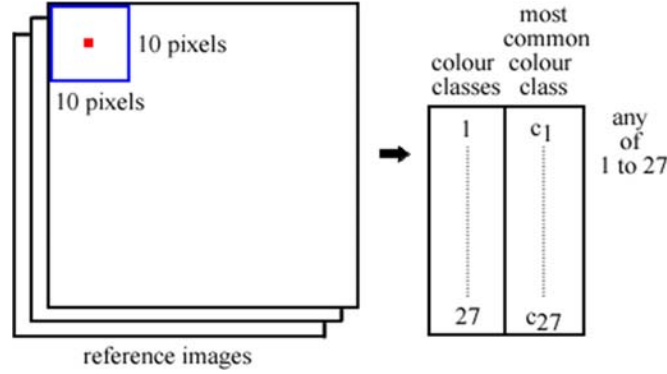


Fig. 1. Determination of related classes.

In damaged image inpainting process, firstly, the colour class of the pixel to the left of the pixel to be inpainted is detected. Then, the pixel is inpainted accordance with the most common colour class of the pixel on the left. Used equation is given in (1). In equation, cv is new colour value, mv is middle value of colour range (42, 127 or 212) and cl is colour of the pixel on the left. mv is determined according to the most common colour class of the pixel on the left. cv is calculated for each RGB colour values.

$$cv = (mv + cl)/2 \quad (1)$$

B. Second Inpainting Method

Regression analysis is used in this method. 100 neighbours pixel pairs are selected from each reference image. A regression model with 300 elements are created for each RGB colour value. The pixel to the left of the pair is accepted as independent variable and the pixel to the right is accepted as dependent variable. Inpainting process is applied to damaged image by utilizing these regression models. In order to create the appropriate functions, the least squares method is applied using the following equations [10]. In equations, Y and X are dependent and independent variables respectively.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = \beta_0 \sum_{i=1}^n X_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (4)$$

III. EXPERIMENTAL RESULTS

A software is developed by utilizing the c# programming language to evaluate the presented methods. Five paintings of five different painters are used in the experimental study. Twenty five different digital images of paintings are used in total. Ten of them are inpainted images and fifteen of them are reference images. Digital images of paintings are obtained from WikiArt [11]. Sample results obtained from inpainting processes are shown in Fig. 2. Paintings which are in

figure are painted by Edvard Munch.

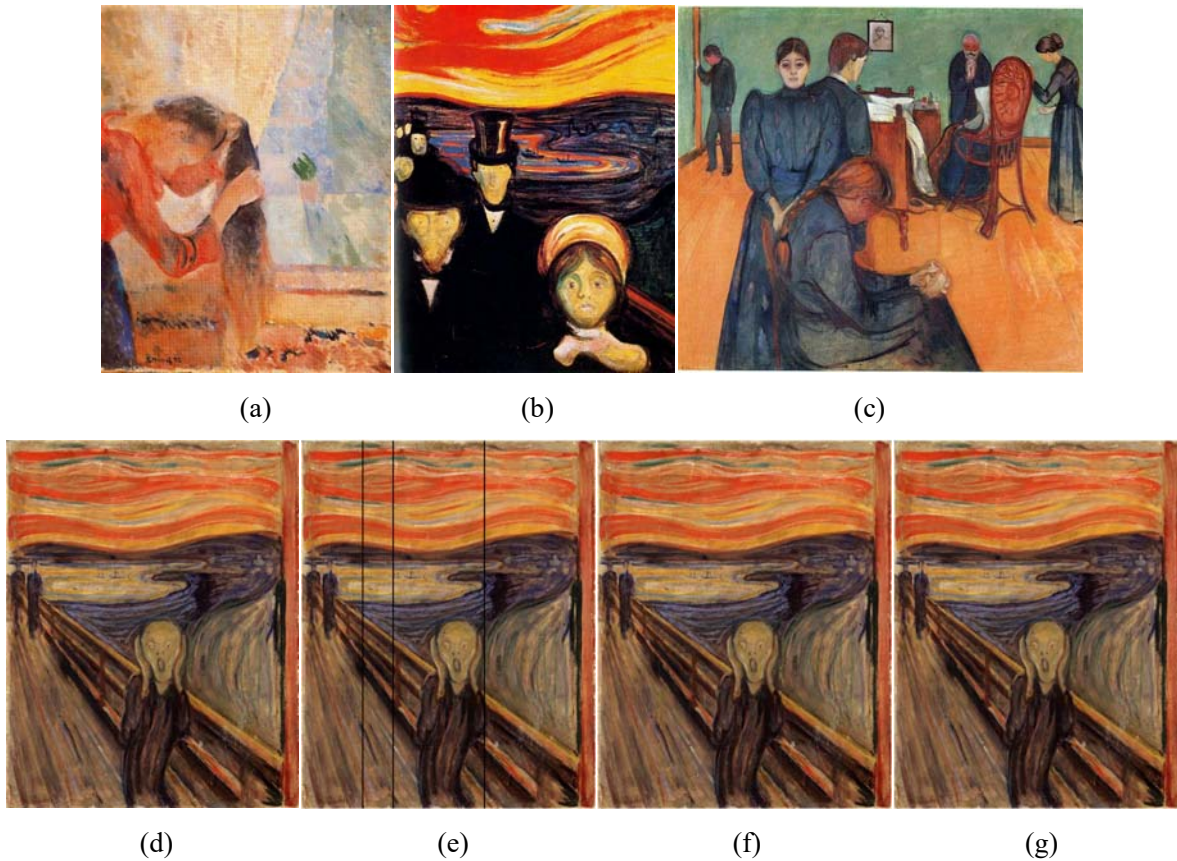


Fig. 2. Sample results a) first reference image (464x600 pixels) b) second reference image (461x600 pixels) c) third reference image (660x600 pixels) d) original image (483x600 pixels) e) damaged image f) inpainted image with first method (MAE: 13.74, 15.84, 13.83) g) inpainted image with second method (MAE: 8.06, 7.25, 6.75).

Damaged images are created in two different ways. In the first one, random three vertical black lines with one pixel wide are added to image. In the second one, lines with two pixel wide are used. Mean absolute errors (MAE) are calculated for each red, green and blue colour values to evaluate presented inpainting methods. Original image and inpainted image are compared pixel by pixel for this process. Tables I and II report evaluations.

TABLE I
EVALUATION OF FIRST INPAINTING METHOD

Image of Painting		Lines with one pixel wide			Lines with two pixels wide		
Painter	No.	MAE (red)	MAE (green)	MAE (blue)	MAE (red)	MAE (green)	MAE (blue)
Edvard Munch	1	11.81	12.45	11.72	13.74	15.84	13.83
	2	13.54	13.19	16.52	15.46	14.84	19.03
Gustav Klimt	3	17.82	23.24	20.39	17.86	23.57	21.15
	4	13.69	12.51	12.24	20.25	16.62	17.49
Johannes Vermeer	5	10.30	12.84	11.27	11.43	13.89	12.24
	6	15.26	12.49	10.33	17.58	14.89	14.25
Leonardo da Vinci	7	11.38	10.20	9.70	12.77	14.15	16.58
	8	14.28	13.17	13.56	16.61	15.70	15.29
Vincent van Gogh	9	10.66	12.98	16.13	17.06	17.43	20.74
	10	24.04	22.72	21.31	31.04	27.15	23.40
Average		14.28	14.58	14.32	17.38	17.41	17.40

TABLE II
EVALUATION OF SECOND INPAINTING METHOD

Image of Painting		Lines with one pixel wide			Lines with two pixels wide		
Painter	No.	MAE (red)	MAE (green)	MAE (blue)	MAE (red)	MAE (green)	MAE (blue)
Edvard Munch	1	5.68	5.22	5.02	8.06	7.25	6.75
	2	5.56	5.36	5.37	6.20	5.98	5.76
Gustav Klimt	3	17.19	19.23	18.92	19.40	26.16	21.05
	4	12.11	11.14	12.29	11.88	11.00	11.02
Johannes Vermeer	5	5.13	4.92	4.99	6.74	6.26	6.09
	6	7.68	7.64	7.79	6.41	5.35	5.49
Leonardo da Vinci	7	5.04	4.90	5.00	7.35	5.19	4.89
	8	5.25	5.59	6.78	5.92	5.67	5.88
Vincent van Gogh	9	9.29	8.63	9.34	8.93	9.10	11.92
	10	19.09	18.94	18.42	22.75	22.34	20.62
Average		9.20	9.16	9.39	10.36	10.43	9.95

When obtained experimental results are considered, the second inpainting method seems to be more successful because it has lower MAE values. When the damaged area is expanded, success rate decreases in the first inpainting method results but width of the damaged area don't affect much to second inpainting method.

IV. CONCLUSION

This study focuses on inpainting methods which are improved specially for digital images of paintings. Assuming that a painter uses colour tones in similar layouts in artworks, two different methods are developed. Both methods restore damaged image with the information obtained from the reference images of the same painter. At the end of the experimental studies, it is seen

that the second method gives better results.

Information obtained in different ways and more paintings will be use in further studies.

REFERENCES

- [1] B. Cornelis, T. Ružić, E. Gezels, A. Doods, A. Pižurica, L. Platiša, J. Cornelis, M. Martens, M. De Mey, and I. Daubechies, "Crack detection and inpainting for virtual restoration of paintings: The case of the Ghent Altarpiece," *Signal Processing*, vol. 93(3), pp. 605-619, 2013.
- [2] A. Anitha, A. Brasoveanu, M. Duarte, S. Hughes, I. Daubechies, J. Dik, K. Janssens, and M. Alfeld, "Restoration of x-ray fluorescence images of hidden paintings," *Signal Processing*, vol. 93(3), pp. 592-604, 2013.
- [3] N. Karianakis and P. Maragos, "An integrated system for digital restoration of prehistoric Theran wall paintings," *18th International Conference on Digital Signal Processing*, Fira, Greece, 2013.
- [4] S. Jaidilert and G. Farooque, "Crack detection and images inpainting method for Thai mural painting images," *IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing*, Chongqing, China, pp. 143-148, 2018.
- [5] Y. Zeng and Y. Gong, "Nearest neighbor based digital restoration of damaged ancient Chinese Paintings," *IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing*, Shanghai, China, 2018.
- [6] S. Abraham and Latha K.N., "Modified DeCanv Method for Quality Improvement using DWT in Digital Images of Paintings," *International Conference on Circuits and Systems in Digital Enterprise Technology*, Kottayam, India, 2018.
- [7] W. Hu, Y. Ye, F. Zeng, and J. Meng, "A new method of Thangka image inpainting quality assessment," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 59, pp. 292-299, 2019.
- [8] H. Wang, Z. He, Y. He, D. Chen, and Y. Huang, "Average-face-based virtual inpainting for severely damaged statues of Dazu Rock Carvings," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 36, pp. 40-50, 2019.
- [9] Y. Zeng, Y. Gong, and X. Zeng, "Controllable digital restoration of ancient paintings using convolutional neural network and nearest neighbor," *Pattern Recognition Letters*, vol 133, pp. 158-164, 2020.
- [10] T.P. Ryan, *Modern Regression Methods*, John Wiley & Sons, New York, pp.3-8, 1997.
- [11] Wikiart Visual Art Encyclopedia, <https://www.wikiart.org/>, 2021.

Cennetyatağı Mahallesi'ndeki Zeminlerin (Edremit-Balıkesir, Türkiye) Sıvılaşma Potansiyeli

Liquefaction Potential of Soils in Cennetyatağı Neighborhood (Edremit-Balıkesir, Turkey)

Şener Ceryan^{*1}, Esra Arık Saygı², Osman Samed Özkan², Nurcihan Ceryan³

^{*}sceryan@balikesir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1927-6985

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

³Balıkesir Meslek Yüksek Okulu, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

Özet: Akçay Mahallesi (Edremit- Balıkesir, Türkiye) yerleşim alanı, çalışma alanı sismik riski yüksek bir bölgede yer almaktadır. Esas olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (NATZH) güney kolu, Edremit Fay Zonu ve Havran-Balıkesir Fay Zonu'nun etkisi altındadır. Genel olarak, çakıllı siltli kumların bulunduğu çalışma alanının çoğunda yeraltı suyu seviyesi 8 m'den düşüktür. Bu nedenle, çalışma alanındaki zemin profili için sıvılaşma analizi, standart penetrasyon darbe sayısı esas alınarak Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi ve Sıvılaşma Şiddet İndeksine göre yapılmıştır. Bu analizlerde kullanılan jeofizik veriler, sondaj logları ve laboratuvar analizleri, Büyükşehir Belediyesi ile Balıkesir Üniversitesi arasında yapılan protokole göre Balıkesir Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir. Bu çalışmada ortaya konulan senaryo deprem olası bir deprem olarak alındığında, çalışma alanının % 28,8'inde sıvılaşma meydana gelmeyecek, söz konusu alanın% 14'ünde sıvılaşma "Çok Düşük Şiddetli", inceleme alanının% 21,8'inde sıvılaşma "Düşük" yoğunlukta ve çalışma alanının % 35,3'ünde de sıvılaşma "Orta" şiddette olacaktır.

Anahtar Kelimeler Edremit Fay Zonu, SPT-N, Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi, Sıvılaşma Şiddet İndeksi

Abstract The settlement area of Akçay Neighborhood (Edremit-Balıkesir, Turkey), the study area is located in a region with a high seismic risk. It is mainly under the influence of the southern branch of the North Anatolian Fault Zone Edremit Fault Zone, and the Havran-Balıkesir Fault Zone. Generally, the groundwater level is lower than 8 m in most of the study area where gravelly silty sands are found. Therefore, the liquefaction analysis for the soil profile in the study area were made according to the Liquefaction Potential Index and Liquefaction Severity Index based on the standard penetration impact number. The geophysical data, drilling logs and laboratory analyzes used in these analyses were obtained from the Balıkesir Metropolitan Municipality according to protocol between the Metropolitan Municipality and Balıkesir University. When the scenario earthquake set out in this study is taken as a possible earthquake, liquefaction will not occur in 28.8% of the study area, liquefaction will be "Very Low Intensity" in 14%, of the said area, liquefaction in 21.8% of the

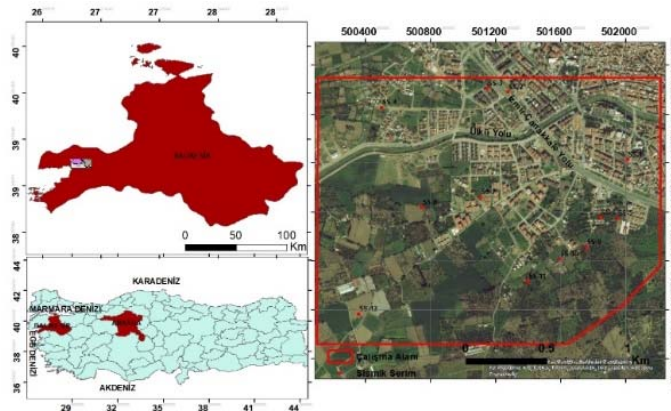
study area is at "Low" intensity , and in 35.3% of the study area, liquefaction will be of "Moderate" severity.

Keywords Edremit Fault Zone, SPT-N, Liquefaction Potential Index, Liquefaction Severity Index

1. GİRİŞ

Ülkemizde en büyük can ve mal kaybına neden olan doğal afetler depremlerdir. Deprem tehlikelerine karşı güvenlik kavramı iki yönlü bir unsura sahiptir; birincisi yapı yerinin dinamik (deprem) kuvvetler etkisindeki davranışı, ikincisi ise dinamik kuvvetlere karşı yapı güvenliğidir. Tekrarlı yüklemeler altında, artan boşluk suyu basıncı siltli kumlu zeminlerde kayma deformasyonuna bağlı olarak, zemin tanelerini sıkıştırmaya çalışır. Deprem sırasında boşluk suyu basıncındaki artış zeminin bu kısa sürede drene olmayışından dolayı taneler üzerindeki etkin gerilmenin azalmasına neden olur. Bu azalım sıfıra ulaşır ise "zemin sıvılaşması" meydana gelir. Deprem sırasında gelişen zemin sıvılaşması çeşitli tür ve büyüklükteki yapılarda taşıma gücü kaybı, oturma, yanal akma gibi çeşitli zemin deformasyonları sonucunda hasarlar meydana getirmektedir. Bu hasarların gelişmesi can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir

Balıkesir il sınırları içinde Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait fay segmentleri, Edremit Fay Zonu ile Balıkesir il merkezinden geçen Havran-Balıkesir Fay zonu ve güneydeki Simav fayı önemli sismojenik zonlardır. Edremit Fay Zonu ve Havran-Balıkesir Fay Zonu boyunca yapılan paleo-sismoloji çalışmaları, bu fay zonlarına ait segmentlerin tarih öncesi, tarihsel ve aletsel dönemde inceleme alanında içinde olduğu Balıkesir ili ve çevresinde meydana gelen ve yüzey kırığı oluşturan depremlerden sorumlu olduklarını ortaya çıkarmıştır [1]. İnceleme alanı olan Cennetyatağı Mahallesi (Edremit, Balıkesir) (Şekil 1) yerleşim alanında Kuvaterner yaşlı çoğunlukla kumlu siltli alüvyonlar yayılım göstermektedir. Oldukça düşük eğime sahip olan bu alanda yeraltı suyu derinliği çoğunlukla 6 m'den azdır. Bu jeolojik-jeomorfolojik ve sismik özellikleri nedeniyle söz konusu alandaki alüvyonlarda sıvılaşma tehlikesi olduğu görülmektedir. Bu çalışmada söz konusu alanın sıvılaşma potansiyeli Boulanger ve Idriss [2] tarafından verilen deterministik ve olasılık yöntemi bulunmuştur.

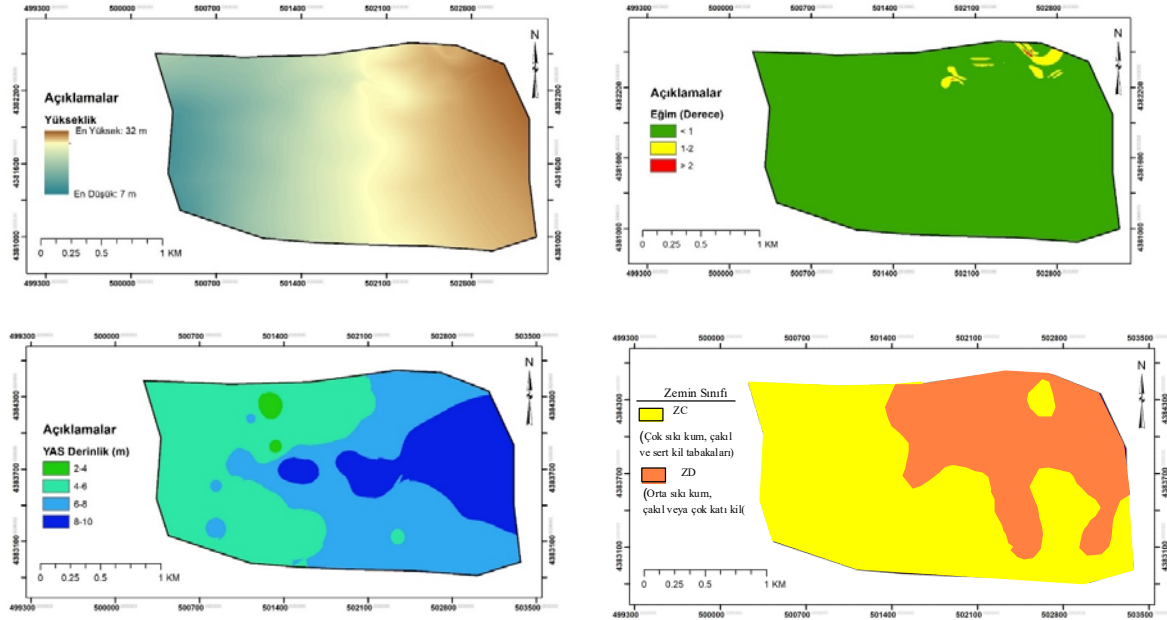


Şekil 1. Yerbulduru haritası

Bu çalışmada kullanılan jeofizik verileri, sondaj logları ve laboratuvar analizleri Büyükşehir Belediyesi tarafından Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık Madencilik San. Ve Ticaret Ltd. Sirketine yaptırılan ve 2017 yılında tamamlanan “Balıkesir İli Edremit İlçesi 4906.79 Hektarlık Alanın İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt Raporu”ndan [3] BAUN rektörlüğü ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı tarafında imzalanan protokol kapsamında Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı’ndan ücretsiz olarak temin edilmiştir. Çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritaları oluştururken makamsal analizler BAUN Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında lisanslı olarak kurulu olan Esri ArcGIS (Ver. 10.2) programı kullanılmıştır

II. TOPOGRAFIK ÖZELLİKLER, YERALTI SU DERİNLİĞİ, YEREL ZEMİN SINIFI VE ZEMİNİN GÖRECELİ SIKLIĞI

Sıvılaşma potansiyelinin ön tahmininde kullanılan topoğrafik özellikler, jeolojik ve jeoteknik ve yeraltı suyu durumu ile ilgili ölçütler açısından inceleme alanının değerlendirilmesi amacıyla sayısal yükseklik modeli, eğim haritası, yeraltı su derinliği ve yerel zemin sınıfının dağılımını gösteren haritalar hazırlanmıştır (Şekil 2)



Şekil 2. Cennetyatağı Mahallesi’nin sayısal yükseklik modeli, eğim haritası, yeraltı su derinliği ve yerel zemin sınıfı haritası

Çalışma alanındaki zeminleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne [4] göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflamada 30 m. derinliğe kadar zemin profilinin ortalama S-dalga hızı ((V_s)₃₀) değeri esas alınmıştır (Eşitlik 1). Eşitlikte, V_{si} i’inci tabakada ölçülen S-dalgası hızı, h_i ise i’inci tabakanın kalınlığıdır.

$$(V_s)_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

İnceleme alanının yüksekliği en düşük 7 m iken en fazla 32 m olup, yükseklik inceleme alanının batısından doğusuna doğru düzenli olarak artmaktadır. İnceleme alanının yaklaşık tamamında eğim 2 dereceden düşüktür. YAS derinliğinin batıdan doğuya doğru arttığı, inceleme alanının %26'sında YAS derinliği 8-10 m arasında, %33'ünde 6-8m arasında, %38'inde 4-6m arasında iken %3'ünde ise 4 m. den düşüktür. İnceleme alanındaki zeminlerin %34.5' i ZC sınıfında (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları), %65.5'i ise ZD sınıfında (Orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil) olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki zeminlerde arazide son 30 cm için elde edilen SPT-N değerleri [5]'de verilen bağıntı ile (Eşitlikler 2 ve 3) düzeltilerek $(N)_{60}$ değeri ve bu değerde üst tabaka yükü düzeltme katsayısı ile düzeltilerek $(N1)_{60}$ değerleri hesaplanmıştır. $(N)_{60}$ 'ın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi Tablo I'de verilmiştir.

$$(N)_{60} = SPT - N(C_E C_B C_R C_S) \quad (2)$$

$$(N1)_{60} = (N)_{60}(C_N) \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, SPT-N son 30 cm için ölçülen SPT darbe sayısı, C_N üst tabaka yükü düzeltme katsayısı, C_E : Enerji oranı düzeltme katsayısı, C_B : Kuyu çapı düzeltme katsayısı, C_R tij boy düzeltme katsayısı ve C_S numune alma metodu düzeltme katsayısıdır.

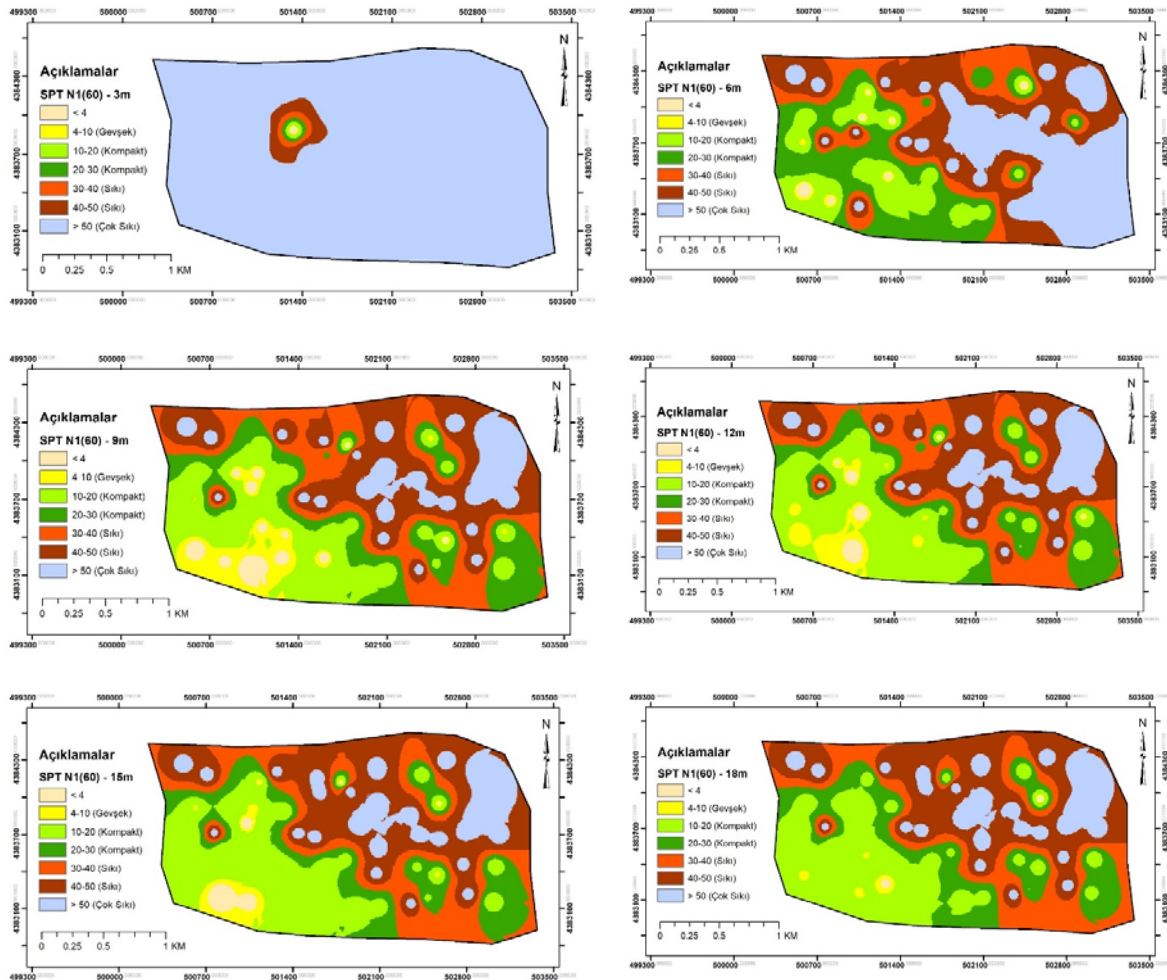
Örtü yükü düzeltme katsayısı, C_N [6] ve [7]'de verilen eşitlikle tanımlanmıştır (Eşitlik 3). Eşitlikte verilen $(N1)_{60,CS}$ değeri ince tane oranına göre düzeltilmiş $(N1)_{60}$ değeridir. Eşitlikte Pa değeri 100Kpa veya 1atm'e eşittir.

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_v} \right)^m \leq 1.7, \quad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N1)_{60cs}} \quad (3)$$

Tablo I $(N1)_{60}$ 'ın belirlenmesi için kullanılan düzeltme katsayılarının seçimi[5]

Faktör	Ekipman Değişkeni	Sembol	Düzeltilme
Enerji Oranı	1-Donut Türü Çekiç	C_E	0.5 - 1.0
	2-Safety Türü Çekiç		0.7 - 1.2
	3-Automatic-Trip Donut-Türü Çekiç		0.8 - 1.3
Kuyu Çapı	1-65 mm ile 115 mm	C_B	1.00
	2-150 mm		1.05
	3-200 mm		1.15
Tij Uzunluğu	1-3m ile 4m	C_R	0.75
	2-4m ile 6m		0.85
	3-6m ile 10m		0.95
	4-10m ile 30m		1.00
	5- >30m		>1.00

Terzaghi ve Peck [8] sınıflaması esas alındığında, çalışma alanında 3 m derinlikte zeminlerin %97'si "Sıkı", yaklaşık %2'si "Orta sıkı" durumdadır. 6 m. derinlikte zeminlerin %1,9'u "Çok Gevşek", %49.4'ü "Gevşek", %25.4'ü "Orta sıkı", % 23.3'ü "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 9m derinlikteki zeminlerin %4.6'sı "Çok Gevşek", %23.6'sı "Gevşek", %36.6 'sı "Orta sıkı", % 35'i "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 12 m derinlikteki zeminlerin %0.9'u "Çok Gevşek", %27.7'si "Gevşek", %35.9 'u "Orta sıkı", % 35.6'sı "Sıkı" durumda, 15 m derinlikteki zeminlerin %0.5'si "Çok Gevşek", %24.5'i "Gevşek", %35.7 'si "Orta sıkı", % 39.2'i "Sıkı" durumda ve 18 m derinlikteki zeminlerin %16.9'u "Gevşek", %41.2'si "Orta sıkı", % 41.9'u "Sıkı" durumda oldukları görülmüştür.



Şekil 3. Düzeltilmiş SPT-N değerine göre tanımlanmış zemin sıklığının farklı derinliklerde mekânsal değişimi

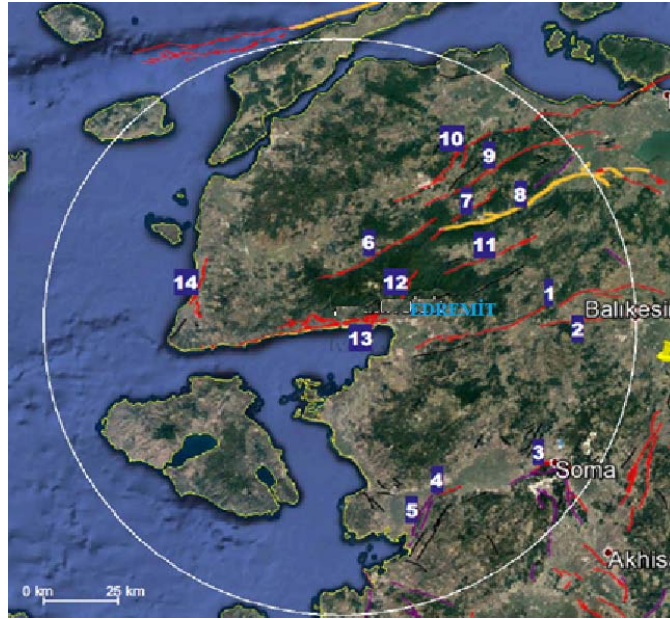
III. DETERMİNİSTİK VE OLASILIK DEPREM TEHLİKE ANALİZLERİ

İnceleme alanını etkileyecek en büyük yer ivmesini oluşturacak deprem senaryolarını oluşturabilmek için söz konusu alana en fazla 100 km uzaklıkta olan fay zonları/segmentleri dikkate alınmıştır (Şekil 4). Şekil 4’da 100 km yarıçaplı daire içinde kalan aktif fayların ve fay

zonlarının konumları ve özellikleri [9],[10] ve [11]'den alınmıştır. İnceleme alanını etkileyecek bu fayların üretebileceği olası depremlerin Moment büyüklüğü (M_w) değerleri Wells ve Coppersmith [12] tarafından önerilen eşitlik ile hesaplanmıştır (Eşitlik 4).

$$M_w = a + b \log (SRL) \quad (4)$$

Eşitlik 4'de SRL beklenen yüzey kırığının (ya da tasarım depremini üretmesi beklenen fay segmentinin) uzunluğu (km) olup, a ve b katsayıları fayın türüne bağlıdır. Doğrultu atımlı faylar için $a=5.16$ $b=112$, normal faylar için $a=4.86$ $b=1.32$ ve ters faylar için $a=5.0$ $b=1.22$ olarak alınmaktadır. Fayın türü dikkate alınmadığında ise $a=5.08$ ve $b=1.16$ olarak alınmaktadır [12].



Şekil 2. İnceleme alanını etkileyen faylar ve fay zonları (1: Havran-Balya Fayı, 2: Balıkesir Fayı Gökçeyazı Segmenti, 3: Soma-Kırkağaç Fay Zonu, 4: Bergama Fayı, 5: Zeytinadağ Fay Zonu, 6:Evciler Fayı, 7:Bekten Fayı, 8: Yenice Gönen Fayı, 9: Sarıköy Fayı, 10: Biga-Çan Fay Zonu, 11: Pazarköy fayı 12: Edremit Fayı Altınoluk Segmenti, 13: Edremit Fayı Zeytinlik Segmenti, 14: Kestanbol Fayı [11]

Senaryo depremlerin oluşturacağı en büyük yatay yer ivmesinin belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 5) [13]

$$a_{max} = 2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_e + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitlikte a_{max} en büyük yer ivmesi, M_w moment büyüklüğü, R_e depremin merkez üstüne olan uzaklık, S_A ve S_B yerle zemin koşullarını tanımlayan sabitlerdir. Kaya olması durumunda $S_A = S_B = 0$, zemin koşullarında $S_A = 1$ ve $S_B = 0$, yumuşak zemin koşullarında ise $S_A=0$ ve $S_B = 1$ 'dir [13]. İnceleme alanını etkileyecek fayların (iz uzunluğu (SRL), yerleşim alanına uzaklıkları (R_e), oluşturabilecekleri deprem büyüklükleri (M_w) ve en büyük yer ivmesi (a_{max}) Tablo II'de verilmiştir.

Deprem gibi doğada rastgele meydana gelen olayların Poisson olasılık dağılımıyla sürekli zaman modellemesi önerilmektedir [14]. Bu sürekli zaman modelinde belirli bir zaman aralığında (t) belirli bir sayıda (n) olayın gerçekleşme olasılığı ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$P[N(t) = n] = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} \quad (6)$$

Burada, λ söz konusu olaya ilişkin gerçekleşme olasılığı, n gerçekleşme sayısı olup, t ise zaman aralığıdır.

Tablo II
Cennetyatağı Mahallesi ve civarında etkili olacak olası deprem senaryoları

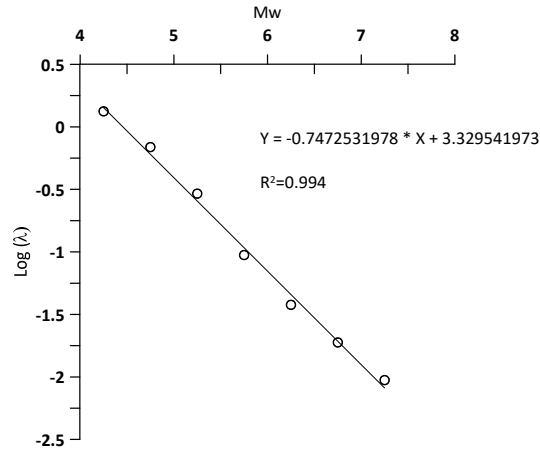
No	FAY	Segment	SRL (km)	R _e (km)	M _w	a _{max} (gal)
1	Havran-Balya Fayı		85,3	26,02	7,3	251,1
2	Balıkesir Fayı	Gökçeyazı	39,2	65,79	6,9	79,4
3	Soma-Kırkağaç Fay Zonu		31,7	79,84	6,8	54,1
4	Bergama Fayı		9,3	66,35	6,2	46,3
5	Zeytindağ Fay Zonu		18,24	65,16	6,5	60,8
6	Evciler Fayı	2	46,4	15,73	7,0	251,5
7	Bekten Fayı	2	16,2	49,77	6,5	81,5
8	Yenice Gönen Fayı		88,1	45,9	7,3	164,7
9	Sarıköy Fayı	2	64,44	47,2	7,1	142,8
10	Biga-Çan Fay Zonu		59,7	41,53	7,1	157,1
11	Pazarköy Fayı	2	33,63	38,18	6,8	137,0
12	Edremit Fayı	Altınoluk	62,8	1,1	7,2	386,5
13	<i>Edremit Fayı</i>	<i>Zeytinli</i>	<i>29,1</i>	<i>3,6</i>	<i>6,78</i>	<i>270,3</i>
14	Kestanbol Fayı		22,1	48,62	6,6	93,3

Cennetyatağı Mahallesi merkezli 100 km çaplı alanda meydana gelen depremlerin büyüklüğü ve yıllık kümülatif oluş sayıları arasındaki ilişki Tablo III ve Şekil 3’de verilmiştir. Bu ilişki esas alınarak, belirli büyüklükteki bir depremin 10 yıl, 50 yıl, 75 yıl ve 100 yıllık zaman aralıkları içinde aşılma olasılıkları Poisson dağılım modeli kullanılarak bulunmuştur (Tablo IV). Deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü’nden alınmıştır. Tablo III’de x_i sınıf orta değerini, N frekansı, ΣN den fazla kümülatif frekansı, t yıl olarak süreyi ve λ_m ise magnetüdü m olan depremin yılda ortalama aşılma oranını göstermektedir.

Tablo IV

Son 106 yıl (t) içinde inceleme alanını ve 100 km yakın çevresinde meydana gelen deprem büyüklüğünün sınıflandırılması, bu sınıflara ait kümülatif değerler ve depremlerin dönüş periyodu

M_w Sınıfı	x_i	(N)	ΣN	λ_m	Dönüş periyodu (yıl)	$\log \lambda_m$
4-4,5	4.25	68	141	1,330189	0,751773	0,123913
4.5-5,0	4.75	42	73	0,688679	1,452055	-0,16198
5.0-5,5	5.25	21	31	0,292453	3,419355	-0,53394
5,5-6	5.75	6	10	0,09434	10,6	-1,02531
6-6,5	6.25	2	4	0,037736	26,5	-1,42325
6.5-7	6.75	1	2	0,018868	53	-1,72428
>7	7.25	1	1	0,009434	106	-2,02531



Şekil 3. Son 106 yıl içinde Cennetyatağı Mahallesi'ne en fazla 100 km uzak alanlarda meydana gelen deprem büyüklüğünün $\log(\Sigma N/t)$ ile ilişkisi

IV. ZEMİN TABAKALARININ SIVILAŞMAYA KARŞI GÜVENLİK SAYISI VE SIVILAŞMA OLASILIKLARI

Cennetyatağı Mahallesi'nde (Edremit-Balıkesir) yapılan sondajlarla tanımlanmış zemin profilindeki her bir katmanın sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı (F_L) ve sıvılaşma olasılığı (P_L) Boulanger ve Idriss [2]'in önerdiği yaklaşımla bulunmuştur. (Eşitlik 7). Bu tanıma göre $F_L > 1$ ise zemin sıvılaşmazken $F_L < 1$ ise sıvılaşma meydana gelecektir.

$$F_S = \left(\frac{CRR}{CSR} \right) \quad (7)$$

Burada CRR tekrarlı gerilmeye karşı dayanım oranı, CSR ise tekrarlı gerilme oranıdır.

Seed ve Idriss [15]'in basitleştirilmiş yöntemde verilen ilişki Idriss ve Boulanger [6, 7] tarafından 7.5 büyüklüğündeki deprem ve 1 atm basıncındaki efektif gerilme için ((CRR_{7.5}, $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$) güncellenmiştir (Eşitlik 8)

$$CSR_{7.5, \sigma'_v = 1 \text{ atm}} = 0.65 \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \left(\frac{a_{max}}{g} \right) (r_d) \left(\frac{1}{MSF} \right) \left(\frac{1}{K_\sigma} \right) \quad (8)$$

Yukarıdaki eşitlikte, a_{max} en büyük yatay yer ivmesi (gal), g yer çekimi ivmesi (gal), r_d zemin kolonun rijitliği için düzeltme, m zemin kolonunun kütlesi, γ zeminin birim hacim ağırlığı, σ'_v ve σ'_v düşey gerilme ile efektif düşey gerilmedir.

Tablo V
Cennetyatağı Mahallesi merkezli ve 100 km çaplı alan için belirli deprem büyüklüklerinin belirlenen zaman aralığı içinde aşılma olasılıkları (P: dönüş periyodu)

M_w	P (yıl)	Verilen yıl içinde aşılma olasılıkları					
		10 yıl	20 yıl	30 yıl	50 yıl	75 yıl	100 yıl
5	2.6	98.0	100	100	100	100	100
5.5	6	80.9	96.3	99.3	100	100	100
6	14.3	50.3	75.3	87.7	97.0	99.5	99.9
6.5	33.7	25.6	44.7	58.9	77.2	89.1	94.8
7	79.7	11.8	22.2	31.3	46.5	60.9	71.4
7.5	188.3	5.2	10.1	14.7	23.3	32.8	41.1

Zemin rijitliği için düzeltme katsayısı (r_d) [5]'te verilen ve derinliğe (z , metre) bağlı olarak tanımlanan eşitlikle bulunmuştur (Eşitlik 9).

$$r_d = \frac{(1.00 - 0.4113z^{0.5} + 0.0452z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 + 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (9)$$

Eşitlik 9'da MSF beklenen deprem büyüklüğüne (M_w) göre hesaplanan deprem büyüklüğü düzeltme faktörü olup aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır

$$MSF = \left(\frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \right) \quad (10)$$

K_σ ise örtü yükü düzeltmesidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Eşitlik 11) [2]. Burada P_a 1 atm basıncı, σ'_v efektif gerilme, $(N_1)_{60cs}$ ise ince tane oranına göre yeniden hesaplanmış düzeltilmiş SPT-N değeridir.

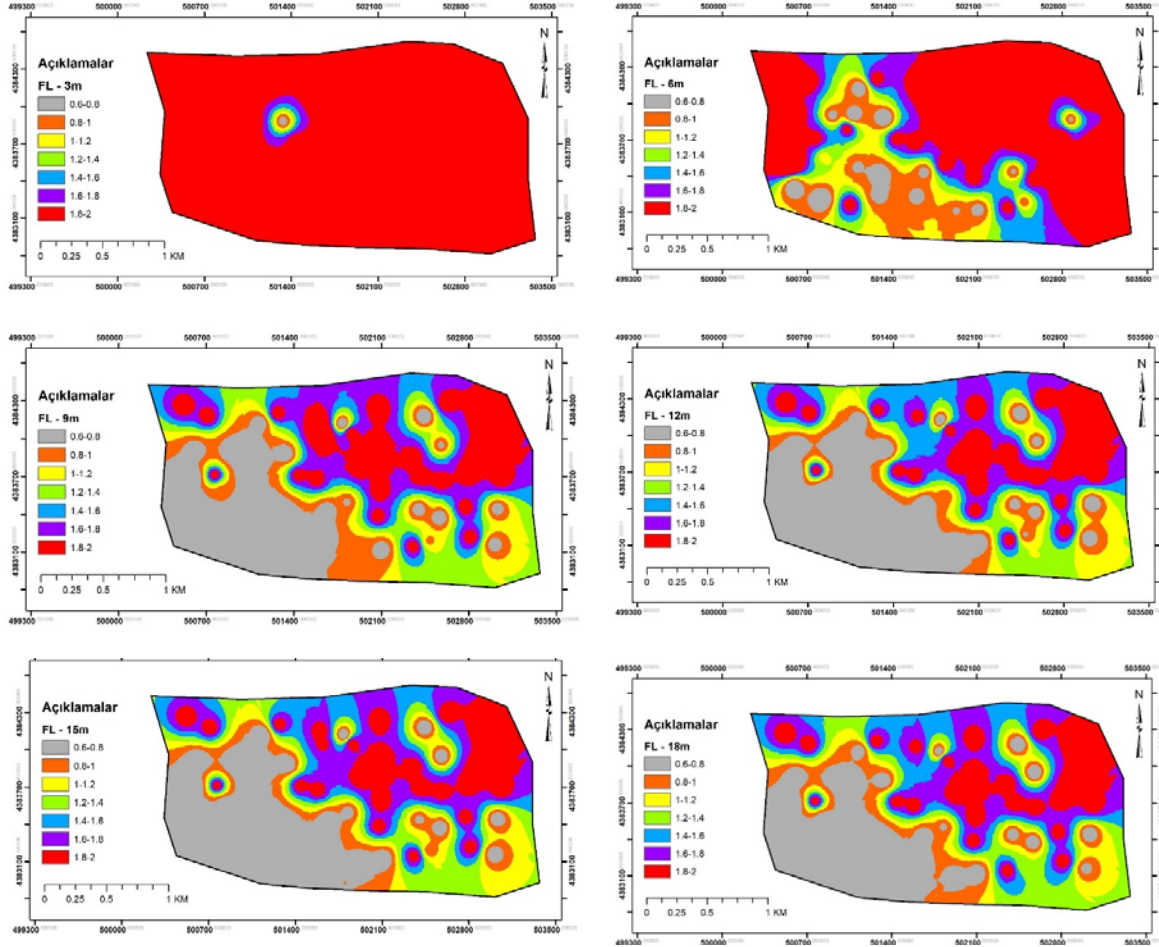
$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1.0 \quad (11a)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3 \quad (11b)$$

$M_w=7.5$ büyüklüğündeki deprem ve 1 atm düşey efektif gerilme için tekrarlı gerilmeye karşı dayanım oranı ($CRR_{M_w=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}}$) aşağıdaki eşitlikle bulunmuştur (Eşitlik 12) [2]

$$CRR_{M_w=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}} = \exp \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right] \quad (12)$$

İncelenen zemin profillerindeki zemin katmanları için bulunan sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının farklı derinliklerdeki mekânsal dağılımı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Zemin katmanları için bulunan sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının farklı derinliklerde mekânsal dağılımı

İncelenen zemin tanelerinin sıvılaşma olasılığını bulmak için de Boulanger ve Idriss [2] tarafından verilen yöntem (Eşitlik 13) uygulanmıştır. Burada, Φ standart kümülatif normal olasılık dağılımı göstermektedir.

$$P_L = \Phi\left\{-\left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4}\right)^4 - 2.67 - \ln(CSR_{7.5, \sigma'_v=1atm})\right]/0.13\right\}$$

V. SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDEKSİ, SIVILAŞMA ŞİDDETİ İNDEKİ VE MEKÂNSAL DAĞILIMLARI

Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı (F_L), bir zemin katmanının sıvılaşabileceğini veya sıvılaşamayacağını, ancak şiddet derecelerini hesaba katmadan kestirmek için kullanılmaktadır. Bir zemin tabakasının sıvılaşmasının mühendislik yapılarına olası hasar üzerindeki etkisi, sıvılaştırılabilir zemin tabakasının kalınlığına, derinliğine ve sıvılaşma şiddetine bağlıdır [16,17]. F_L 'nin bazı sınırlamalarının üstesinden gelmek için Iwasaki ve çalışma arkadaşları [16] sıvılaşma hasar riskini tahmin etmek için kullanılan Sıvılaşma İndeksini (LI) tanımlamıştır. Bu Sıvılaşma İndeksi ile Sıvılaşma potansiyeli olmayan ($F_L \gg 1$) alanlar tanımlanamamakta ve “Orta sıvılaşma potansiyeli” sınıfını içermemektedir. Bu nedenle Sönmez [17] söz konusu yaklaşımı aşağıdaki

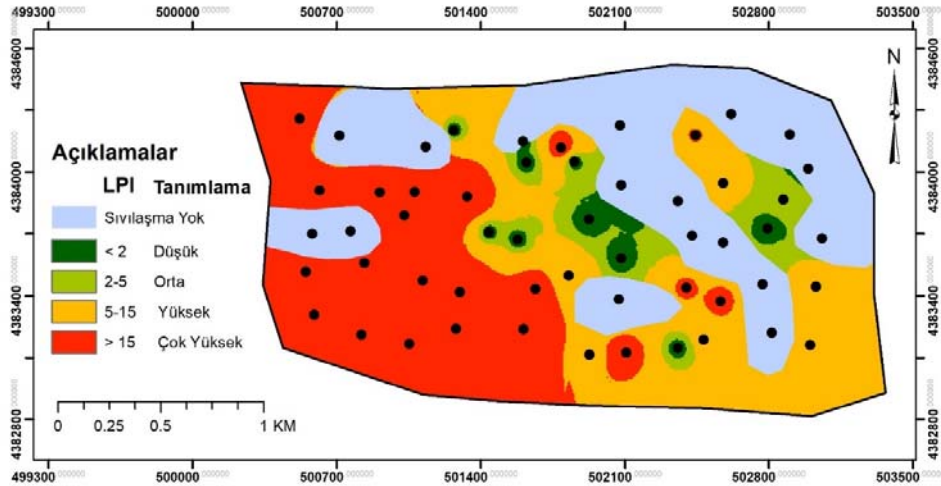
şekilde yeniden düzenlemiş (Eşitlik14) ve sıvılaşma potansiyelinin tanımlamasını Sıvılaşma İndeksi'ne (LPI) göre yeniden yapmıştır. Yeniden düzenlenen sınıflamaya göre sıvılaşma indeksi 0 ise “Sıvılaşma yok”, <2 ise “Sıvılaşma potansiyeli düşük”, 2 ile 5 arasında ise “Sıvılaşma potansiyeli orta”, 5 ile 15 arasında ise “Sıvılaşma potansiyeli yüksek” ve >15 ise “Sıvılaşma potansiyeli çok yüksek” tanımlamaları yapılmaktadır

$$L_1 = \int_{Z=0}^{Z=20} W(z)F(z)dz \quad (14a)$$

$$z < 20 \text{ m ise } W(z) = 10 - 0.5z \text{ ve } z \geq 20 \text{ m ise } W(z) = 0 \quad (14b)$$

$$F_L \geq 1.2 \text{ ise } F(z)=0, 1.2 > F_L > 0.95 \text{ ise } F(z)=2 \times 10^6 e^{-18.427F_L} \text{ ve } F_L < 0.95 \text{ ise } F(z)=1 - F_L \quad (14c)$$

Cennetyatağı Mahallesi için Sıvılaşma İndeksi'nin mekansal dağılımı; söz konusu alanın sıvılaşma potansiyeli haritası Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Cennetyatağı Mahallesi'nin Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi'ne [18] göre oluşturulmuş sıvılaşma potansiyeli haritası

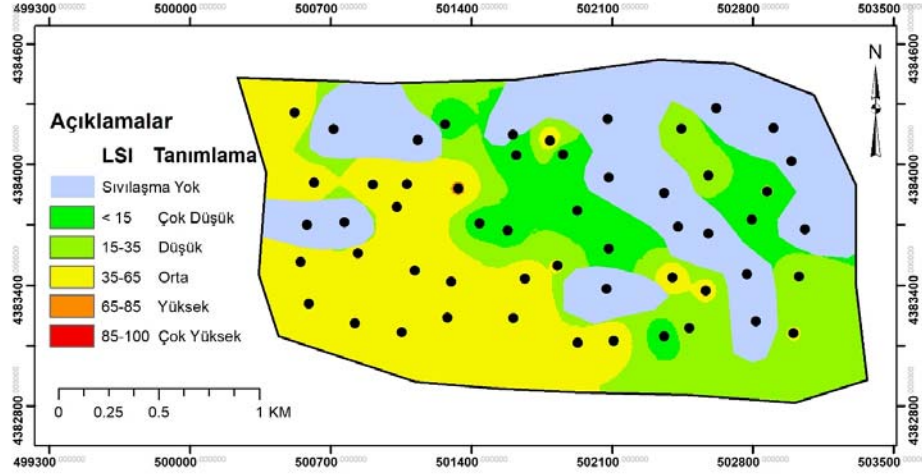
Iwasaki ve çalışma arkadaşları'nın [16] önerdiği Sıvılaşma İndeksi (LPI) bağıntısında yer alan sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (F_L) yerine sıvılaşma olasılığı (P_L) terimini esas alan Lee vd. [18] tarafından Sıvılaşma Riski İndeksi (IR) tanımlanmıştır (Eşitlik 15). Bu çalışmada zemin tabakalarının sıvılaşma olasılığı (P_L) Eşitlik 13 ile bulunmuştur.

$$I_s = \int_{Z=0}^{Z=20} P_{(z)} W_{(z)} dz \quad (15)$$

$F_L \leq 1.411$ olduğunda $P_{(z)}$ terimi Eşitlik 13'ten bulunan P_L 'ye eşit alınmakta, $F_L > 1.411$ olduğunda ise $P_{(z)}=0$ alınmaktadır.

Ancak, Lee vd. [18]'de “Sıvılaşma Riski İndeksi” (IR) değerine göre bir sınıflama bulunmamakta ve ayrıca çalışmadaki risk indeksi yaklaşım “risk” kavramını tanım olarak karşılayamaktadır. Bu duruma dikkate alan Sönmez ve Gökçeoğlu [19] “Sıvılaşma Riski İndeksi” adlanması yerine “Sıvılaşma Şiddeti İndeksi, LSI” termi kullanılmamasını ve ayrıca LSI'ye göre yeni bir sınıflama önermişlerdir. Bu sınıflamaya göre; LSI=0 olduğunda “Sıvılaşma yok”, <15 olduğunda sıvılaşma

şideti “Çok” düşük”, 15-35 arasında olduğunda “Düşük”, 35-65 arasında iken “Orta”, 65-85 arasında olduğunda “Yüksek” ve 85-100 arasında olduğunda ise “Çok yüksek” tanımlanması yapılmaktadır. İnceleme alanının Sıvılaşma Şiddeti İndeksi ne göre oluşturulmuş haritası Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Cennetyatağı Mahallesi'nin Sıvılaşma Şiddeti'ne [18] göre oluşturulmuş sıvılaşma potansiyeli Haritası

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Edremit İlçesi (Balıkesir, Türkiye) Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Güney kollarına ait fayların ve Havran-Balıkesir Fay Zonu'nun etkilediği/etkileyebileceği bir yerleşim yeridir. KAFZ'nin güney koluna ait olan Edremit Fay Zonu (EFZ) çalışma alanı olan Edremit İlçesinin Cennetyatağı Mahallesi'ne çok yakın konumdadır. Tarihsel dönemde de büyük depremler üreten EFZ en som 1944 yılında $M_w=6.8$ büyüklüğünde deprem üretmiştir. Bu depremin etkili olduğu Cennetyatağı Mahallesi'nde alüvyon zemin yayılım göstermektedir. Bu alüvyonların sıvılaşma potansiyelinin araştırıldığı bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

İnceleme alanının yaklaşık tamamında eğim 2 dereceden düşük olup yüksekliği batıdan doğuya doğru düzenli artış göstererek 7m'den 32 m'ye çıkmaktadır. YAS derinliği de batıdan doğuya doğru artmakta olup, YAS derinliği inceleme alanının %26'sında 8-10 m, %33'ünde 6-8m, %38'inde 4-6m arasında ve %3'ünde de 4 m. den düşüktür. İnceleme alanındaki zeminlerin %34.5'i ZC sınıfında (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları), %65.5'i ise ZD sınıfında (Orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil) olduğu belirlenmiştir.

3 m derinlikte zeminlerin %97'si "Sıkı", yaklaşık %2'si "Orta sıkı" durumdadır. 6 m. derinlikte zeminlerin %1,9'u "Çok Gevşek", %49.4'ü "Gevşek", %25.4'ü "Orta sıkı", % 23.3'ü "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 9m derinlikteki zeminlerin %4.6'sı "Çok Gevşek", %23.6'sı "Gevşek", %36.6 'sı "Orta sıkı", % 35'i "Sıkı", %0.1'i "Çok sıkı" durumda, 12 m derinlikteki zeminlerin %0.9'u "Çok Gevşek", %27.7'si "Gevşek", %35.9 'u "Orta sıkı", % 35.6'sı "Sıkı" durumda, 15 m derinlikteki zeminlerin %0.5'si "Çok Gevşek", %24.5'i "Gevşek", %35.7 'si "Orta sıkı", % 39.2'i "Sıkı" durumda ve 18 m derinlikteki zeminlerin %16.9'u "Gevşek", %41.2'si "Orta sıkı", % 41.9'u "Sıkı" durumda oldukları görülmüştür.

Yukarıda iki maddede verilen topoğrafik özellikler, YASS derinliği zemin türü ve zeminin göreceli sıkılığı dikkate alındığında jeoloji-jeoteknik kriterler açısından söz konusu alandaki zeminin sınıflandırılabilir olduğu gösterilmektedir.

İnceleme alanı için yapılan deterministik deprem tehlike analizine göre görülebilecek en büyük yer ivmesi 0.3865g düzeyinde olup, bu yer ivmesine inceleme alanından yaklaşık 1 km uzaktaki Edremit Fay Zonu'na bağlı Altınoluk segmentinden kaynaklanacak $M_w=7.2$ büyüklüğündeki depremin neden olacağı görülmüştür. Olasılık deprem tehlike analizi sonuçlarına göre de; söz konusu alanda 10 yıl içinde oluşacak depremlerin en az birinin 6 büyüklüğünden büyük olma olasılığı yaklaşık %50'dir. Söz konusu bölgede oluşacak depremlerin en az birinin 6.5 'dan daha fazla büyüklüğe sahip olma olasılığı 30, 50, 75 ve 100 yıl için sırasıyla, yaklaşık %59, %72, %89 ve %95'tir. Bu değerler, büyüklüğü 7 den büyük depremler için ise yaklaşık, %31, %47, %61 ve %71'dir.

İnceleme alanındaki zemin tabakalarının sınıflandırmaya karşı güvenlik sayısının (F_L) farklı derinliklerdeki mekânsal dağılımı bulunmuştur. 3 m derinlikte tüm alanın %98'inde F_L değeri '2 den büyük (Şekil 13), 6 m derinlikte F_L değeri tüm alanın %3.7'sinde 0.6-0.8, %11.2'sinde 0.8-1.0, %10.8'inde 1.0-1.2, %8.1'inde 1.2-1.4, %8.9'unda 1.4-1.6 arasında ve %61'inde >1.6'dır. 9 m derinlikte F_L değeri tüm alanın %38.3'ünde 0.6-0.8, %13.6'sında 0.8-1.0, %11.2'sinde 1.0-1.2, %16.5'inde 1.2-1.4, %13.3'ünde 1.4-1.6 ve %45.3'ünde >1.6'dır. 12 m derinlikte F_L değeri tüm alanın %46'sında 0.6-0.8, %10.6'sında 0.8-1.0, %13'ünde 1.0-1.2, %16.5'inde 1.2-1.4, %18'inde 1.4-1.6 arasında ve %41.9'ünde >1.6'dır. 15 m derinlikte F_L değeri tüm alanın %45.9'unda 0.6-0.8, %10.5'inde 0.8-1.0, %12.4'ünde 1.0-1.2, %16.8'inde 1.2-1.4, %16.2'inde 1.4-1.6 ve %41.7'sinde >1.6'dır. 18 m derinlikte ise F_L değeri tüm alanın %39.9'unda 0.6-0.8, %12'sinde 0.8-1.0, %10.4'ünde 1.0-1.2, %17.8'inde 1.2-1.4, %18.1'inde 1.4-1.6 ve %41.7'sinde >1.6'dır.

İnceleme alanı için zemin tabakalarının sınıflandırmaya karşı güvenlik sayısını dikkate alarak hesaplanan Sınıflandırma İndeksi esas alınarak üretilen sınıflandırma potansiyeli haritası incelendiğinde söz konusu alanın %28.8'inde sınıflandırma gelişmeyeceği, %2.3'ünde "Düşük", %8.7'sinde sınıflandırma potansiyelinin "Orta", %25.2'sinde sınıflandırma potansiyelinin "Yüksek", ve %35'inde sınıflandırma potansiyelinin "Çok Yüksek" olduğu görülmektedir.

Zemin tabakalarının sınıflandırılabilirliğine göre hesaplanan Sınıflandırma Şiddeti İndeksi esas alınarak elde edilen bu haritaya göre bu çalışmada ortaya konan senaryo depreminde (olası bir depremde) inceleme alanının %28.8'inin Sınıflandırma şiddetinin sıfır olacağı, %14'ünde sınıflandırmanın "Çok Düşük Şiddette" gelişeceği, %21.8'inde "Düşük" şiddette sınıflandırmanın görüleceği, %35.3'ünde ise sınıflandırmanın "Orta" şiddette gelişebileceği görülmektedir.

Çalışma alanındaki zeminlerde olası bir depremde, sınıflandırmanın gelişmeyeceği veya sınıflandırma potansiyelinin düşük olduğu yerlerde ihmal edilmeyecek boyutta oturmaların gelişebileceği, zeminlerin kayma dayanımı kaybı dolayısıyla taşıma gücü kaybı görülebileceği anlaşılmaktadır.

Söz konusu alanın kuvvetli yer hareketleri sırasında taşıma gücü kaybı ve oturma miktarı tahmin edilmelidir. Özellikle sınıflandırma potansiyelinin "çok yüksek", "yüksek" ve "orta" olan alanlarda, önlem alınmalı, yapı stoğu gözden geçirilmelidir.

İncelemenin yapıldığı Cennetyatağı Mahallesi için deprem riski tahmin edilmesinde bu çalışmada üretilen eğim, YASS derinliği, zemin türü ve özellikle sınıflandırma potansiyeli haritaları altlık olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen **2018/059 nolu** ve “Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Edremit İlçesi Cennetyatağı Mevki (Balıkesir) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi” adlı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, bu destek için Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu’na teşekkürlerini sunmaktadır.

REFERENCES

- [1] Sözbilir H, Özkaymak Ç, Sümer Ö, Urel B, Eski S “Balıkesir İlının Deprem Tehlike Kaynakları ve Alınması Gereken Önlemler”, Balıkesir’in Afet Durumu ve Yönetimi Çalıştayı Bildiriler Kitabı (Editorler; Şener Ceryan, Kamal Gökçay Yenigün), Balıkesir 2019, 23-62
- [2] Boulanger RW and Idriss IM “ Probabilistic SPT-based liquefaction triggering procedure”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 138(10), 1185-1195, 2012.
- [3] Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık Madencilik San. Ve Ticaret Ltd. Sti. “Balıkesir İli Edremit İlçesi 4906.79 Hektarlık Alanın İmar Planına Esas Mikrobölceleme Etüt Raporu, Ocak 2017
- [4] TBDY (2018) “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete Ocak 2019
- [5] Youd TL, Idriss IM, Andrus RD, Arango I, Castro G, Christian JT, Dobry R, Finn WDL, Harder LF, Jr. Hynes ME, Ishihara K, Koester JP, Liao SSC, Marcuson WF, ill, Martin GR, Mitchell JK, Moriwaki Y, Power MS, Robertson PK, Seed RB and Stokoe KH”). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEERINSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 10, pp. 817-833, 20001
- [6] Idriss IM, and Boulanger RW “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes” Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., eds., Stallion Press, 1, 32–56, 2004
- [7] Idriss IM and Boulanger RW “Soil liquefaction during earthquakes”, Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp, 2008
- [8] Terzaghi K. and Peck RB” Soil Mechanics in Engineering Practice”, John Wiley and Sons, NewYork, 1967
- [9] Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, “Türkiye Diri Fayları Veri Tabanı” (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>), 2013
- [10] Sözbilir H, Özkaymak Ç, Sümer Ö, Uzel B (2015) “Balıkesir İli’nin Depremselliği”, Balıkesir Kent Sempozyumu 2015 Bildiriler Kitabı (editör: Şener Ceryan, Abdullah Soykan), Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Kent Arşivi Yayınları No:11, Balıkesir,11-36, 2015
- [11] Emre Ö, Doğan A ve Yıldırım C “Biga Yarımadasının Diri Fayları ve Deprem Potansiyeli”, (Ed. Erdoğan Yüzer and Gürkan Tünay (Ed.), Biga Yarımadası’nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi), 163-191, ISBN: 978-605-5310-18-9, 2012.
- [12] Wells D, Coppersmith K “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, , 974-1002, 1994

- [13] Ulusay R, Tuncay E, Sonmez H, Gökçeoglu C “An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey”, *Engineering Geology*, 74(3/4),265- 291, 2004
- [14] Crovelli RA “Probability models for estimation of number costs of landslides”, United States Geological Survey Open File Report 00-249, 2000
- [15] Seed HB, Idriss IM “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential”, *J Soil Mech Found Div ASCE* 97(9):1249–1273, 1971
- [16] Iwasaki T, Tokida K, Tatsuoka F, Watanabe S, Yasuda S, Sato H.” Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods”, 3rd International Earthquake Microzonation Conf., 1982, 1319–1330, 1982
- [17] Sonmez H ”Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegöl, Turkey)”, *Environ. Geol.* 44 (7), 862–871
- [18] Lee D-H, Ku C-S, Yuan H “A study of the liquefaction risk potential at Yuanlin, Taiwan”, *Engr. Geology*, Elsevier, 71; 97–117, 2003
- [19] Sonmez H, Gökçeoglu C “A liquefaction severity index suggested for engineering practice”, *Environ. Geol.* 48 (1), 81–91, 2005

Akçay Mahallesi Batı Kısımının (Balıkesir- Türkiye) Zeminlerinin Jeolojik-Jeoteknik Özelliklerinin Mekânsal Dağılımı

Spatial Distribution of the Geological-Geotechnical Properties of the Soils in the Western Part of Akçay Neighborhood (Balıkesir-Turkey)

Ceren Nergizoglu¹, Şener Ceryan ^{*2}, Samet Berber ²

*sceryan@balikesir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1927-6985

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

²Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

Özet Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney koluna ait aktif fayların etkisinde olan Akçay mahallesinin batı kısmının (Edremit-Balıkesir, Türkiye) alanı için sayısal yükseklik modeli, eğim, yeraltı suyu derinliği, farklı derinliklerdeki zemin türü, düzeltilmiş SPT-N değerlerine göre tanımlanmış göreceli sıklık değerleri, zemin tabakalarının boyuna dalga hızı ve kayma dalga hızı, Young Modülü, kayma modülü değerlerinin mekânsal dağılımı Coğrafi Bilgi sistemi ile (ArcGIS V: 10.2 programı ile) değerlendirilmiştir. Bu amaçla Balıkesir Büyükşehir Belediyesi arşivinden temin edilen Mikrobölgeleme Etüt Raporu'ndan yararlanılarak jeofizik verileri, sondaj logları ve laboratuvar sonuçlarını da içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. İnceleme alanında eğimler büyük oranda 3 dereceden küçüktür, yeraltı suyu derinliği genel olarak 1.5-8 metre aralığında değişmektedir. Söz konusu alanın %64,1'inde TBDY'de verilen "ZD" sınıfı zeminler, %35,9'unda "ZC" sınıfı zeminler bulunmaktadır. Bu alan "Zayıf şiddette zemin büyütmesine" sahiptir. Ayrıca, inceleme alanındaki zeminlerin elastik dalga hızına bağlı olarak bulunan nihai yaşma gücü ve izin verilebilir taşıma gücü değerlerinin mekânsal dağılımları incelenmiştir. Nihai Taşıma Gücü değerleri çalışma alanının büyük bir kısmında 400 kPa ile 700 kPa arasında değişirken izin verilebilir taşıma gücü değerleri de 200 kPa ile 350 kPa arasında değişim göstermektedir.

Keywords: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Mikrobölgeleme, SPT-N, Elastik dalga hızı, Taşıma gücü,

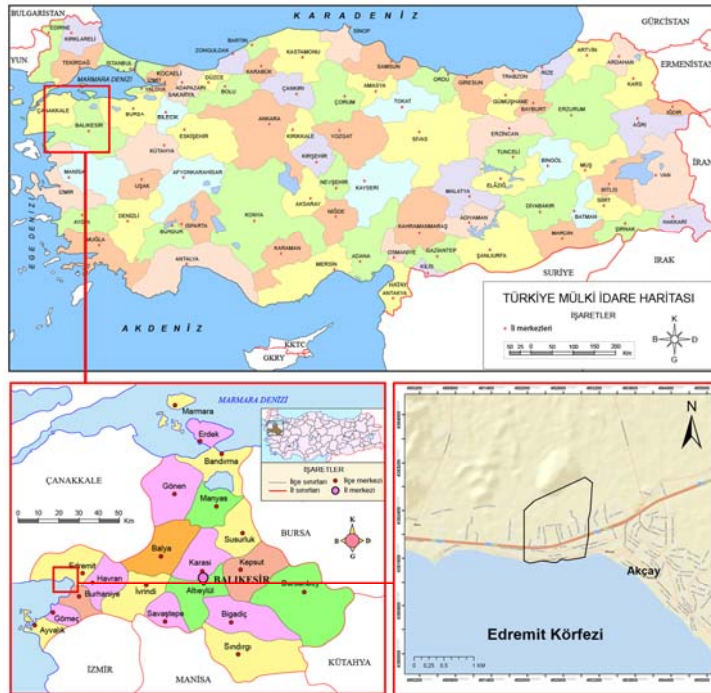
Abstract In this study, the spatial distributions of digital elevation, slope, ground water level, soil type at different depths, relative density defined according to the corrected SPT-N value, elastic wave velocity Young's modulus and shear modulus values of the soil in the western portion of Akçay neighborhood (Edremit-Balıkesir, Turkey), influenced by active faults of southern branch of NAFZ, were evaluated with the Geographical Information system (ArcGIS V. 10.2). For this purpose, a database including geophysical data, drilling logs and laboratory results was created using the Micro-zonation Study Report supplied from the archive of Balıkesir Metropolitan Municipality. In the study area, the slopes are mostly less than 3 degrees and the groundwater depth generally varies between 1.5-8 meters. There are ZD type of soils in Turkish Earthquake

Code in 64.1% of the said area and Zc type of soils in 35.9% of of the said area. This field has "weak ground amplification". In addition, the spatial distributions of the ultimate bearing capacity and the allowable bearing capacity obtained depending on the elastic wave velocity of the soils in the study area were examined. Ultimate bearing capacity values vary between 400 kPa and 700 kPa in most of the working area, while the allowable bearing capacity values vary between 200 kPa and 350 kPa.

Keywords: *Geographical Information Systems, Microzonation, SPT-N, Elastic wave velocity, Bearing capacity*

1. GİRİŞ

Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonu'nu Güney Kolunu oluşturan fayların etkisinde olan, Edremit Fay Zonu'na çok yakın konumlanmış Akçay Mahallesi batı kısmının (Edremit-Balıkesir, Türkiye) topoğrafik özellikleri, yeraltısı durumu ve zeminin jeolojik-jeoteknik özelliklerinin mekansal dağılımı Coğrafi Bilgi Sistemi ile değerlendirilmiştir. Söz konusu topoğrafik, hido-jeolojik, zeminin jeolojik-jeoteknik özellikleri yerleşim alanlarının seçiminde/yeniden değerlendirilmesinde ve deprem risk analizlerinde dirimsel öneme sahiptir.



Şekil 1. Akçay Mahallesi batı kısmının (Edremit-Balıkesir, Türkiye) yerbulduru haritası.

Bu çalışmada kullanılan Akçay Mahallesi (Edremit, Balıkesir) ile ilgili jeofizik verileri (elastik dalga hızı değerleri) ve sondaj logları ile laboratuvar analizleri Büyükşehir Belediyesi tarafından Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık Madencilik San. Ve Ticaret Ltd. Şirketine yaptırılan ve 2017 yılında tamamlanan “Balıkesir İli Edremit İlçesi 4906.79 Hektarlık Alanın İmar Planına Esas

Mikrobölgeleme Etüt Raporu“ndan [1] alınmıştır. BAUN rektörlüğü ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı tarafında imzalanan protokol gereği bu çalışmada kullanılan veriler söz konusu bu rapordan ücretsiz olarak temin edilmiştir (Tablo I).

Tablo I
Akçay Mahallesi (Edremit, Balıkesir) batı kısmında ölçülen elastik dalga hızları [1].

Sismik Serim	Koordinat (m)		1. Tabaka			2. Tabaka			3. Tabaka		
	X	Y	H	Vp	Vs	H	Vp	Vs	H*	Vp	Vs
1	49243	4384095	3,5	398	200	13	735	282	13,5	1807	466
2	492356	4383650	4	650	226	10	963	274	16	1177	432
3	492289	4383383	4	717	278	11	547	239	15	1745	457
4	492747	4384336	3	425	215	11,5	832	296	15,5	1036	504
5	492680	4384138	3	366	169	9,5	600	235	17,5	788	382
6	492581	4383980	3	614	297	11	850	288	16	967	556
7	492629	4383657	3	524	236	8	740	302	19	817	434
8	492617	4383459	2	893	346	5	917	352	23	942	478
9	492864	4384259	3	523	280	13	818	322	14	966	583
10	492806	4383994	2,5	531	183	5	714	244	22,5	754	437
11	492776	4383683	4	522	289	11	1070	311	15	1983	521
12	492778	4383485	3,5	625	355	11,5	866	301	15	987	426
13	493155	4384390	2	603	296	5,5	812	310	22,5	881	491
14	492989	4384202	2,5	548	280	10	877	293	17,5	1030	478

(H: tabaka kalınlığı (m). *3. Tabaka kalınlığı zemin profili uzunluğu 30 m. olacak şekilde ayarlanmıştır, V_P: Boyuna dalga hızı m/sn; V_S: Kayma dalgası hızı m/sn)

Bu çalışmada, Akçay Mahallesi Batı kısmı (Edremit, Balıkesir) ile ilgili mühendislik jeolojisi haritaları uygulanırken basit ve temel deterministik enterpolasyon yöntemlerinden biri olan Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma (IDW) yöntemi [2] uygulanmıştır. Bu yöntemde iki ölçüm noktası arasındaki bağlantının ve benzerliğinin aralarında olan uzaklıkla orantılı olduğu varsayılır. Bu varsayımın sonucu olarak yapılan hesaplamalarda daha fazla etkiye (ağırlığa) sahip olacak ölçüm noktaları bilinmeyen noktalara yakın olan noktalar olacaktır. IDW yönteminde her örnek noktası, değeri tahmin edilecek noktaya olan uzaklığına ters oranda ağırlık değeri almaktadır (Eşitlik 1)

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N W(X_i)Z(X_i) / \sum_{i=1}^N W(X_i) \quad (1a)$$

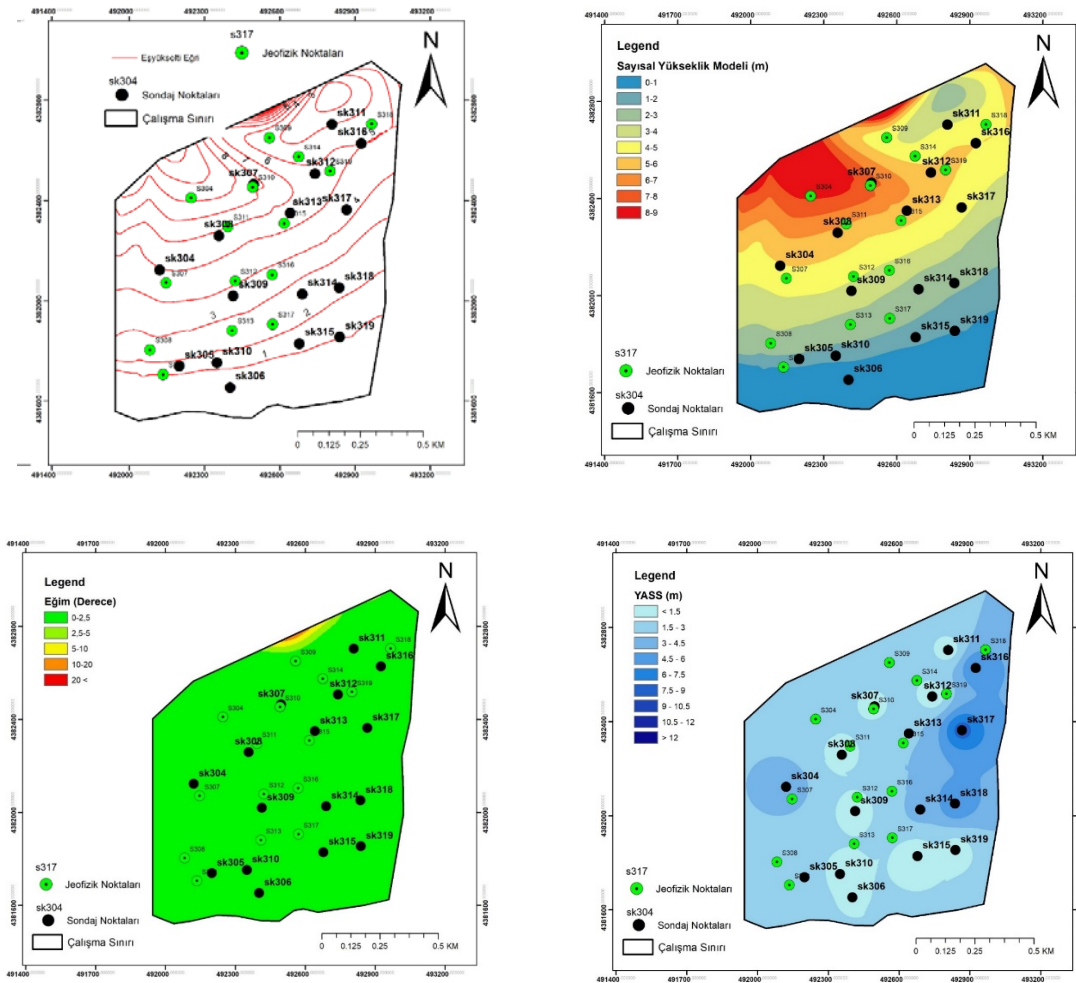
$$W(X_i) = (1/d_i)^p \quad (1b)$$

Bu eşitlikte, Z (X₀) ölçümün yapılmadığı noktanın tahmin edilen değeri, W(X_i) i'inci Z(X_i) konumundaki noktanın ölçüm değeri, N ölçüm sayısı, d ölçüm değeri bilinen nokta ile ölçüm değeri tahmin edilmek istenen nokta arasındaki uzaklığı, p ise üstel güç katsayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada p=2 alınmıştır.

Bu çalışmada veri tabanının oluşturulması, mekânsal Analizlerin yapılması ve mühendislik jeolojisi haritalarının üretilmesinde BAUN Mühendislik Fakültesi bilgisayar laboratuvarında lisanslı olarak kurulmuş olan ArcGIS (Ver. 10.2) programından yararlanılmıştır.

II. TOPOĞRAFYA, EĞİM, SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ VE YAS SEVİYESİ

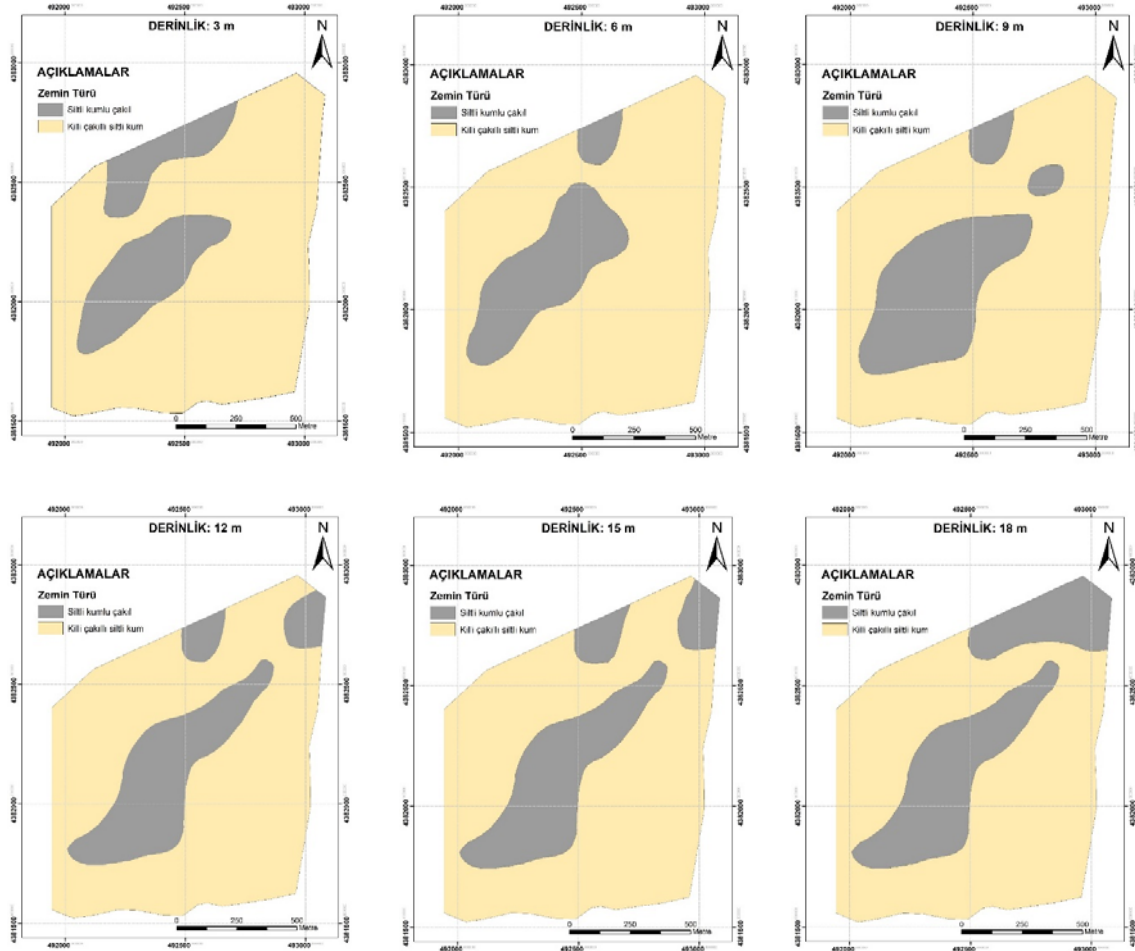
Akçay Mahallesi batı kısmında yükseklikler güneyde Edremit Körfezi kıyısından kuzeye doğru düzenli olarak artmakta ve 11 m'ye erişmektedir. İnceleme alanının yaklaşık %98'inde eğim 3 dereceden küçüktür. İnceleme alanında yeraltı su derinliği 1.5 m'den 13 m'ye kadar değişmekte olup inceleme alanının doğu-kuzey doğu kısmında yeraltı suyu derinliği 6-12m arasında iken geri kalan alanlarda genellikle 1.5-6 m arasındadır (Şekil 2)



Şekil 2. Çalışma alanı topoğrafik ve eğim haritası, sayısal yükseklik modeli ile yeraltı su derinliği haritası.

III. ZEMİN TÜRÜ, YEREL ZEMİN SINIFI VE ZEMİNİN GÖRECELİ SIKLIĞI

İnceleme alanındaki zeminlerin tamamına yakını i) killi çakıllı siltli kum ve ii) siltli kumlu çakıl'dan oluşmaktadır. Killi çakıllı siltli kum olarak ayırtılan zemin türü 3 m derinlikte tüm alanın %79,3'ünü, 6 m derinlikte %81,3'ünü, 9 m derinlikte %75,4 ünü, 12 m derinlikte %75,3'ünü, 18 m derinlikte 71,5'ini oluşturur (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı derinliklerde zemin türlerinin mekânsal dağılımı.

Çalışma alanındaki yerel zemin sınıflarını tanımlarken 30 metre derinliğe kadar zemin profilinin ortalama S-dalga hızı ((VS)₃₀) değeri (Eşitlik 1) esas alınarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine [3] göre sınıflandırılmıştır (Şekil 4). Eşitlikte, V_{si}: i'inci tabakada ölçülen S-dalgası hızı, h_i: i'inci tabakanın kalınlığıdır.

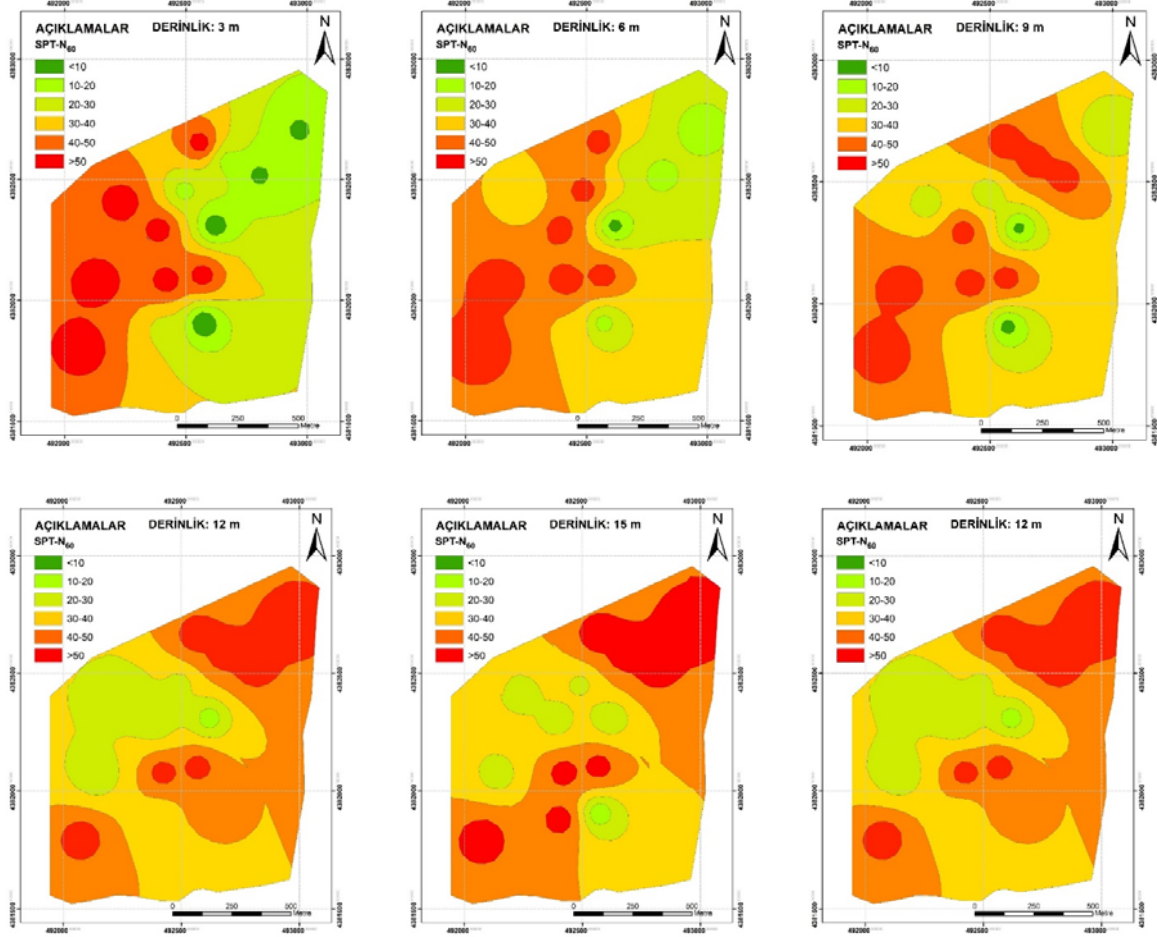
$$(V_s)_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}} \quad (1)$$

(V_s)₃₀ değeri dikkate alarak yapılan tanımlama dikkate alındığında, inceleme alanın %64,1'inde “ZD” sınıfı zeminler (Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları), %35,9'unda “ZC” sınıfı zeminler (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları) yayılım göstermektedir (Şekil 4)

minlerin göreceli sıklığı düzeltilmiş SPT-N de

$$(N)_{\text{res}} = SPT - N(C_+ C_- C_+ C_-) \quad (2)$$

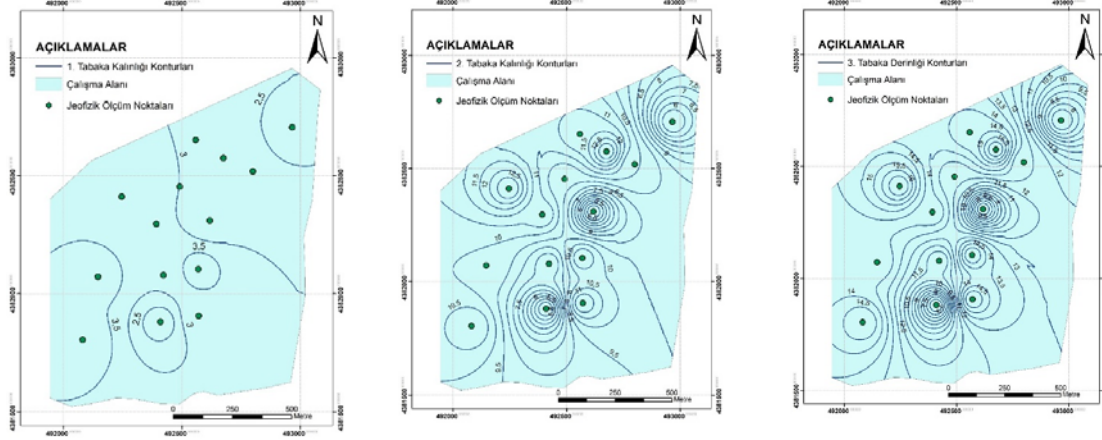
türü çekic için $C_F=0.5-1.0$. Safety türü çekic için $C_F=0.7-1.2$.



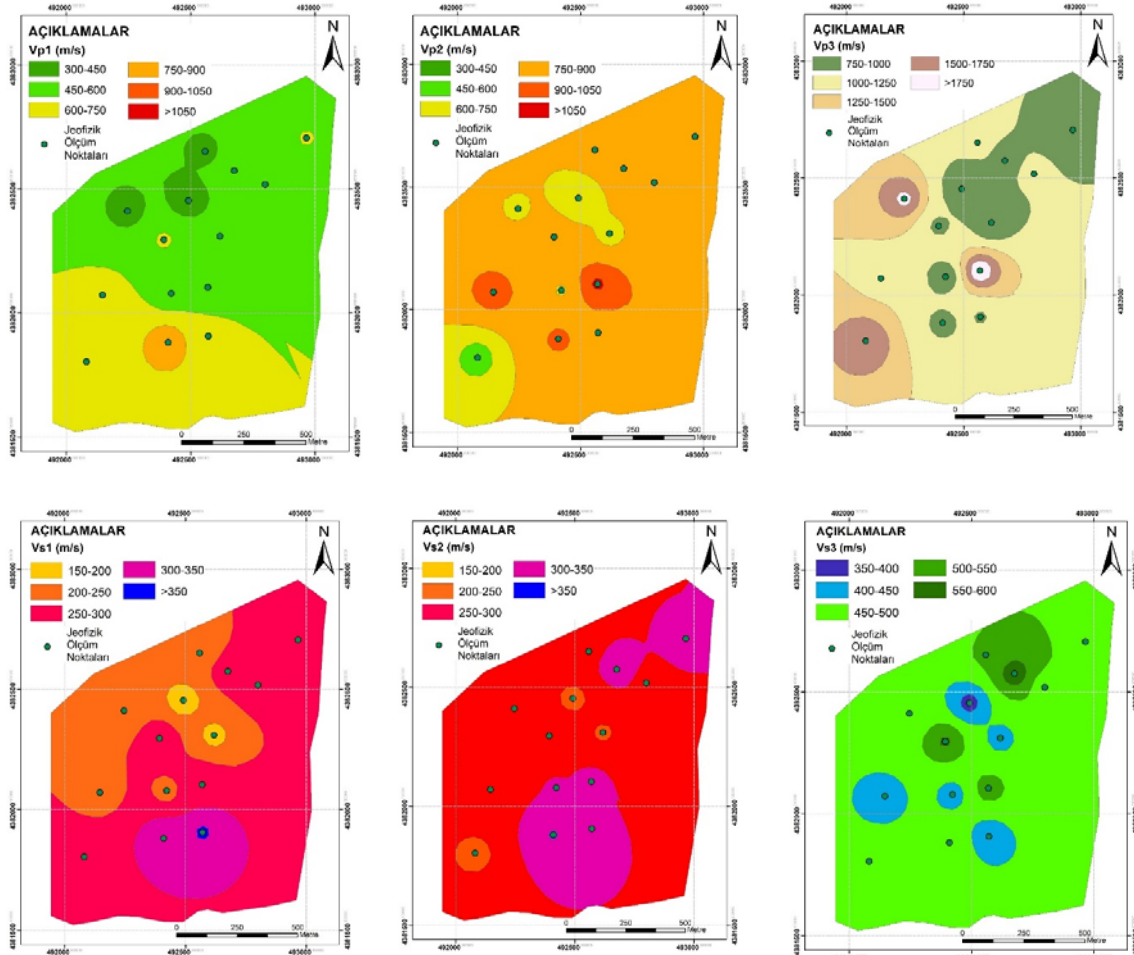
Şekil 5. Düzeltilmiş SPT-N değerinin farklı derinliklerde mekânsal dağılımı.

IV. ZEMİN TABAKALARININ BOYUNA DALGA HIZI VE KAYMA DALGA HIZI

Akçay Mahallesi batı kısmın zeminlerde elastik dalga hızlarına göre üç farklı tabaka ayrılmıştır. Bu, farklı elastik dalga hızlarına sahip tabakalar yüzeyden derine doğru; en üstteki 1. Tabaka en alttaki 3. Tabaka olarak adlandırılmıştır. 1. Tabakanın kalınlığı 2-4m, ikinci tabakanın kalınlığı 4-13 m arasında değişmektedir (Şekil 6). Boyuna dalga hızı, genellikle, (V_p) 1. Tabakada 450-600 m/s, 2. Tabakada 650-900 m/s ve 3. Tabakada 950-1500 m/s arasındadır. Enine (kayma) dalga hızı ise 1. Tabakada 230-325 m/s, 2. Tabakada 275-350 m/s ve 3. Tabakada 450-550 m/s arasındadır. (Şekil 7). Kayma Dalgası Hızı (V_s) değerleri incelendiğinde 1. Tabaka için toplam alanın %58,6'sında 250 m/s ile 350 m/s arasında (Gevşek Zemin), %28,8'lik kısmında 350-500 m/s arasında (Orta sıkı zemin) olduğu görülmektedir. Kayma dalga hızına göre sınıflamada [5]'de verilen sınıflama kullanılmıştır. Kayma dalga hızı 2. Tabakada toplam alanın %72,4'ünde 250 m/s ile 350 m/s arasında (Gevşek Zemin), %25,3 kısmında 350-500 m/s arasında (Orta sıkı zemin) olduğu görülmektedir. 3. Tabaka için Kayma Dalgası Hızı (V_s) değerleri incelendiğinde 450-500 m/s'lik değerlere sahip zemin türleri (Orta Sıkı zemin), toplam alanın yaklaşık %83'ünü alana karşılık gelmektedir.



Şekil 6. Elastik dalga hızlarına göre ayrıtılan 1. ve 2. Tabakanın kalınlıkları ve 3. Tabakanın derinliğinin mekânsal dağılımı.



Şekil 7. Elastik dalga hızlarının farklı zemin tabakalarındaki mekânsal dağılımı

V. ZEMİN TABAKALARININ YOUNG MODÜLÜ VE KAYMA MODÜLÜ

Young Modülü (Ed), uygulanan gerilmenin doğrultusunda ortalama olarak birim gerilmeye karşılık karşılık gelen deformasyon olarak tanımlanabilir. Zemine uygulanan düşey basınç yönünde yerin yamulmasını gösteren bir parametre olup kayacın dayanıklılığını yani zeminin sağlamlığını gösterir [6]. Kayma modülü zeminin kaymaya veya kesmeye karşı gösterdiği dayanımdır [6]. Kayma modülü arttıkça depremde oluşan kayma dalgası genliğine zemin daha büyük esneme dayanımı gösterir. Kayma modülü küçüldükçe zemin kayma dayanımına karşı direnemez ve zeminin üstündeki yapılarda çapraz birbirini kesen kırılmalar meydana gelebilir [7]. Young Modülü ve Kayma Modülüne göre dayanım sınıflaması Tablo II’de verilmiştir.

Tablo II

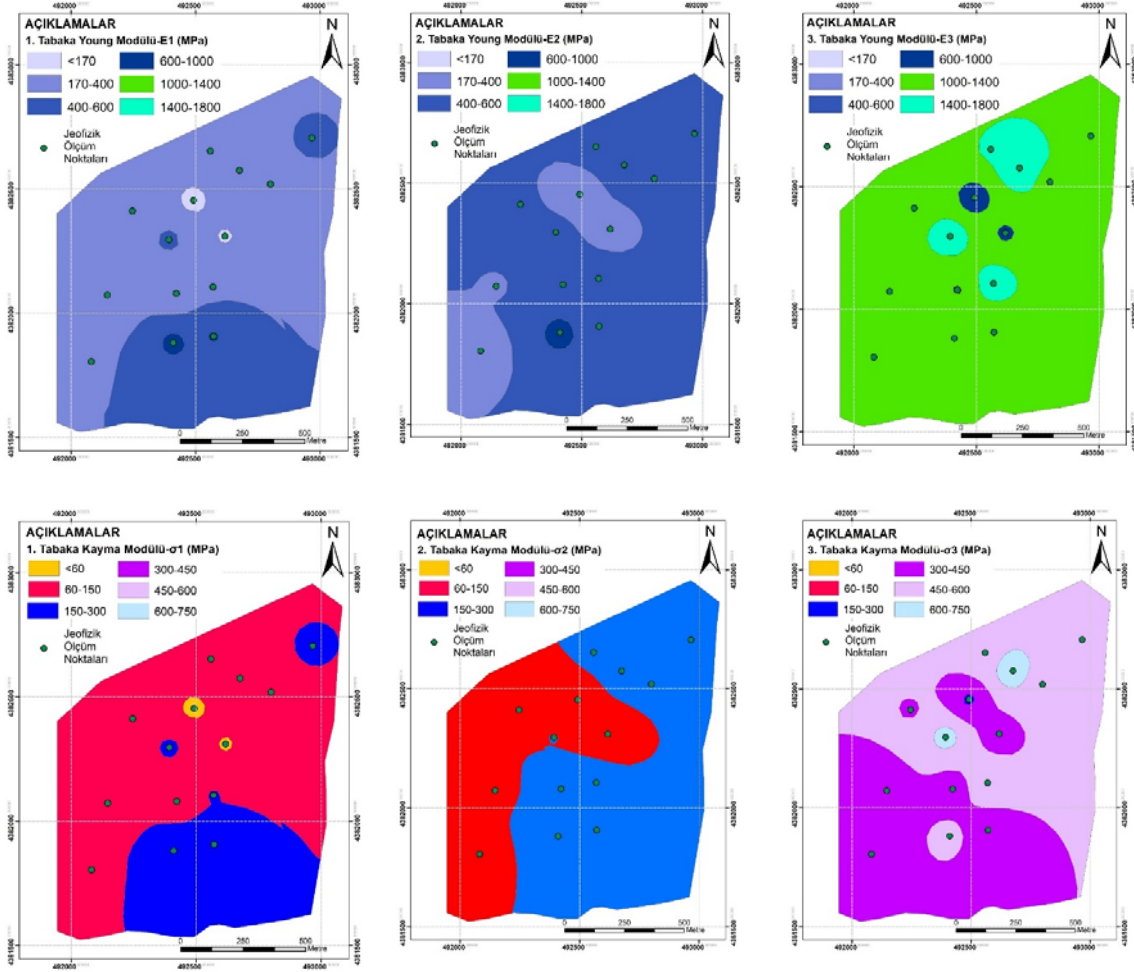
Young Modülüne ve Kayma Modülüne göre dayanım sınıflaması [6]		
Elastisite Modülü (MPa)	Kayma Modülü (MPa)	Dayanım Sınıflaması
<100	<40	Çok zayıf
100-500	40-150	Zayıf
500-1000	150-300	Orta
1000-3000	300-1000	Sağlam
>3000	>1000	Çok sağlam

Jeofizik ölçümlerden elde edilen boyuna dalga hızı (Vp) ve kayma dalga hızlarından (Vs) yararlanılarak; söz konusu alanında ayırtlanan zemin tabakalarının yoğunluk (ρ , gr/cm³), kayma modülü (G, kPa) ve Young modülü (Ed, kPa) bulunmuştur (Eşitlikler 3-4) [6].

$$G = \rho V_s^2 \quad (3)$$

$$E_d = \frac{G(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4)$$

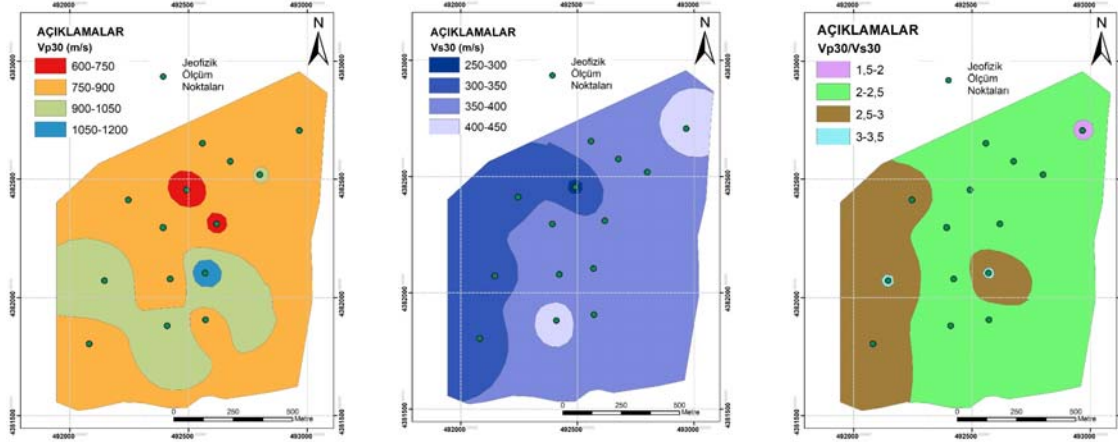
İnceleme alanındaki zeminlerin kayma modülü değerlerinin mekânsal dağılımını veren haritaya göre; 1. Tabakada Kayma Modülü değerleri %71,3’ü 60-150 MPa (Zayıf), %28,3’ü 150-300 MPa (Orta sağlamlıkta) arasında, 2. Tabakada Kayma Modülü değerleri %38,3’ü 60-150 MPa (Zayıf), %61,7’si 150-300 MPa arasında (Orta sağlamlıkta) değişmekte olup 3. Tabaka da ise Kayma Modülü değerleri %46’sı 300-450 MPa, %52,1’i 450-600 MPa arasında değişmektedir. 3. Tabaka Kayma Modülü sınıflamasına göre “Sağlam” zemindir (Şekil 8). 1. Tabakanın %84,3’ünün Young Modülü (YM) <500 MPa (Zayıf), %14,3’ünün YM’ü 500-1000 MPa (Zayıf), %14,3’ünün YM’ü 1000-3000 MPa arasında (Sağlam dayanıklılıkta) değişirken 3. Tabakanın %98,2’si nin YM’si 1000-3000 MPa arasında değişmektedir (Şekil 8)



Şekil 8. Young Modülü ve Kayma Modülünün farklı zemin tabakalarında mekânsal dağılımı.

VI. ZEMİN PROFİLİNİN ELASTİK DALGA HIZLARI VE HIZ ORANI

Zemin profilinin tümünün birden değerlendirebilmek, sınıflandırabilmek ve bu profillerde için teknik tasarım yapabilmek için profilin ortalama elastik dalga hızları ve hız oranının da bilinmesi gerekmektedir. 30 metre derinliğe kadar ortalama boyuna dalga hızı ($(V_p)_{30}$) hesaplanışı ($(V_s)_{30}$) ile benzerdir (Eşitlik 1). Boyuna dalga hızı (V_p) yeraltı gözenek sıvısına doygunluğuna ve kayma dalga hızı (V_s) yeraltının katılığına ve sıklığına duyarlı olması sebebiyle V_p/V_s oranı son yıllarda deprem, yer kabuğu, zemin sıvılaşmasında ön bilgi, zemin büyütmesi değerlendirilmelerinde esas alınan bir değerdir [8-9]. İnceleme alanında 30 metre derinliğe kadar ortalama Boyuna Dalga Hızı değerlerinin mekânsal dağılımına göre toplam alanın %73,3'ünde ($(V_p)_{30}$) değeri 750 m/s ile 900 m/s aralığında, %23,8'lik kısmında ise ($(V_p)_{30}$) değeri 900-1050 m/s arasında değişmektedir (Şekil 9). Söz konusu alanın %66'sında ($(V_p)_{30}$) değeri 350 m/s ile 400 m/s aralığında (Orta Sıkı zemin), %27,5'lik kısmında da 300-350 m/s arasındadır (Gevşek Zemin) (Şekil 9). Toplam alanın %70,5'ini $(V_p)_{30}/(V_s)_{30}$ oranı 2-2,5 değerleri aralığında, 28,8'lik bir alanda ise $(V_p)_{30}/(V_s)_{30}$ oranı 2,5 ile 3 arasında değişen zeminler bulunmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. 30 metre derinliğe kadar ortalama boyuna dalga hızı $((V_p)_{30})$, kayma kalga hızı $((V_s)_{30})$ ve $(V_p)_{30}/(V_s)_{30}$ oranı değerlerinin mekânsal dağılımı.

VII. ZEMİN BÜYÜTMESİ

Zemin büyütmesi depremin zeminde oluşturduğu en önemli etkilerden birisidir. Esas olarak, zemin büyütmesi ana kayada oluşan ve yüzeyi e doğru hareket eden deprem dalgalarının zemin tabakalarından geçerken meydana gelen ivme artıştır [10,11,12]. Zemin büyütmesinin tahmininde birçok yöntem olmakla birlikte arazide elde edilen elastik dalga hızlarını esas alan yaklaşımlar sıklıkla uygulanmaktadır. Sismik hızlara bağlı olarak zemin büyütmesinin tahmini için verilen bağıntılar Tablo III’de verilmiştir. İnceleme alanının tamamına yakının zayıf yer hareketleri ve kuvvetli yer hareketlerine karşı büyütmesi 2.5’den küçük olup “Zayıf şiddette zemin büyütmesine” sahip olduğu görülmektedir (Şekil 10).

Tablo III
Zemin büyütmesinin tahmini için verilen bağıntılar [13]

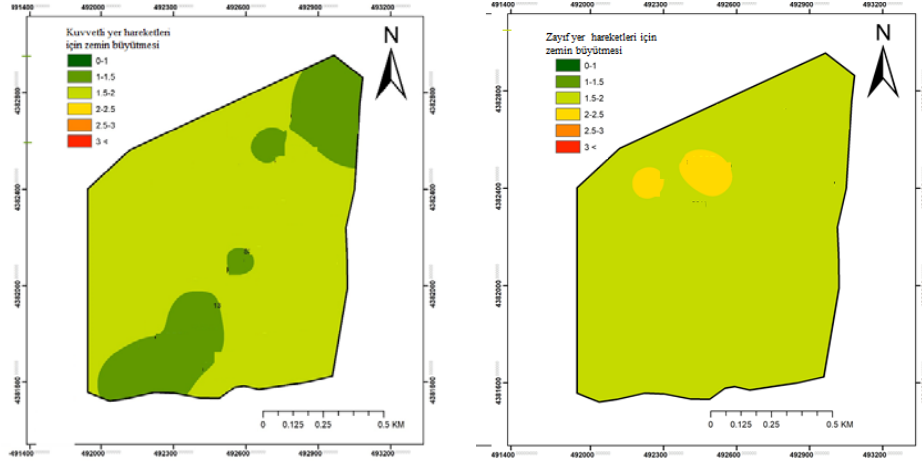
Araştırmacılar	Eşitlikler	
Midorikawa (1987)	$A=68V_1^{-0.5}$	($V_1 < 1100$ m/s)
	$A=1.0$	($V_1 > 1100$ m/s)
Joyner ve Fumal (1984)	$A=68V_2^{-0.45}$	($V_1 < 1100$ m/s)
	$AHSA=700/V_1$	(Zayıf yer hareketleri için)
Borcherdt vd.(1991)	$AHSA=600/V_1$	(Kuvvetli yer hareketleri için)

A : Maksimum yer hızı için göreceli büyütme faktörü

AHSA :0.4-0.2 s. periyot aralığı için ortalama yatay spectral büyütme

V_1 :30 m. derinlik için ortalama S dalgası hızı (m/s)

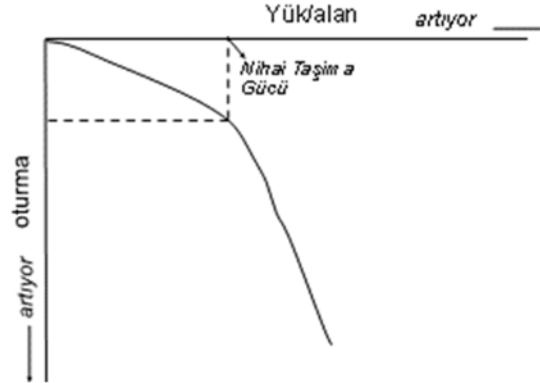
V_2 :1 s’deki bird alga için çeyrek dalga uzunluğundaki derinliğe karşılık gelen ortalama S dalga hızı (m/s)



Şekil 10. Zemin büyütme değerlerinin mekânsal dağılımı.

VIII. ZEMİN NİHAİ VE EMİN TAŞIMA GÜÇLERİ

Zeminin bir noktasına bir kuvvet (yük) uyguladığımızda zemin yüzeyinde meydana gelen deformasyon (yani oturma) ile uygulanan kuvvet arasındaki ilişki zeminin özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir. Bu yük-oturma arasındaki ilişki incelendiğinde uygulanan yük ile oturma arasındaki ilişki, zemin özelliğine bağlı olarak, Şekil 11'deki gibi elde edilir.



Şekil 11. Yük-oturma eğrisinde nihai taşıma gücünün tanımlanması.

Yük-oturma eğrisi incelendiğinde, oturma yüküne bağlı olarak arttığı, ancak belli bir yük değerinde oturma hızla artar ve zeminde yenilme (göçme) oluşur. Yükün bu değeri, zeminde yenilme düzlemlerinin geliştiği, göçmenin meydana geldiği yani zeminin artık taşıyamadığı yük değeri “Zeminin Nihai (sınır) Taşıma Gücü” olarak tanımlanır [6,9,14]. Zeminin nihai taşıma gücü uygulamada güvenli tarafta kalmak için belirli bir güvenlik sayısına bölerek Zemin İzin verilebilir taşıma gücü elde edilir ve tasarımda bu değer kullanılır. Literatürde yer alan sismik hızlardan Zeminin Nihai (sınır) Taşıma Gücü’nü veren önemli bağıntıları Tablo IV’deki gibi özetlemiştir [7]. İnceleme alanındaki zeminler için hesaplanan Nihai Taşıma Gücü, İzin verilebilir taşıma gücü [14]’e göre hesaplanmıştır ve bu taşıma güçlerinin mekânsal dağılımı Şekil 12’de verilmiştir.

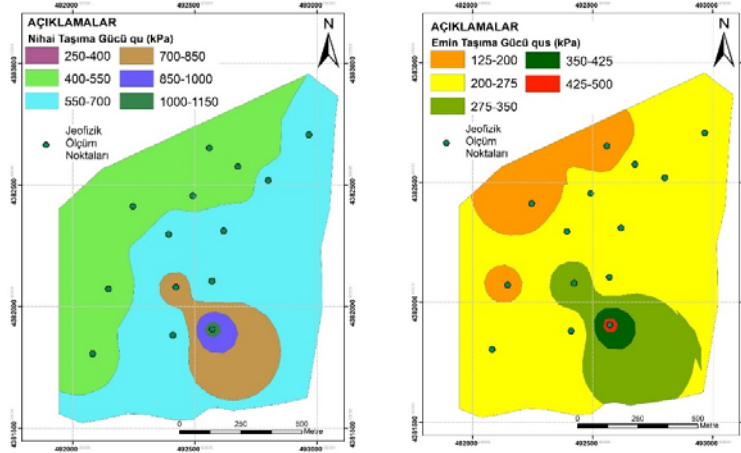
Tablo IV
Sismik Hızlardan Taşıma Gücü (qf) ve Güvenli Taşıma Gücü (qa) Eşitlikleri (*Suya doymun zeminler için) [7]

Kaynak	Eşitlikler			
	Yoğunluk (γ) ya da (ρ)	Taşıma Gücü (q_f)	Güvenli Taşıma Gücü (q_a)	Güvenlik Faktörü (Fs)
Türker (1988)	$\rho = 0,31(V_p^{0,25} (m/s))$ (gr/cm ³) $\rho = 0,2V_p + 1,6$ (gr/cm ³)	$q_f = \gamma V_p T_0 / 4$ *%50 azaltılır	$q_a = \gamma V_s T_0 / 4$ *%50 azaltılır	V_p/V_s
Keçeli (1990)		$q_f = \rho V_p / 100$ (kg/cm ²) * $q_f = \rho V_p / 200$ (kg/cm ²)	$q_a = \rho V_s / 100$ (kg/cm ²) * $q_a = \rho V_s / 200$ (kg/cm ²)	V_p/V_s
Keçeli (2000)	$\rho = 0,31(V_p^{0,25} (m/s))$ (gr/cm ³)	$q_f = \frac{\rho V_s}{100}$ (kg/cm ²)	$q_a = \frac{(\rho V_s^2 / V_p)}{100}$ (kg/cm ²)	V_p/V_s
Kurtuluş (2000)	$\rho = 0,31(V_p^{0,25} (m/s))$ (gr/cm ³)	$P = 1 + 0,33D/B$ $q_f = P V_s / 200$ (kg/cm ²)	$q_a = q_f / F_s$	V_p/V_s
Türker (2004)		$q_f = V_s \gamma 0,33(s) / 40 + \gamma D_f / 10$ (kg/cm ²)	$q_a = q_f / 3$ (kg/cm ²)	3
Tezcan vd. (2006)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ (kN/m ³)		$q_a = 0,024\gamma V_s S_v$ $S_v \leq 30,6\gamma$ $S_v = 1 - 3 \times 10^{-6}(V_s - 500)^{1,6}$	
Tezcan ve Özdemir (2006)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ (kN/m ³)		$q_a = 0,024\gamma V_s \alpha$ kPa	
Tezcan vd. (2007)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ (kN/m ³)	⁽¹⁾ $q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ (kN/m ²)	$V_s \leq 700$ ⁽²⁾ $q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$	n=4
			$700 \leq V_s \leq 3500$ ⁽¹⁾ $q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$	$n = 4,62 - 8,90(10^{-4})V_s$
			$3500 \leq V_s$ ⁽¹⁾ $q_a = 0,067\gamma V_s \alpha$	n=1,5
Tezcan vd. (2008)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ (kN/m ³)	⁽¹⁾ $q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ (kN/m ²)	$V_s \leq 750$ ⁽²⁾ $q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$	n=4
			$750 \leq V_s \leq 4000$ ⁽¹⁾ $q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$	$n = 4,6 - 0,0008V_s$
			$4000 \leq V_s$ ⁽²⁾ $q_a = 0,071\gamma V_s \alpha$	n=1,4
Keçeli (2010)	$\rho = 0,44V_s^{0,25}$ (gr/cm ³)	$q_f = \frac{\rho V_s}{100}$ (kg/cm ²)	$q_a = \frac{(\rho V_s^2 / V_p)}{100}$ (kg/cm ²)	V_p/V_s
Tezcan ve Özdemir (2011)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ (kN/m ³) ⁽²⁾ $\gamma = 4,3V_s^{0,25}$ (kN/m ³)	⁽¹⁾ $q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ (kN/m ²)	$V_s \leq 750$ ⁽²⁾ $q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$	n=4
			$750 \leq V_s \leq 4000$ ⁽¹⁾ $q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$	$n = 4,6 - 0,0008V_s$
			$4000 \leq V_s$ ⁽²⁾ $q_a = 0,071\gamma V_s \alpha$	n=1,4
Keçeli (2012)	$\rho = 0,44V_s^{0,25}$ (gr/cm ³)	$q_f = \rho V_s / 100$ (kg/cm ²)	$q_a = (\rho V_s^2 / V_p) / 100$ (kg/cm ²) ⁽³⁾ $q_a = q_{as} K$ $B \leq 1,22m$ $q_a = q_{as} \left(\frac{B + 0,305}{B} \right)^2 K$ $B > 1,22m$	V_p/V_s

⁽¹⁾ α : temel genişliğine bağlı katsayı $\alpha=1$; $0,0 \leq B \leq 1,20m$, $\alpha=1,13-0,11B$; $1,20 \leq B \leq 3,00m$, $\alpha=0,83-0,01B$; $3,00 \leq B \leq 12,0m$.

⁽²⁾ Keçeli (2010) yoğunluk bağıntısı Tezcan ve Özdemir (2011) tarafından kN/m³ olarak kullanılmıştır.

⁽³⁾ q_{as} : temel ebatlarına bağlı müsaade edilebilir taşıma gücü, $K=1+0,33(df/B) \leq 1,33$.



Şekil 12. Akçay Mahallesi Batı kısmındaki zeminler için hesaplanan nihai taşıma gücü ve emin taşıma gücü değerlerinin mekânsal değişimi

İnceleme alanının %52'sini oluşturan zeminlerin Nihai Taşıma Gücü değerleri 550 kPa ile 700 kPa arasında, %36,4'ünün 400 kPa ile 550 kPa arasındadır. Nihai Taşıma Gücü 700 kPa ile 1150 kPa aralığındaki değerlere sahip zeminler ise toplam alanın yaklaşık %12'sini oluşturmaktadır. İnceleme alanının yaklaşık %69'unu oluşturan zeminlerin İzin verilebilir taşıma gücü değerleri 200 kPa ile 275 kPa, %15,4'ünü oluşturan zeminlerin İzin verilebilir taşıma gücü değerleri 275 kPa ile 350 kPa arasındadır. İzin verilebilir taşıma gücü değerine sahip zemin türü ise toplam alanın kaplamaktadır. 125 kPa ile 200 kPa aralığındaki değerlere sahip zeminler ise toplam alanın yaklaşık %13,6'sını oluşturmaktadır.

IX. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnceleme alanı Edremit İlçesi (Balıkesir) Kuzey Anadolu Fay Zonu güney kollarındaki fayların (özellikle çalışma alanına çok yakın olan Edremit Fay Zonu) ve Havran-Balıkesir Fay Zonu'nun etkisi altındadır. Edremit Fay Zonu en son 1944'de $M_w=6.8$ büyüklüğünde deprem üretmiştir. Deprem tehlikesi yüksek olan inceleme alanında, bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, YAS seviyesi yüksektir, topoğrafya genelde düz veya çok az eğimlidir ve genellikle gevşek veya orta sıkılıkta killi çakıllı siltli kumlar bulunmaktadır. Bu durum olası bir kuvvetli yer sarsıntısında söz konusu alanda sıvılaşmanın gelişebileceği, zeminlerin kayma dayanımının azalabileceği veya zeminde önemli deformasyonların gelişebileceğini göstermektedir. Bu nedenle inceleme alanı ve civarında olası bir depremin neden olabileceği zemin deformasyonlarından kaynaklanacak tehlikenin araştırılması faydalı olacaktır. Daha önce, Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan 2017'de tamamlanan mikrobölgeleendirme çalışmasının gözden geçirilmesi ve yeniden değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- [1] Analiz Mühendislik İnşaat Sondajcılık Madencilik San. Ve Ticaret Ltd. Sti. Balıkesir İli Edremit İlçesi 4906.79 Hektarlık Alanın İmar Planına Esas Mikrobölceleme Etüt Raporu, 2017.
- [2] Aydın, O., and Çiçek, İ., Geostatistical Interpolation of Precipitation in Turkey. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 2015.
- [3] TBDY. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
- [4] Terzaghi, K., and Peck, R.B., (1948-1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, 566pp(2.ed), New York.
- [5] Uyanık, O. Sıvılaşan ya da Sıvılaşmaz Zeminlerin Yinelemeli Gerilme Oranına Bir Seçenek. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 8(2), 79-91, 2006.
- [6] Keçeli, A. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik 4(2):83-92, 1990.
- [7] Uyanık, O. Deprem Ağır Hasar Alanlarının Önceden Belirlenmesi ve Şehir Planlaması İçin Makro ve Mikro Bölgelendirmelerin Önemi . Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,19(2),24-38, 2015.
- [8] Carvalho J, Dias R, Pinto C, Leote J, Mendes-Victor L. A soil classification for seismic hazard assessment and mitigation of the Algarve. In: Proceedings of the 14th world conference on earthquake engineering, Beijing, China, 2008.
- [9] Keçeli, A. Sismik Yöntem ile Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, Jeofizik Bülteni, 22(63), 65-76, 2010.
- [10] Şafak, E. Local Site Effects and Dynamic Soil Behaviour, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 453-458, 2001.
- [11] Bakır, B.S., Özkan, M.Y. ve Cılız, S. Effects of basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey Earthquake, Soil Dyna, 2002.
- [12] İyisan R, Haşal M.E. Zemin büyütmesi ve yerel koşulların spektral ivmeye etkisi. İtü dergisi/d mühendislik Cilt: 10, Sayı: 4, 47-56, 2011.
- [13] Ulusay, R. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, 2010, Ankara.
- [14] Keçeli A. Soil parameters which can be determined with seismic velocities. Jeofizik 16(1), 17-29, 2012.

Hastanelerde Enerji Verimliliğinin Arttırılması İçin Genel Yaklaşımlar

General Approaches to Increase Energy Efficiency in Hospitals

Fatih KARADAĞ^{*,1}, Furkan DİNÇER¹

* karadagfatih1905@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-0272-1376

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Özet Günümüzde artan nüfusa bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır. Enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlardan karşılandığı gibi bir kısmı da yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır, ancak enerjiye talebin artmasıyla hem ekonomik hem de çevresel faktörler olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple de enerjinin verimli kullanılması öne çıkmaktadır. Bu çalışmada enerji verimliliğinin önemine değinilmiş ve bununla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Örnek bir Hastanede enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Sonrasında enerji verimliliği ile ilgili bazı kanun ve yönetmeliklere değinilmiştir. Son olarak değerlendirme ve önerilerde bulunulmuştur. Ülkemizde enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar arttırılıp, daha fazla eğitimler verilerek fazla enerji kullanımının azaltılması ve kanun ve yönetmeliklerle devletin destek ve teşvik edici uygulamaları sağlanmalıdır.

Anahtar kelimeler: Enerji, Enerji Verimliliği, Kanun ve Yönetmelikler

Abstract Today, due to the increasing population, the need for energy is increasing. While most of the energy is met from fossil fuels, some of it is met from renewable energy sources, however, both economic and environmental factors are negatively affected by the increase in the demand for energy. For this reason, efficient use of energy stands out. In this study, the importance of energy efficiency has been mentioned and the studies related to this have been examined. Studies on energy efficiency in a sample hospital are explained in detail. Afterwards, some laws and regulations related to energy efficiency were mentioned. Afterwards, some laws and regulations related to energy efficiency were mentioned. Finally, evaluation and suggestions were made. In our country, studies on energy efficiency should be increased, more training should be given to reduce excess energy use, and the support and incentive practices of the state should be provided with laws and regulations.

Keywords— Energy, Energy Efficiency, Laws and Regulations

I. GİRİŞ

İnsanlık tarihinden itibaren en temel ihtiyaçlarından biri olan enerji günümüz artan dünya nüfusunda daha da çok önem kazanmıştır. İnsanoğlu enerjiyi ısınma, soğutma, sanayi, hastane ve bir çok alanda kullanmaktadır. Bundan dolayı da çok fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre dünyada tüketilen toplam enerjinin yaklaşık olarak %40' ının binalarda tüketildiği görülmektedir [1]. Artan enerji ihtiyacını en iyi

şekilde kullanmak için enerjiyi verimli kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Enerji verimliliği, üretimdeki kaliteyi düşürmeden enerjiden en etkin şekilde yararlanılmasıdır. Sürekli artan enerji ihtiyacını tasarruf yaparak azaltılabilmek mümkündür ancak kaliteden ödün vermek gerekebilir. Bu yüzden hem enerji kullanımını azaltmak hem de enerjiyi maksimum düzeyde kullanabilmek için enerji verimliliği şart olmaktadır. Kullanılan fosil yakıtların tükenmekte olması ve çevreye zararlar vermesinden dolayı, enerjide yapılan çalışmalar ve akıllıca kullanımlar sonrasında enerji tüketiminin hem azalması hem de daha verimli kullanılması enerjide verimliliğin öneminin daha da artmasına neden olmaktadır.

Binalarda enerji tüketiminin fazla olması ve özellikle 24 saat hizmet veren hastanelerde enerji tüketiminin çok fazla olmasından dolayı bu yerlerde enerji verimliliği çok önemli olmaktadır. Hastanelerde kullanılan tıbbi cihazlar, aydınlatma sistemleri, ısıtma soğutma sistemleri gibi faktörler fazla olduğundan çok fazla enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Buda devletin enerjiye ödediği maliyetleri arttırmakta ve ekonomiyi olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden hastanelerde enerji ihtiyacını ve maliyetini azaltmak için enerji verimliliği ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Hastanelerde enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapılmakta ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu konu hakkında literatür çalışmaları yapılmış ve yapılan bu çalışmalara değinilmiştir; Pooyanfar 2019 yılında yaptığı çalışmasında, Hastanelerde enerji verimliliğine yönelik tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi ve etkinlik oranlarının iklim bölgelerine göre irdelenmesi üzerine bir araştırma yapmıştır. Hastanelerde enerji tüketimini azaltmak için bina yönü ve cam yüzey oranı, bina kabuğu, iklimlendirme ve aydınlatma sistemleri gibi binaları iyileştirme çalışması yapmıştır ayrıca binanın enerji modeli EDSL TAS programı ile standartlara uygun şekilde oluşturmuştur. Sonuç olarak hastanelerde önemli tasarruf sağlanmıştır [2]. Çakmak Barsbay 2020 yılında yaptığı çalışmasında, Kamu hastanelerinde enerji verimliliği analizi: Radyal ve radyal olmayan veri zarflama analizi modellerine dayalı bir uygulama çalışması yapmıştır. Sağlık alanında geniş kapsamlı kullanılan veri zarflama analizinden yararlanarak girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiye dayalı olarak enerji verimliliği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 2016 yılı için hastanelerin %45' inin enerji kullanım düzeylerinin verimli olduğu saptanmıştır [3]. Teke ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, Üniversite hastanesinde enerji verimliliğini artıran uygulamaların geri dönüşüm sürelerinin hesaplanması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Aydınlatma cihazları, elektrik motorları, Isıtma havalandırma ve iklimlendirme sistemleri (İHİS) üzerine yapılan detaylı çalışmalar neticesinde , bir üniversite hastanesinde bu cihazların enerji tasarrufu ve geri dönüşüm sürelerini tahmin etmişlerdir [4]. Özenç ve Künar 2013 yılında yaptıkları çalışmalarında, Hastane aydınlatma sistemlerinde; verimlilik, tasarruf, konfor ve performans incelemesi yapmışlardır. Türkiye'de 10 yıldan eski hastanelerde aydınlatma sistemleri incelenmiş ve gerekli mühendislik ölçüm çalışmaları yapılmıştır. İllüminans, lüminans, CRI, CCT, günışığı değerlendirme ölçümleri yapılmış ve hastane alanlarının potansiyelleri değerlendirilmiştir [5]. Selbaş ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışmalarında, Hastanelerde enerji kullanımında verimlilik için örnek bir uygulama yapmışlardır. Bir hastanenin enerji etüdü yapılarak enerji tasarruf noktaları belirlenip öneriler sunulmuş, tasarruf potansiyeli, yatırım maliyeti ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca hastanede yapılan iyileştirmeden sonra CO₂ emisyonunda azalma saptanmıştır [6]. Yılmazoğlu 2016 yılında yaptığı çalışmasında, hastanelerde enerji yönetimi üzerine çalışmalar yapmıştır. Enerji yönetiminde enerji etütleri, benchmarking (karşılaştırmalı değerlendirme), kullanılan metrikler, anket çalışmaları ve PUKÖ döngüsünün öneminden bahsedilmiş ve enerji verimliliği odak noktalı ile alınabilecek önlemleri belirtmiştir. Sağlık bakanlığı tarafından seçilecek pilot

hastanede enerji yönetim uygulamaları hayata geçirilerek, enerji yönetim sonuçları Enerji Bakanlığı ile uyumlu olarak yaygınlaştırılabilir [7]. Caner 2020 yılında yaptığı çalışmasında, hastanelerde ısıtma ve soğutma yüklerinin ısıl konfor ve enerji verimliliği açısından optimizasyonu konulu çalışmasında Balıkesir Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesinde enerji verimliliği stratejilerinden yararlanarak tahminler etmektedir. Yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak öğretim algoritması oluşturulmuş ve binanın yalıtım kalınlığı, cam tipi, gölgeleme cihazı ve iç mekan hava sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Hasta ve refakatçilerine, hastane çalışanlarına ısı konfor anketleri düzenleyerek en uygun sıcaklık değerlerini bulmuştur [8]. Wang ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında, Çin'deki kamu hastaneler ve sağlık tesisleri için enerji verimliliği oluşturma, bunların engelleri ve itici güçler olarak çalışma yapmışlardır. Çin'deki kamu hastanelerine ve sağlık tesislerinde enerji verimliliği teknolojilerinin ve stratejilerinin uygulanması önündeki engeller araştırıldı ve bun uygulamalara dayanarak kapsamlı bir literatür araştırması yaparak özel kontrol listesi oluşturup bu listeye göre hastane çalışanlarına anket yapıldı. Bu sonuca göre hükümetin enerji verimliliği artırma konusunda çok önemli rolü olması gerektiğine, fakat enerji verimliliği artırma çalışmasında rehberlik etmekte başarısız olduğunu gösterdiler [9]. Prada ve ark. 2020 yılında yaptıkları çalışmalarında, Özel öneme sahip binaların (hastanelerin) enerji verimliliği ile sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yeni çözümler sunmuşlardır. Hastane işlevi ile özel öneme sahip 2 hastane binasında, binaların akıllı enerji verimliliği çözümlerinin uygulanması, gezegen ve çevreyi korumaya yönelik çabalara katkıda bulunulduğu 2020 Avrupa stratejilerini destekledikleri görülmüştür. 15 yıllık süre boyunca 70-70-70 oranlı bir programın yürütülmesi önerilmektedir. bu hedeflere ulaşmak için, Binanın sera gazı emisyonlarının %70 oranında azaltılması, tüketilen toplam enerjinin %70 oranında yenilenebilir enerjiden sağlanması ve binanın enerji verimliliği %70 performansla çıkması gerektiğini belirlemişlerdir [10]. Fifield ve ark. 2018 yılında yaptıkları çalışmalarında, hastane odaları ve modüler yapı: Yaz aylarında aşırı ısınma ve enerji verimliliği ile ilgili araştırma yapmışlardır. İngiltere'de bir hastanedeki odalarda enerji taleplerini ve iç sıcaklıkları modüler hızlı izleme yöntemi kullanarak incelemişlerdir. İki katlı binada, hasta odalarının koşullandırılması için tavana monte radyant paneller ve ısı geri kazanımlı doğal ve mekanik havalandırma karışımı kullanılmıştır. Temel olarak hafif iyi yalıtılmış, doğal havalandırılmış odalarda hasta odalarının düşük enerjili olacağı, fakat İngiltere gibi yazları serin olan iklimlerde aşırı ısınma riski altında oldukları ve bu tür binaların daha geniş çapta ele alınıp incelenmesi gerekmektedir [11].

Bu çalışmada enerji verimliliğinin önemine değinilerek, hastanelerde yapılmış mevcut çalışmalara atıfta bulunulmuş ve değerlendirilmiştir. İkinci bölümde bir Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinde enerji verimliliği ile ilgili yapılan çalışmalar ve alınan önlemlere değinilmiştir. Üçüncü bölümde ise enerji verimliliği kanunu ve binalarda enerji verimliliği ile ilgili yönetmeliklere yer verilmiştir. Ardından değerlendirme ve önerilerde bulunulmuştur.

II. BİR SAĞLIK UYGULAMA VE ARAŞTIRMA HASTANESİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN SAĞLANMASI İÇİN GENEL YAKLAŞIMLAR

Artan nüfusa bağlı olarak hastanelerde hasta sayısının artması ve hastanelerde yaşanan yoğunlukların artması, ayrıca 24 saat hiç durmadan hizmet veren hastanelerde enerji tüketiminin çok fazla olmasından dolayı, hastanelerde hem enerji tasarrufu hem de enerji verimliliği için bazı uygulamalar yapmak kaçınılmaz olmuştur. Bu bölümde örnek olarak bir Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinde enerji verimliliği ile ilgili nelerin yapıldığı ve nelerin yapılacağı ele

alınmıştır.

Sunulan çalışma için seçilen Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin 2020 yılında yapmış olduğu elektrik tüketimi 11.446.602,73 kWh olarak hesaplanmış ve 2020 yılında elektrik tüketimi için yapılan harcama miktarı 9.170.043,24 TL olmuştur, ayrıca hastanenin bazı yerlerinde sadece elektrik değil ısıtma sistemi için de kalorifer yakıtı kullanılmaktadır. 2020 yılında hastanenin kalorifer yakıtı tüketimi 582.290 litredir ve kalorifer yakıtına yapılan harcama 2.206.934,42 TL olmuştur. Böyle bir tüketimin yüksek olduğu yerde enerji tüketiminde yapılacak %1'lik tasarruf bile büyük bir önem arz etmektedir.

Bir hastanenin yıllık enerji tüketimi azımsanmayacak kadar fazladır. Tüketimi azaltmak için alınan bir takım önlemler vardır. Bu hastanede alınan önlemlerden biri de ısı geri kazanımlı plakalı eşanjör yardımıyla klima santrallerinde ısı dengesi sağlanıp enerji verimliliği elde edilmesi sağlanmıştır.

Merkezi kontrol odası oluşturulup poliklinik ve servis odalarındaki klimaların kontrolü tek bir yerde sağlanıp gereksiz kullanımların önüne geçilmiş ayrıca hasta ve personel odalarında ısı dengesi sağlanıp odaların en verimli şekilde kullanımı sağlanmıştır, ayrıca merkezi kontrol odasında yangın alarm sistemi , acil kod sistemi, pnömatik sistemi ve jeneratör sisteminin bir kişi tarafından kontrol edilmesi sağlanıp, bu sistemler için ayrı ayrı odalar yapıp fazla enerji harcamadan takibi sağlanmıştır. Merkezi kontrol odasının görünümü Şekil-1' de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma için Seçilen Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi Merkezi Sistem Kontrol Odası

Hastane giriş kapılarına hava perdesi takılarak dışardan gelen soğuk yada sıcak hava engellenip giriş kapılarının bulunduğu alanların ısı dengesi sağlanarak, ısı kayıplarını azaltıp mevcut alanın en verimli şekilde kullanılması sağlanmıştır.

Hastanenin ameliyathanelerinde tam temiz hava uygulaması yapılmakta ayrıca hepa filtre kullanılmaktadır. Tam temiz hava dışardaki havayı emiş menfezlerinden çekerek hepa

filtrelerinden geçirip ayrıca ısıtma işlemi yaparak ameliyathane odalarına ısı verilmesidir. ancak bu işlem enerji tüketimini artırmaktadır ama hastanenin ameliyathaneleri hariç diğer alanlarında yarı temiz hava çalıştırılmaktadır. Yarı temiz hava odada bulunan ısıtılmış havayı emiş menfezlerinden çekerek filtreden geçirip temiz havanın ısıtma işlemi yapılmadan odaya tekrar verilmesidir. Bu işlemde dışardan gelen hava gibi ısıtma işlemi yapılmadığından daha az enerji harcanarak aynı sıcaklığı etkilemeden ısıtma işlemi yapıp verim alınmaktadır.

Hastane polikliniklerinde VRF klima cihazlarının elektronik kartlarında bazı polikliniklerin medikal cihazların çalışmasında aksaklıklar yaşanması üzerine, teknik ekip ve firma çalışanları çağırılarak söz konusu polikliniklere 24 saatliğine harmonik röle cihazı bağlanarak, yapılan ölçümlerde sistemde yüksek değerlerde harmonik, gerilim çökmesi, frekans kayması gibi sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkileyen parametreler gözlenmiştir, bu da çok fazla enerji tüketiminde olumsuzluklara yol açmaktadır. Bu sorunun önüne geçebilmek için elektrik panosuna harmonik filtre cihazı bağlanarak sorunun çözüleceği belirlenmiştir. Harmonik filtre cihazı takarak enerjiden verim elde edilmesi beklenmektedir.

III. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Artan dünya nüfusuna paralel olarak enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır. Enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır, fakat fosil yakıtların tükenmekte olmasından dolayı enerjide yeni alternatifler aranmaktadır. Bunların başında yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli olduğu kadar enerjiyi verimli kullanmakta çok önemli olmaktadır. Bu nedenle enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde enerji verimliliği ile ilgili bir çok çalışmalar yapılmaktadır.

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu 02.05.2007 tarihinde resmi gazetede yürürlüğe girmiştir. Kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Bu kanun ile kurum ve kuruluşların yetkileri belirlenmiş, enerji yöneticisi ismi ortaya çıkmış ve enerji yöneticilerinin ne gibi görevlerinin zorunlu olduğu belirtilmiştir. Kanun çerçevesinde hangi projelere destek verileceği belirtilmiştir [12-14].

Isıtma, soğutma, aydınlatma ve fabrikalarda çok fazla elektrik tüketimi olmaktadır. Bunun önüne geçmek için enerjiyi verimli kullanmak gerekir. Ülkemizde enerji verimliliği ile ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Özellikle binalarda enerji tüketimi çok fazla olmaktadır. 24 saat hizmet veren hastanelerde enerji tüketimi çok fazla olmaktadır. Bu enerji tüketimini azaltmak için hastane gibi binalarda enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar titizlikle yapılmalıdır. Böylece bu çalışmalarla istenilen miktarda enerjiyi verimli kullanıp, gereksiz olan ya da fazla olan enerjiyi azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlamak gerekir. Ayrıca çıkarılan yönetmeliklere ve kanunlara uygun şekilde binalar yapıp bu binalarda enerji verimliliği sağlayarak fazla enerji tüketimi azaltmak gerekmektedir.

Hastanelerde yapılan çalışmalar ve alınan önlemler sayesinde fazla enerji tüketiminin önüne geçilmeli, uygulanan kanun ve yönetmeliklerle de enerji tüketimi azaltılıp daha temiz ve enerji de dışa bağımlı olmadan istikrarlı ve yükselen bir ülke konumuna gelmek için, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar çoğaltılmalı ve gerekli önlemler alınarak ülke ekonomisine katkı sağlanmalıdır, ayrıca kanun ve yönetmeliklere uyulup enerji verimliliğinde öncü ülkeler arasında

olma yolunda ilerlememiz gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Laustsen, J. (2008). Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings: IEA information paper. Sweden: International Energy Agency, 1-85.
- [2] Pooyanfar, M. (2019). Hastanelerde enerji verimliliğine yönelik tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi ve etkinlik oranlarının iklim bölgelerine göre irdelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), 126s, Ankara.
- [3] Çakmak Barsbay, M. (2021). Kamu hastanelerinde enerji verimliliği analizi: Radyal ve radyal olmayan veri zarflama analizi modellerine dayalı bir uygulama. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (27)1, 35-42 ss.
- [4] Teke, A., Timur, O., Zor, K. (2015). Calculating Payback Periods for Energy Efficiency Improvement Applications at a University Hospital. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 41-56 ss.
- [5] Özenç, S., Künar, A. (2013). Hastane Aydınlatma Sistemlerinde; Verimlilik, Tasarruf, Konfor ve Performans. https://www.emo.org.tr/ekler/ddb19bc08297670_ek.pdf Erişim Tarihi: 08.03.2021.
- [6] Selbaş, R., Şencan Şahin, A., Yılmaz, F., Eşki, C., (2014). Hastanelerde Enerji Kullanımında Verimlilik İçin Örnek Bir Uygulama. <https://file.tmd.org.tr/makale/91-1.PDF> Erişim Tarihi: 10.03.2021.
- [7] Yılmazoğlu, M. Z. (2016) Hastanelerde Enerji Yönetimi <https://docplayer.biz.tr/49157253-Hastanelerde-enerji-yonetimi.html> Erişim Tarihi: 08.03.2021.
- [8] Caner, İ. (2020) Hastanelerde Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Isıl Konfor ve enerji Verimliliği Açısından Optimizasyonu. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), 139s, Balıkesir
- [9] Wang, T., Li, X., Liao, P., Fang, D. (2015) Building energy efficiency for public hospitals and healthcare facilities in China: Barriers and drivers. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216302833> Erişim Tarihi: 09.03.2021
- [10] Prada, M., Prada, I. F., Cristea, M., Popescu, D. E., Bungau, C., Aleya, L., Bungau, C. C., (2020). New Solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance-Hospital. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720309566> Erişim Tarihi: 09.03.2021
- [11] Fifield, L. J., Lomas, K. J., Giridharan, R., Allison, D. (2018). Hospital wards and modular construction: Summertime overheating and energy efficiency. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318303081#!> Erişim Tarihi: 09.03.2021
- [12] Enerji Verimliliği Kanunu, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm> Erişim Tarihi: 10.03.2021
- [13] Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/10/20081009-2.htm> Erişim Tarihi: 10.03.2021
- [14] Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm> Erişim Tarih: 10.03.2021

Reliability Assessment of Aircraft Hybrid Electric Propulsion Architecture Candidates

Elif Koruyucu^{*,1}, Melih Yıldız²

^{*}: elifkoruyucu@eskisehir.edu.tr, ORCID:0000-0001-9217-382X

¹: Eskişehir Technical University, Porsuk Vocational School, Eskişehir, Turkey

²: Girne University Faculty of Aviation and Space Sciences, Girne, KKTC

Abstract In order to minimize the use of fossil fuels, electrification in vehicles used in transportation is one of the leading issues among researchers and companies. The depletion of fossil fuels and the negative effects of greenhouse gases generated by the use of such fuels have led to the search for alternative fuels and propulsion systems. As in other transportation vehicles, it has become a necessity to use electric propulsion systems in aviation as a power source. Up till now, aircraft and aircraft systems certification used established data, gathered through long years of flight and research. With the introduction of new systems such as batteries, electric motor use for propulsion etc. a new certification basis is needed to be established. For establishing this new certification basis reliability and safety issues of this new system shall be studied. Reliability is the tendency of a system to perform at its designed performance under certain conditions. To maintain this anticipated performance; the percentage of unexpected failures should be at an acceptable value over the lifetime under the operating conditions of the system. Electric motors have less moving parts compared to internal combustion engines. This can be a case that electric propulsion systems are more reliable than conventional combustion alternatives, but this must be studied before reaching any conclusion. The higher the degree of hybridization, or in other words, the more the use of the propulsion provided by the electric motor rather than the propulsion provided by the internal combustion engine, the less likely it is to encounter a failure caused by the propulsion systems of the aircraft. It is clear that, besides the other advantages it provides, the electric propulsion may offer significant benefits in terms of reliability, which is subject to consideration and methodical research before employing this technology in a wider sense. This study discusses a framework for modelling the reliability issues of this new technology.

Keywords: *Hybrid Electric Propulsion; Aircraft; Reliability*

I. INTRODUCTION

CARBON-BASED fuels are used in aviation. As a result of the use of these fuels, CO₂, CO, NO, water vapor, sulfur oxides, hydrocarbons and particulate matter, which are called greenhouse gases, are produced. The use of fossil fuels should be reduced as a result of both the negative effects of greenhouse gases produced and the reduction of traditional fuel sources. Air traffic is increasing at a rate of approximately 4% per year. If the current trend in air traffic, fuel production and demand continues, it is predicted that there will be a shortage in jet fuel until 2026 [1].

Among all aircraft, commercial single-aisle and twin-aisle aircraft consume 93% of all fuel

consumed. Using this data, it can be concluded that in order to reduce aviation emissions, fuel efficiencies and engineering approaches must be developed for larger and longer range aircraft [2]. But because of the capacity limitations of current electric energy storage technologies [3] all electric propulsion can only seem possible for small 2-4 seater aircraft. Besides, electric propulsion has a significant architecture challenge, not only because they deal with considerably high electrical loads but they are also prone to weight increase [4]. As a solution to the above mentioned challenges, hybrid propulsion architectures such as parallel hybrid electric, turboelectric and distributed electric have been proposed. The term hybrid-electric propulsion refers to a technology, which uses electrical energy for one of the propulsion energy from the battery, used in combination with at least one other propulsive energy source which can be supplied through a gas turbine or internal combustion engine. By employing hybrid electric propulsion, literature shows a range of fuel efficiency increase in the order from 22 per cent to 60 per cent [5]–[7].

In the architectural standpoint, three main configuration items are required in a hybrid propulsion system architecture. These are the energy source (ES) which stores energy (e.g. batteries, fossil fuel and fuel cells); power source (PS) which propulsive power is produced (e.g. electric motor, gas generator or internal combustion engine); and thrust source (TS) which is used to generate thrust (e.g. propeller and fan) [8].

Hybrid-electric propulsion system design is an optimization problem [9], which presents a more complex problem compared to current knowledge of conventional aircraft design. With this technology, a new dimension in form of multiple energy management is introduced to the field of aircraft design, bringing the battery and power electronic system technologies along. These technologies are also new to the aviation industry both by means of design and operation.

Unfortunately, the engine and aircraft analysis are generally isolated, depending on the assumption of using a battery with constant electrical power supply. This enables the design approach with sizing and analysis to be performed, but detailed requirements of the battery system are left undefined.

II. ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS AND BARRIERS TO APPLICATION

There are technical and regulatory restrictions on the application of electric propulsion systems in the aviation. Technology issues are directly linked to electrification and first one is battery performance, which is mostly depends on battery capacity and weight. Implementation of new generation propulsion systems depends on level of progress in battery technology. In hybrid and all electric propulsion architecture, battery plays an important role. An acceptable electrical storage system for propulsion requires at least 500-1500 Wh/kg energy density, while today's highest battery range is almost 150-250 Wh/kg, technology is too far from providing battery power with more than 1800 Wh/kg required for a regional AEA [10]. On the other hand, the safety and reliability issues are also present with the battery systems as another field of problem.

The second limitation is motors and generators, which significantly impact the application of electrification. Lighter, more efficient and higher power density is a must for turbo, hybrid and all electric propulsion systems.

The third barrier is power electronics (PE), which are important for converting, inverting, switching and storing high needed powers with minimum heat generation operation in a safe and

reliable condition.

The fourth obstacle to be overcome is distribution of high voltage electric especially in distributed propulsion systems that may increase the cable weight. Additionally, in order to transmit high power levels in an aircraft, it is necessary to increase voltage level to reduce power losses, which has a limitation by means of insulation break down and arcing.

Lack of adequate regulations are also considered as an obstacle in the execution of electrical propulsion systems. Based on EASA (European Aviation Safety Agency) regulations, although Certification Specifications such as CS-E Engines, CS-22 and CS-25 subpart H is designed for determination of requirements of different engine types, electric propulsion system is considered by none of them.

As the system and its related components are new to aviation industry, a new track of reliability analyze is required for establishing its certification and further application in civil aviation system.

III. RELIABILITY ENGINEERING IN ELECTRIC PROPULSION SYSTEM

Aiming to successful implementation of the reliability system engineering, some critical steps must be performed. First of all is planning, second is identifying reliability requirements using top down or bottom-up approach, third is usage of accepted reliability techniques, third verify and validate the conformity status with requirements in design stage and finally continuing reliability system engineering in manufacturing and also operational stage [11]. All of those mentioned stages, especially for new generation propulsion systems, require more attention due to novelty in technology.

Besides that increasing experience in the whole process of system design and development is essential, specifically for new electrical propulsion systems going to be used further in future [12].

Furthermore, utilizing more reliable components to enhance system reliability is essential and granted by applying product quality monitoring by manufacturers. It is exactly applicable to all of each component combining to make a sub system of electric propulsion.

Moreover, considering reliability principles to increase reliability using fault tolerance techniques including but not limited to implementation of redundancy, isolation and warning.

Finally noticing high quality tests including Accelerated tests (in situation more severe than normal operational condition) for validation of reliability design and also in verification and validation of certification process [11].

Since PE, batteries and BMS are essential parts in hybrid and fully electric propulsion, improvement in design, reliability, and definition of authority requirements is crucial in the implementation pathway of new generation aircraft propulsion systems

IV. FIRST EASA TYPE CERTIFICATION APPROVAL FOR AN ELECTRIC AIRCRAFT: CASE STUDY

According to the Type Certificate Data Sheet (TCDS) NO. EASA.A.573 [13], for type Virus SW 121, model Virus SW 128, aircraft type certification issued on June 2020 and TCDS No. EASA.E.234 [14], for type E-811 Engine (electric motor and PE unit) issued on May 2020 the fully electric aircraft is certified by EASA for the first time the world. The summary of EASA type certification basis and technical characteristics associated with this aircraft type and engine is as

Table 1.

Table I – Virus SW 128 EASA type certification basis and technical characteristics

Aircraft Type (Electric engine, two seat, high wing cantilever composite, T-tail empennage, fixed tricycle landing gear & three bladed fixed pitch propeller)			
Airworthiness Requirements	Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Light Sport Airplanes CS-LSA	Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Airborne Communications, Navigation and Surveillance CS ACNS	
Special Conditions (SC)	SC-LSA-F2480-01 - LSA Propulsion Lithium Batteries;	SC-LSA-15-01 - Electric Power plant Installation for CS LSA aero planes	SC-ELA.2015-01 - Lithium battery installations
Engine (W268 MV LC VHML motor (57.6 k) & a H300C power electronics (311A, 400Vdc))			
Airworthiness Standards	CS-22, Subpart H, Amendment 2		
Special Conditions (SC)	SC E-1 - Electrical Engine for powered sailplanes, LSA or VLA		

The Energy Storage System (ESS) consists of two parallel lithium batteries 11kWh capacity of each, with nominal voltage 345 Vdc and an integral BMS. One of the batteries is located in the bow of the aircraft, and the other is behind the cockpit in order to provide redundancy of the power source; in case of the battery failure, the faulty battery is disconnected from the system automatically. Battery-BMS-PE architecture is illustrated in Fig. 1.

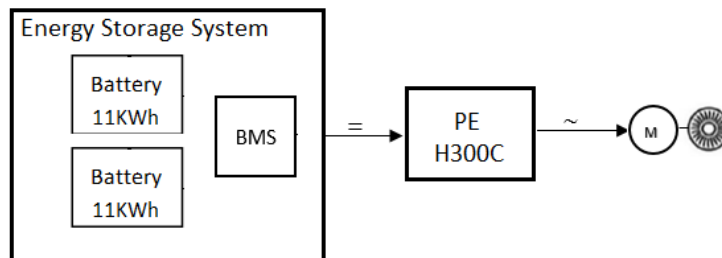


Fig. 1. Virus SW 128 Propulsion Architecture

Completion of the certification process for SW 121 below 3 years is a sign of collaborative coordination between EASA and designer and a good start point in this era. Experience gathered in this certification process is a historical point can be used in future aircraft type certification process for other electric aircraft types.

Considering the operational issues of Virus SW 128, to address the deficiency in continuing airworthiness requirements towards electric propulsion, the Civil Aviation Authority of The Netherlands issued a "General Approval" under title of ILT-2020/51992 pursuant to article 71(2) of Regulation (EU) No. 2018/1139, grants an exemption for the continuing airworthiness requirements about the extent of approval, personnel requirements and certifying staff and airworthiness review staff, specifically for Virus SW 128 on 1 Oct 2020.

V. CONCLUSION

Reliability of the electric propulsion system components became an important point of interest, as the said system is seemed as an answer to the industries and governments quest for clean and leaner aviation. The system has itself is not mature enough as the industry is used to in comparison to current technologies of internal combustion engines. In order to get to the same level of acceptance the electric propulsion technology have some barriers to overcome as listed in this research. The main issue of interest is the reliability of the electric propulsion system which compromises power electronic, battery and electric motor in addition to current technologies. For assessing the reliability of the electric propulsion system, additional subsystems of PE, batteries and BMS shall be regarded. First electric aircraft which receive EASA type certification approval (virus SW 121) seems to provide a good basis for experience of certification process or future projects of aircraft electrification.

REFERENCES

- [1] G. E. Wroblewski and P. J. Ansell, "Mission Analysis and Emissions for Conventional and Hybrid-Electric Commercial Transport Aircraft," *J. Aircr.*, vol. 56, no. 3, pp. 1200–1213, May 2019, doi: 10.2514/1.C035070.
- [2] A. H. Epstein and S. M. O'Flarity, "Considerations for Reducing Aviation's CO₂ with Aircraft Electric Propulsion," *J. Propuls. Power*, vol. 35, no. 3, pp. 572–582, May 2019, doi: 10.2514/1.B37015.
- [3] J. M. Rheume and C. Lents, "Energy Storage for Commercial Hybrid Electric Aircraft," Sep. 2016, doi: 10.4271/2016-01-2014.
- [4] H.-J. Steiner, P. C. Vratny, C. Gologan, K. Wieczorek, A. T. Isikveren, and M. Hornung, "Performance and Sizing of Transport Aircraft Employing Electrically-Powered Distributed Propulsion," *Dtsch. Luft- und Raumfahrtkongress 2012*, no. April 2015, 2012.
- [5] F. G. Harmon, A. a. Frank, and J.-J. Chattot, "Conceptual Design and Simulation of a Small Hybrid-Electric Unmanned Aerial Vehicle," *J. Aircr.*, vol. 43, no. 5, pp. 1490–1498, 2006, doi: 10.2514/1.15816.
- [6] C. Friedrich and P. A. Robertson, "Hybrid-Electric Propulsion for Aircraft," *J. Aircr.*, vol. 52, no. 1, pp. 176–189, 2015, doi: 10.2514/1.C032660.
- [7] J. Thauvin, G. Barraud, X. Roboam, B. Sareni, M. Budinger, and D. Leray, "Hybrid propulsion for regional aircraft: A comparative analysis based on energy efficiency," in *2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*, Nov. 2016, pp. 1–6, doi: 10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841392.
- [8] G. Cinar, E. Garcia, and D. N. Mavris, "A framework for electrified propulsion architecture and operation analysis," *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 92, no. 5, pp. 675–684, Aug. 2019, doi: 10.1108/AEAT-06-2019-0118.
- [9] C. Perullo and D. Mavris, "A review of hybrid-electric energy management and its inclusion in vehicle sizing," *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 86, no. 6, pp. 550–557, Sep. 2014, doi: 10.1108/AEAT-04-2014-0041.
- [10] T. Yang, F. Gao, S. Bozhko, and P. Wheeler, *Power electronic systems for aircraft*. Elsevier Inc., 2018.
- [11] E. ZIO, M. FAN, Z. ZENG, and R. KANG, "Application of reliability technologies in civil

- aviation: Lessons learnt and perspectives,” Chinese J. Aeronaut., vol. 32, no. 1, pp. 143–158, 2019, doi: 10.1016/j.cja.2018.05.014.
- [12] K. Emmanouil, “Reliability in the era of electrification in aviation: A systems approach,” Microelectron. Reliab., vol. 114, p. 113945, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.microrel.2020.113945.
- [13] EASA, Type Certificate Data Sheet NO. EASA.A.573 for Virus SW 121, no. January. EASA, 2021.
- [14] EASA, Type Certificate Data Sheet No. EASA.E.234 for type E-811 Engine, 1st ed., no. May. EASA, 2020.

Covid-19 Etkisi ile Sanayilerde Değişim

Changes in Industries with the Covid-19 Effect

Muhlise Yiğitoğlu^{*1}, İrem Düzdar Argun¹

muhlise301@gmail.com ORCID: 0000-0000-0000-0000

Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce

Özet İlk hastanın Çin'in Wuhan kentinde görülen Covid-19 salgını tüm dünyayı etkisi altına almaktadır. Türkiye de bu salgın hastalıktan ciddi derece de etkilenmektedir. Türkiye 28.11.2020 tarihinde açıkladığı günlük vaka sayısı (30.103) ile Avrupa kıtasında birinci sıradadır. Covid-19 süresi boyunca salgının bulaşma riskini azaltmak amacı ile dünya çapında çeşitli kısıtlamalar uygulanmaktadır. Bu kısıtlamalar doğrultusunda gümrük kapıları kapatılıp uçuşlar ertelenmiştir, birçok iş yerinde evden veya dönüşümlü çalışma uygulamaları ya da dönüşümlü olarak çalışmaya gidilmesi, belirli gün ve saatlerde evden çıkamama şeklinde yürütülmektedir. Getirilen kısıtlamalar birçok sektörü etkilediği gibi sanayi sektörünü de etkilemektedir. Ülkelerin ekonomik özgürlükleri ile sanayi sektörleri arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Mustafa Kemal Atatürk'ün de dediği gibi "Her fabrika bir kaledir". Ekonomik özgürlükleri olan ülkeler salgın sürecinden daha az etkilenmektedirler. Bu çalışmada Covid-19 sürecinden ve getirilen kısıtlamalardan sanayilerin nasıl etkilendiği, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi ile bulunması amaçlanmaktadır. Uygulama sonucunda belirlenmiş olan ölçütler etkilenme durumlarına göre sıralanmıştır ve Covid-19'un hangi ölçütü en çok etkilediği bulunması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Covid-19, Analitik Ağ Süreci

Abstract The first Covit 19 case is detected in Wuhan of China is surrounding the World in a short period of time. Turkey is affecting from this epidemic disease also. Turkey is at the top of the European epidemic list number of cases having 30.103 cases at 28TH of November, 2020. Through this epidemic period some preventive actions are applied by governments like closing the border crossings, the international flights are cancelled, some of the industries are decided to work at home or alternately and living at home for determined periods. These limitations are directly affecting the people and industries. There are tight relations between the economic independence of a country and her industries. "Each industrial plant is a fortress" as Mustafa Kemal Atatürk was stated. The countries having economic independence affected lesser than the others from this epidemic disease. In this study it is aimed to state the effects of this Covit 19 conditions and limitations on the industry of Turkey by employing one of the multi criteria decision making methods, Analytic Network Process. The defined criteria are sorted in accordance with the degree of affection and the most affected criterion is determined at the end of the study.

Keywords: Covid-19, analytical network process

I. GİRİŞ

Sanayileşme; sermayenin, doğal kaynakların ve iş gücünün israf yapmadan en uygun teknoloji ile ürün üretilmesi olarak tanımlanmaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri hangi ürünü ne şekilde ürettiklerine bağlıdır ve ekonomik problemler, üretim olgusuna bağlıdır yani bir ülkede sanayileşme ne kadar gelişmiş ise ekonomi de o kadar gelişmiştir diyebilmekteyiz. Sanayi ekonominin öncü sektörüdür ve toplumun refah düzeyini artırıp kalkınmayı olanaklı kılacağı düşüncesi ülkelerin sanayileşmeye olumlu yaklaşmasını sağlamaktadır [1]. Tüm dünyayı etkisi altına alan salgın hastalık Covid-19 sebebi ile alınan önlemler sonucunda ve Covid-19'un bulaşma riskinden dolayı arz ve talep şoku söz konusu olmaktadır. Bu durum ülkelerin ekonomilerini olumsuz etkilemektedir. Ancak ekonomik olarak gelişmiş ülkeler, ekonomisi daha kötü durumda olan ülkelere göre daha az etkilenmektedirler. Ülkelerin ekonomik özgürlükleri sanayi sektöründe ne kadar geliştiklerine bağlıdır [2]. Covid-19 her sektörü etkilediği gibi sanayi sektörünü de etkilemektedir, sanayi sektörü ülke ekonomisi açısından çok önemli bir faktör olduğu için, yapılan çalışma da Covid-19'un sanayileri nasıl etkilediğini çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden "Analitik Ağ Süreci" (AAS) ile belirlemeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, sanayilerin Covid-19 sürecinden nasıl etkilendiğini belirlemek için literatür taraması yaparak toplamda 8 ana ölçüt ve 37 alt ölçüt belirlenmiştir. Belirlenmiş olan ölçütler arasındaki ilişki durumlarına göre karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur ve oluşturulan matrisler uzmanlar tarafından önem derecelerine göre puanlanmıştır. Yapılan karşılaştırmaların geometrik ortalamaları alınarak Super Decision programında kurulan AAS modelinde değerler girilerek ölçütler önem derecelerine göre sıralanacaktır.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yapılan çalışmalar arasında sanayinin etkilendiği ölçütler ve bu ölçütlerin değerlendirilmesi için kullanılan Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri kullanıldığı gözlenmiştir. Acar ve Çapkın (2017), Tedarik zinciri seçimi firmalar için müşteri tatminini artırmak ve rekabet avantajını sağlamak sebebi ile önemli bir ölçüttür. Günümüzde hammadde tedarikçi seçimi, sipariş miktarı ve maliyet önemli unsurlardır. Bu çalışmada firmanın hammadde tedariki için en uygun tedarikçiyi analitik ağ süreci ile belirlemişlerdir. İncelenen bu çalışmadan hata tespitleri ve hurdaya ayrılan ürünler kalite ölçütünün altında sanayileri etkilediği sonucuna ulaşılmıştır [3]. Şenses ve Taymaz (2003), Bu çalışmada sanayileşme süreçlerinden bahsedilmektedir. Sanayileşmenin gelişmesi için bilim ve teknoloji alanlarında da gelişme gösterilmesi gerekmektedir. Sanayiler; dış kaynak kullanımı, bölgesel teşvik, AR-GE, teknolojik gelişmeler, kullanılan ekipmanlar, talep, kaynak verimliliği, istihdam, sübvansiyon ve esneklik ölçütlerinden etkilenmektedirler [4]. Kartal ve Şentürk (2020), 200'den fazla yapılandırılmış görüşme yaparak Covid-19'un işletmeleri nasıl etkilediği tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda en çok etkilenen sektörlerin ulaşım, eğlence, yeme-içme ve konaklama olduğu tespit edilmiştir. Tedarik zinciri, perakendeciler ve markalar, tüketici talebi, satış ve pazarlama gibi konular zorlukla karşı karşıyadır. Getirilen kısıtlamalar neticesinde sanayi sektörü de etkilenmektedir [5]. Akca ve Tepe Küçükoğlu (2020), Covid-19 salgının bulaşma riskini azaltmak sebebi ile alınan tedbirlerden biri de evden çalışma uygulamasıdır. Fakat iş gücü gerektiren ve bir takım özel donanım kullanılan işlerde evden çalışma metodu uygulanamamaktadır. Bu çalışmada Covid-19 sürecinde getirilen evden çalışma uygulaması

değerlendirilmektedir. Covid-19'un psikolojik ve sağlık sorunları olarak istihdamı etkilediği bahsedilmektedir [6]. Adıgüzel (2020), Covid-19'un Türk ekonomisine etkilerini incelemektedir. Covid-19 sürecinde iç ve dış talebin azalması nedeni ile tekstil hazır giyimden otomotiv sanayiinde ve daha birçok sektörde üretim durma noktasına gelmektedir. Sonuç olarak enflasyon, dış ticaret, döviz kurları ve üretim Covid-19'dan olumsuz etkilenmektedir [7].

III. METODOLOJİ VE UYGULAMA

Covid-19'un sanayi sektörlerine etkisini belirlemek amacıyla bu çalışmada kullanılan yöntemi ve ölçütleri yapılan literatür taraması ile belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Ana Ölçütler ve alt Ölçütler

Ana Ölçüt	Alt Ölçüt
Kalite [1]	Hata tespitleri
	Hatalı ürün iade oranı
	Hurdaya ayrılan ürünler
	Kalite/ürün belge sayısı
	Müşteri şikayetleri
Teknoloji [2]	AR-GE çalışmaları
	Kullanılan ekipmanlar
	Teknolojik gelişme
Kaynak Kullanımı [6]	Dış kaynak kullanımı
	Hammadde
	Kaynak verimliliği
Ekonomik [7]	Bölgesel teşvik
	Cari denge
	Döviz kuru
	Enflasyon
Maliyet [8]	Ekonomik kriz
	Fabrika yer seçimi
	Stok maliyeti
	Sübvansiyon
Tedarik Zinciri [9]	Depolama
	Doğru teslimat
	Fiyat
	Kısıtlamalar
	Teslimat süresi
İnsan Kaynakları [10]	Psikoloji
	İstihdam
	Sağlık sorunları
Üretim [11]	Esneklik
	Evden çalışma uygulaması
	Hız
	İhracat
	İthalat
	Mevsimsel dalgalanmalar
	Pazar payı
	Rekabet gücü
	Talep
	Trendler

A. Analitik Ağ Süreci

AAS'de problemin tüm bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki olası ilişkiler tanımlandıktan sonra bir bileşene etki eden tüm diğer bileşenler için ikili karşılaştırmalar yapılarak birbirlerine göre üstünlükleri analiz edilmektedir. AAS ikili karşılaştırma esasına dayanmaktadır ve bu ikili karşılaştırma matrislerinin puanlanmasında Saaty tarafından geliştirilen 1-9 önem skalası kullanılmaktadır. Bu ölçeğin önem skalası değerleri ve tanımları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Saaty puan skalası. [12]

DERECELER	TANIM
1	Eşit önemli
3	Biraz daha fazla önemli
5	Kuvvetli derece önemli
7	Çok kuvvetli derece önemli
9	Aşırı derece önemli
2-4-6-8	Uzlaşma (ortalama) değerler

AAS adımları;

1. **Problemin tanımlanması**; karar problemi tanımlanarak amaç, ölçütler ve alt ölçütler belirlenmektedir.
2. **İlişkilerin belirlenmesi**; ölçütler ve alt ölçütler arasında ki ilişkiler belirlenmektedir.
3. **İkili karşılaştırmaların yapılması**; Çalışma konusunda uzmanlaşmış kişilerden ölçütlerin önceliklerinin karşılaştırmaları yapması.

Tablo 3. Karşılaştırma matrisi. [13]

	Ölçüt 1	Ölçüt 2	...	Ölçüt n
Ölçüt 1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
Ölçüt 2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
...
Ölçüt n	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

$$W1 \ aij = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{aij}{\sum_{j=1}^n aij} \quad (1)$$

4. **Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık analizinin yapılması**; uzmanların değerlendirmeleri sonucunda oluşturulan karşılaştırma matrislerinin tutarlı olup olmadığını kontrol etmek için her bir karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı (CR) hesaplanmalıdır. Tutarlılık oranı 0.10'dan küçük ise karşılaştırma matrislerimiz tutarlıdır, 0.10'dan büyük ise karşılaştırma matrisleri tutarsız demektir. Tutarsızlık bulunması durumunda uzmanların önceliklerini kontrol ederek yeniden belirlemeleri gerekmektedir. Tutarlılık oranının hesaplanması;

Tablo 4. Rassal indeks tablosu.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Özdeğerin hesaplanması;

$$\lambda_{max} \ i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)i}{wi} \quad (2)$$

Tutarlılık indeksinin hesaplanması;

$$CIi = \left(\frac{\lambda_{max} \ i - n}{n-1} \right) \quad (3)$$

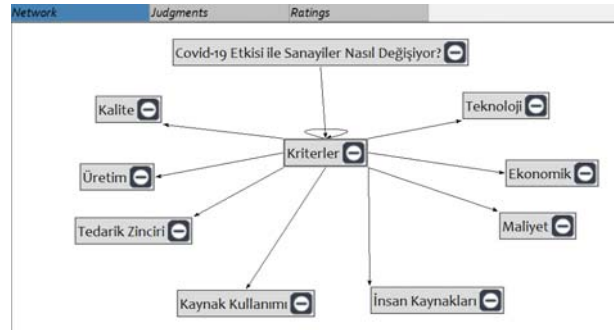
Tutarlılık oranının hesaplanması;

$$CRi = \frac{CIi}{RIi} \quad (4)$$

5. **Süper matrisin oluşturulması;** Matrisin her elemanı sütun elemanlarının toplamına bölündüğünde değerler normalize edilmiş olur ve lokal ağırlık vektörleri elde edilir. Lokal ağırlık vektörleri kolonlara yerleştirilerek süper matris elde edilir. Süper matrisin satırları durağan hale gelinceye kadar kuvveti alınır genelde $(2n+1)$ kuvvetinde durağan hale gelir böylelikle limit matris elde edilir.
6. **En iyi alternatifin belirlenmesi;** Limit matris uygun alternatifi belirler ve her bir ölçütün karar sürecindeki önemini ve katkısını gösterir. Limit matris karar ölçütleri ve alternatifler için önem ağırlıklarını vermektedir, en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif ve faktör kararı en çok etkileyen faktördür. [14]

B. Analitik Ağ Süreci Modeli

Covid-19'un sanayilere etkisini belirlemek amacıyla ANP modelinin Super Decision programında gösterimi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Analitik Ağ Modeli

AAS yöntemi uzman kişilerin görüşlerini ve ölçütler arasındaki ilişkileri dikkate aldığından dolayı daha gerçekçi ve etkili karar alınmasında yardımcı olmaktadır. İlişiler matrisi Tablo 5'de görüldüğü gibidir.

Tablo 5. İlişkiler matrisi

	Amaç	Ölçütler	Alt Ölçütler
Amaç	0	1	0
Ölçütler	0	1	1
Alt Ölçütler	0	0	0

Analitik ağ süreci, ölçütler ve alt ölçütler arası iç ve dış bağlantılara izin vermektedir. Bu sebeple modeli ağ yapısındadır. Kurulan ağ modelinde, amaç ölçütlerden etkilenirken; ölçütler kendi içinde ve alt ölçütlerden etkilenmektedir.

İlişkiler matrisine göre karşılaştırma matrisleri hazırlanarak, üretim ve kalite bölümlerine çalışan endüstri ve makine mühendisleri ile konu hakkında çalışmaları olan bir akademisyen tarafından Saaty puan skalasına göre karşılaştırma matrislerinin değerlendirilmesi istenmiştir. Toplamda 5 uzman kişinin görüşü alınmıştır. Yapılan puanlamaların geometrik ortalamaları

alınarak birleştirilmiş ve elde edilen değerler Super Decision programında matris kısmına girilmiştir. Böylelikle ölçütlerin önem derecelerini belirlenmiştir. Uzmanların yaptıkları puanlamaların tutarlı olup olmadıkları kontrol edilir.

Normal	Hybrid
Inconsistency: 0.03627	
Depolama	0.07867
Doğru Teslimat	0.41327
Fiyat	0.28135
Kısıtlama	0.04174
Teslimat	0.18496

Şekil 2. Tedarik zinciri ölçütü için alt ölçütlerinin önem dereceleri ve tutarlılık oranı.

Tutarsızlık değeri 0.036'dır ve 0.10'dan küçük olduğu için matris tutarlılığı Şekil 2'de görülmektedir. Tedarik zinciri ölçütünün kendi alt ölçütlerine etkisine bakıldığında önem derecesi en yüksek olan alt ölçüt %41,33 değeri ile doğru teslimattır, en düşük olan alt ölçüt %4,17 değeri ile kısıtlamalar olmaktadır.

Here are the priorities.			
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	Covid-19 Etkisi ile Sanayiler Nasıl Değişiyor?	0.00000	0.000000
No Icon	Bölgesel Teşvik	0.08873	0.009194
No Icon	Cari Denge	0.19590	0.020298
No Icon	Döviz Kuru	0.37912	0.039283
No Icon	Enflasyon	0.33624	0.034840
No Icon	İstihdam	0.28198	0.009899
No Icon	Psikoloji	0.24808	0.008709
No Icon	Sağlık Sorunları	0.46993	0.016497
No Icon	Hata Tespitleri	0.19142	0.009372
No Icon	Hatalı Ürün İade Oranı	0.36292	0.017769
No Icon	Hurdaya Ayrılan Ürünler	0.12193	0.005970
No Icon	Kalite/Ürün Belge Sayısı	0.04902	0.002400
No Icon	Müşteri Şikayetleri	0.27471	0.013450
No Icon	Dış Kaynak Kullanımı	0.16741	0.009331
No Icon	Hammadde	0.43397	0.024189
No Icon	Kaynak Verimliliği	0.39863	0.022219
No Icon	Ekonomik	0.20723	0.103615
No Icon	İnsan Kaynakları	0.07021	0.035105
No Icon	Kalite	0.09792	0.048960
No Icon	Kaynak Kullanımı	0.11148	0.055738
No Icon	Maliyet	0.21913	0.109564
No Icon	Rekabet Gücü	0.13435	0.011563
No Icon	Talep	0.23212	0.019978
No Icon	Trendler	0.05557	0.004783

Here are the priorities.			
Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	Tedarik Zinciri	0.08732	0.043658
No Icon	Teknoloji	0.03459	0.017293
No Icon	Üretim	0.17213	0.086066
No Icon	Ekonomik Kriz	0.70381	0.077111
No Icon	Fabrika Yer Seçimi	0.13392	0.014673
No Icon	Stok Maliyeti	0.11106	0.012168
No Icon	Subvansiyon	0.05121	0.005611
No Icon	Depolama	0.07868	0.003435
No Icon	Doğru Teslimat	0.41328	0.018043
No Icon	Fiyat	0.28135	0.012283
No Icon	Kısıtlamalar	0.04173	0.001822
No Icon	Teslimat Süresi	0.18496	0.008075
No Icon	AR-GE Çalışmaları	0.22211	0.003841
No Icon	Kullanılan Ekipmanlar	0.46811	0.008095
No Icon	Teknolojik Gelişmeler	0.30978	0.005357
No Icon	Esneklik	0.07817	0.006728
No Icon	Evden Çalışma Uygulaması	0.02606	0.002243
No Icon	Hız	0.10673	0.009186
No Icon	İhracat	0.13959	0.012014
No Icon	İthalat	0.05938	0.005111
No Icon	Mevimsel Dalgalanmalar	0.03576	0.003078
No Icon	Pazar Payı	0.13226	0.011383

Şekil 3. ölçütler ve alt ölçütlerin önem dereceleri

Ölçütlerden en yüksek önem oranına sahip olan ölçüt %22 değeri ile maliyettir, sonrasında %21 ile ekonomik ve %17 ile üretim ölçütleri olmaktadır (Şekil 3). Alt ölçütlerden en yüksek önem oranına sahip olan alt ölçüt %70 değeri ile maliyetin alt ölçütü ekonomik kriz, sonrasında %47 değeriyle sağlık sorunları, %43 ile hammadde, %41 ile doğru teslimat olmaktadır.

IV. SONUÇLAR

Yapmış olduğumuz çalışmada çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan analitik ağ süreci yöntemini kullanarak Covid-19 etkisi ile sanayilerin nasıl değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır. ANP yönteminin seçilme sebebi; uzman kişilerin görüşlerini ve ölçütler arasındaki ilişkileri dikkate aldığından dolayı daha gerçekçi ve etkili karar alınmasına yardımcı olmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda literatür taraması yapılarak sanayilerin etkilendiği 8 ana ölçüt ve 37 alt ölçüt belirlenmiştir. Ölçütler arasındaki ilişki durumuna göre karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. 5 farklı uzman kişi tarafından Saaty öncelik puan tablosuna göre puanlandırılmıştır. Puanlamaların geometrik ortalamaları alınarak Super Decision programına girilmiştir ve ölçütlerin Covid-19'dan etkilene oranları bulunmuştur.

Çıkan sonuçlara göre; Covid-19'dan en fazla etkilenen ana ölçüt %22 değeri ile maliyet, en az etkilenen ise %3 ile teknolojidir. İşletmelerin günümüz rekabet ortamında devamlılığını sürdürebilmeleri için ürettikleri ürünleri yüksek kalitede, düşük maliyetli ve istenilen en kısa sürede üretmeleri beklenmektedir. İşletmeler rekabet ortamında üstün gelebilmeleri için bazı kalite maliyetlerine katlanmak zorundadırlar. Böyle bir durum karşısında işletmeler istedikleri karlılığa ulaşabilmek için maliyetlerini çok iyi analiz edip bunları düşürmek için gerekli yöntemleri keşfedip uygulaması gerekmektedir, analiz sonucunda israf varsa bunun önüne geçmek için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir [15].

KAYNAKLAR

- [1] Dalgiç, Aybuke. "Türkiye'de Sanayileşme Süreci Ve Sanayileşmenin Geleceği." *Finans Politik Ve Ekonomik Yorumlar* 603: 95-101.
- [2] Cinel, Emek Aslı. "Covid-19'un Küresel Makroekonomik Etkileri Ve Beklentiler." *Politik Ekonomik Kuram* 4.1 (2020): 124-140.
- [3] Acar, Mehmet Fatih, And Ayşe Çapkın. "Analitik Ağ Süreci İle Tedarikçi Seçimi: Otomotiv Sektörü Örneği." *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 4.2 (2017): 121-134.
- [4] Şenses, Fikret, And Erol Taymaz. "Unutulan Bir Toplumsal Amaç: Sanayileşme Ne Oluyor? Ne Olmalı?." *İktisat Üzerine Yazılar Iı: İktisadi Kalkınma, Kriz Ve İstikrar* (2003): 429-461.
- [5] Kartal, Cihat, And E. Ebru Şentürk. "Covid-19 Dönemi Tüketici Harcamalarındaki Değişiklikler, Sanayi Ve Ticari Faaliyetler Üzerindeki Etkileri." (2020).
- [6] Meltem, A. K. C. A., And Mübeyyen Tepe Küçükoğlu. "Covid-19 Ve İş Yaşamına Etkileri: Evden Çalışma." *Uluslararası Yönetim Eğitim Ve Ekonomik Perspektifler Dergisi* 8.1: 71-81.
- [7] Adigüzel, Muhittin. "Covid-19 Pandemisinin Türkiye Ekonomisine Etkilerinin Makroekonomik Analizi." *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 19.37 (2020): 191-221.
- [8] Erdem, K. O. Ç., Mahmut Can Şenel, And K. A. Y. A. Kadir. "Dünyada Ve Türkiye'de Sanayileşme I-Strateji Ve Temel Sanayileşme Sorunları." *Mühendis Ve Makina* 59.690 (2018): 1-26.
- [9] Berberoğlu, Bahar. "2001 Ekonomik Krizinin Türkiye Sanayi Sektörü Üzerindeki Net Kriz Etkisinin Analizi." (2009).
- [10] İncekara, Ahmet, Betül Mutlugün, And Hande Aksöz Yılmaz. "Borç Dolarizasyonunun Türk İmalat Sanayii Sektörü Büyümesi Üzerine Etkisi." *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi* 4.1 (2017): 16-38.
- [11] Çakın, Enver, And Aslı Özdemir. "Tedarikçi Seçim Kararında Analitik Ağ Süreci (Anp) Ve Electre Yöntemlerinin Kullanılması Ve Bir Uygulama." *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 15.2 (2013): 339-364.
- [12] Ömürbek, Nuri, And Ali Şimşek. "Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri İle Online Alışveriş Site Seçimi." *Yönetim Ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 12.22 (2014): 306-327.

- [13] Ömürbek, Nuri. "Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Analitik Ağ Süreci Yöntemlerinde Grup Kararı Verilmesi Aşamasına İlişkin Bir Örnek Uygulama." *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 18.3 (2013): 47-70.
- [14] Yurdakul, Müberra, And Esra Yıldırım. "Analitik Ağ Süreci Yöntemi İle En Uygun Pazarlama Stratejisinin Belirlenmesi." *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* (2013): 211-225.
- [15] Arisoy, İbrahim. *Türkiye'de Sanayi Sektörü-İktisadi Büyüme İlişkisinin Kaldor Hipotezi Çerçevesinde Test Edilmesi*. No. 2008/1. Discussion Paper, 2008.

Simulation of Airborne and UAV Remote Sensing Data with Computer Graphics Tools

Eda Tsujimoto^{*,1}, Fatih Nar¹, Baha Şen²

^{*}: eda.yuruk@beun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8428-9539

¹: Graduate School of Natural and Applied Science, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey

²: Faculty of Engg. & Natural Sciences Dept. of Computer Engg., Ankara Yıldırım Beyazıt Univ., Ankara, Turkey

Abstract Modeling with ground-truth is a field of study that will take up much more space in the future with the developing technology in areas such as cartography, transportation, communication, exploration, search and rescue, smart city. Ground-truth data are important needs for researchers working in the field of remote sensing. Data collection and usage is carried out with different tools and equipment, such as satellite, radar, lidar, UAV. In this case, with extra hardware and software such as heat cameras, different imaging filters, path recognition algorithms are trying to get more information about the area. Obtaining these data with these methods from residential areas, mountainous areas etc. are an expensive and time-consuming process.

In this study, 3D world creation tools and photo-realistic image production tools from the 3D world created with these tools was used to obtain images from many different geographical regions, in different shooting conditions (such as sunny, slightly sunny, foggy, etc.). Some data was generated by random and procedural methods, and some data was sourced from existing open sources. With the blending of all these data, very rich, realistic, and spatially accurate synthetic data was produced. Images was taken from the produced regions with flight scenarios and was offered to researchers working in the field of remote research. With this study, thanks to the correctly labeled high data volume, which has become possible to solve many computer vision problems such as Photometric Variations, Reflection Detection, Perspective Distortions, Image Sensor Noise, Transparency, Repetitive Structures and Textures. Deep learning that needs this data methods generalized learning was provided.

Keywords: 3D Modelling, Computer Vision, Data Set, Blender

I. INTRODUCTION

MODELING with local accuracy is a field of study that will take up much more space in the future with the developing technology in areas such as cartography, transportation, communication, exploration, search and rescue, smart city [1][2][3][4][5]. Data collection and use is carried out with different tools and equipment, such as satellite, radar, lidar, UAV, but in this case, extra hardware and software such as heat cameras, different imaging filters, path recognition algorithms are trying to get more information about the area [6][7][8]. Image processing and object recognition with the said software and hardware can cause high costs. At the same time, day and night differences, climatic conditions and even changes in living creatures in the region, which will cause long training periods for each new region, should be trained. This may require serious effort and equipment and months of waiting to obtain a regular data set with high resolution and

various pictures.

For this reason, its development has gained momentum in recent years, and many programs have emerged to help produce virtual worlds. These efficient programs have given users the opportunity to see the same area and / or object from different camera angles and observe how the same objects can be different in different climatic conditions and under different lighting.

Different conditions and objects bring along some very common computer vision problems (reflection, color change, left-right difference, etc.). With modeling, while developing computer vision algorithms, some computer vision problems can be reduced [10] [11]. Within the scope of this study, various pictures were produced, and a data set was obtained in order to reduce computer vision problems.

II. MODELING AN AREA

There are many sub-steps when modeling in accordance with the real world. For the area to be modeled, examples such as non-living objects such as buildings, natural-artificial light sources, atmosphere, vehicles, landforms and highways, and living objects such as humans, animals, plants should be found together.

A. Modeling of Inanimate Objects

Before starting modeling, a real-world area can be selected to find the needed samples, or if computer vision problems are taken as a basis, the area design appropriate for the scenario should be decided.

Within the scope of this study, since it was aimed to reduce the time cost and to work with other modeling systems, the area was selected through satellite images and the area was designed with Blender 2.83, an open-source software [12]. Blender > Edit > Preferences > Add-ons > 3D View: Blender GIS plug-in was installed, and the area was selected over Google satellite images with 3D Viewport > Object Mode > GIS > Basemap [13]. The structure information has been reached with the 3D Viewport > Object Mode > GIS > Basemap > Get OSM option. In Figure 1, the area selection without texture is modeled simply [13].

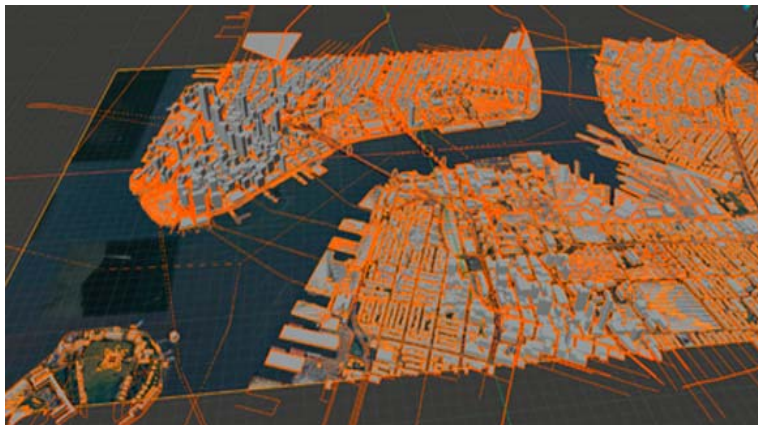


Fig. 1. The first modeling that has not yet been applied to texture and real-world effects.

To model the sky, Blender > Edit > Preferences > Add-ons > Lighting: Dynamic Sky has been activated [14]. An alternative World object was created with the 3D Viewport > Sidebar > Create option and Editor Type > World Properties > World Tab > Dynamic_1 selection was made for this object selection. Thus, the default sky settings have been activated [14].

Thanks to the plug-in, options such as sky, horizon, and cloud color were used to colorize various clocks, as well as cloud density, sunlight color, intensity and angle [14]. With this add-on, the shadow and reflection properties of objects of different daylight lengths are better utilized.

To model the water area such as ocean, river, lake need to create planes with suitable sizes. By applying the subdivide process many times, the planes should be divided into small parts as possible, so that they can be managed and directed easily. The material to cover the water surface is produced and the noise application has been carried out for the water surface, which has waves with various effects. Noise should be produced more than once and added in different sizes and different layer weights were applied for each [15].

Water is a material that does not have any color. With this feature, it is similar to glass and glass properties have been applied [15]. In this way, it took the color of the environment it reflected. Glossy nodes are used to refract and reflect the light and reach the water surface in accordance with the real-world model [15].

Landforms are an important part of this work. For this reason, fidelity landforms were added as maps with the help of programs such as L3DT. Sometimes, to produce images in different scenarios, the earth was added as a plane, and elevations and lows of different algorithms were added on it.

B. Modeling of Live Objects

For the production of people, one of the living beings in the field, an open-source program and MakeHuman, which can also be a Blender plug-in, have been used. Thanks to this add-on, many different human models have been obtained with gender, age, race, eye, hair, position, clothing options [16].

To model trees, Blender > Edit > Preferences > Add-ons > Add Curve: Sapling Tree Gen has been activated. With 3D Viewport > Object Mode > Add > Curve > Sapling Tree Gen object selection, the number and distribution of branches, slope, leaf shapes, trunk shapes have been re-adjusted as well as some ready tree shapes [15].

There are multiple methods for creating grass, a natural asset, but for best performance Particle Settings> Add new> Hair is selected, and a suitable number is entered for the desired grass appearance [15]. Hair> Advanced option is selected. The length to be applied with Hair> Emission> Hair Length is determined in meters. With the appropriate value for Hair> Physics> Forces> Brownian, the distribution of the grass in a way that we can encounter in the real world is provided [15]. Our grass that does not have texture or color can be obtained by this method.

The animals are created according to the designed area. For example, to produce a cat, a simple plane needs to be shaped, but the model produced from plane is one-sided and 2-dimensional. For this reason, the first extruded model was modified with a mirror to obtain a realistic 3D model.

C. Texture Production for Living and Inanimate Objects

In order for the created objects to have visuality and colors as in the real world, it is necessary to arrange the properties of light, glare, reflection, color, depth and shadow in modeling.

A texture should be applied in a way that allows making changes by selecting small parts on an object. This process has been followed by the steps of Blender> Edit Mode> Face Context Menu> Subdivide. [15] The next step is to open the 3D objects by reducing them to 2D and control the distribution of the texture. To perform this step, Edit Mode> Face Context Menu> UV Unwrap Faces> Unwrap steps were followed [15].

Separate materials are defined for regions of the 3D object with different textures. For example, the roof and walls of a building. For this, Blender> Properties> Editor Type> Material Properties> New steps have been followed [15].

Image textures can be used for fast modeling. The Mapping node has been added to fit the texture to the object, and rotation and scaling operations are performed for (x, y, z) coordinates, respectively. For the said building example, for the toning process of different parts such as glass, wall on the texture, the color Ramp process linear interpolation provided a white and black color distribution. The Power and Distance features of this function are used to give the tissue a bump feeling with the bump process. Thus, the bulge of the walls was increased while the windows belonging to the building remained inside. Glossy BSDF and Diffuse BSDF nodes have a shining texture for glasses by making use of the smoothness feature in different values for glasses and walls, while more matte postures are obtained for the walls. Thus, realism and dynamism are gained for an image texture [15][17][19].

III. RENDER

Image creation can be done serially or individually according to the needs of the workers. Image quality, camera distance, camera angle, multiple camera usage settings are possible with the Blender application.

To convert a 3D model to a 2D image in a non-external environment, $N_{x,y,z}$ is 3D position of the object / point to be projected, $K_{x,y,z}$ is 3D position of the camera, $D_{x,y,z}$ is direction of the camera, $E_{x,y,z}$ is screen surface position relative K [18][19]. $P_{x,y}$ is 2D projection of N and M is the distance between the camera and the point to be imaged, the most simply if $K_{x,y,z} = \{0, 0, 0\}$ and $D_{x,y,z} = \{0, 0, 0\}$, the 3D vector $\{3,4,0\}$ is projected onto the 2D vector as $\{3, 4\}$ “Using (1) and (2) to calculate 2D” [18][19].

$$P_x = (E_z / M_z) * M_x + E_x \quad (1)$$

$$P_y = (E_z / M_z) * M_y + E_y \quad (2)$$

However, real world effects should be added in addition to this formula. Therefore, Rendering Equation was used (3) to calculate it. [20].

$$Lo_{(x,wo,\lambda,t)} = Le_{(x,wo,\lambda,t)} + \int \Omega fr_{(x,wi,wo,\lambda,t)} Li_{(x,wi,\lambda,t)} (w_i \cdot N) dw_i \quad (3)$$

The expression $Lo_{(x,wo,\lambda,t)}$ is the total wavelength spectral luminescence simultaneously directed outward [20]. The object position is named as x, the direction of the reflected light wo, the wavelength of the light λ , and time is t [20].

$L_e(x, w_o, \lambda, t)$ is the oscillating spectral luminance, Ω (omega) is the end point of the integral and is the hemisphere unit centered around n containing all possible values for w_i [20]. $f_r(x, w_i, w_o, \lambda, t)$ is the bidirectional reflection distribution function, and w_i is the light whose direction is negative [20].

The expression $L_i(x, w_i, \lambda, t)$ is the total wavelength spectral luminescence directed inwards at the same time [20]. n is the surface normal of the x object, and $w_i \cdot n$ is the attenuation factor of the outward radiation due to the incident angle [20].

In Figure 2, the way the rays coming from the light source in the upper right corner reach the cameras is represented as a representation. As a result, an image was formed on the camera screen as a result of the sum of the rays emanating from the light source and the rays reflected from the object.



Fig. 2. Render equation on a modelled synthetic world

A. Rendering Settings

In image processing, it is preferred to use GPU hardware, so Blender > Edit > Preferences > System > CUDA option has been activated [18][19]. Blender > Editor Type > Output Properties > Dimension > Resolution is selected to set the image's aspect ratio (x, y) to (2560,1440) [18][19]. In the Blender > Editor Type > Render Properties section, Cycles, Experimental and GPU values were selected for Render Engine, Device values, respectively, and detailed image processing was performed by the GPU [18][19]. In the Blender > Editor Type > Sampling section, the values (128,32) are applied for the Render and Viewport options, respectively [18][19]. In the Blender > Editor Type > Tiles section, Hilbert Spiral algorithm is preferred for Tiles (x, y) values (32,32) and for order [18][19].

By specifying a high resolution for the aspect ratio, very detailed and clear pictures are obtained. These rates may vary according to the needs of the workers.

The sampling area can vary depending on how much the researchers can tolerate the noise that may occur in the 2D image, but very large samples or very small samples should not be preferred in terms of cost.

B. Camera Settings

In the study, it is tried to create a data set belonging to the same area with successive differences such as angle, light, distance. Therefore, serial image production has been used.



Figure 3.1 Render Equation

If “Render Equation” for the dataset we have created is a $(Lo(x, wo, \lambda, t) = a)$, the first image is k created by the camera and the number of frames is u , the serial render was calculated by using (4) [21].

$$\text{Dataset} = \sum_{k=0}^u a_u = (a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_u) \quad (4)$$

With the option of Blender > Add > Curve > Circle, a path covering the object or area to be imaged has been created. For the camera object to follow this path, the pointer is positioned on the path and after the camera object is selected, Blender > Object > Snap > Selection to Cursor is applied [15][18][19].

The number of images that the camera should acquire along the path it follows is determined by adjusting the values (1, 100, 1) respectively for the properties (Start, Stop, Step) from Editor Type > Output Properties > Dimensions > Frame section. These values can be changed from object to object, from area to area [15] [18][19].

Adjustments have been made regarding the location and angle at which the camera will stand

along the path. The said location path line is set in positive and / or negative positions, assuming (0, 0, 0) for the starting point (x, y, z) coordinates. Thus, the angles and positions seen in Figure 2 and the images of the object and / or areas were obtained.

IV. SIMULATION RESULTS AND CONCLUSION

Creating a data set with 3D modeling is thought to be a very popular method in the future. One of the biggest advantages is obtaining multiple data with low costs. For this reason, performance cost measurement of different tile sizes used for image production is shown in Figure 3. The same size frame for each tile value was tested using both CPU and GPU for time cost, and the results were reported.

Due to hardware differences, researchers can reach different results in the test environment, but the optimum value recommended by Blender is (32, 32) as can be seen in the test result table [18][19].

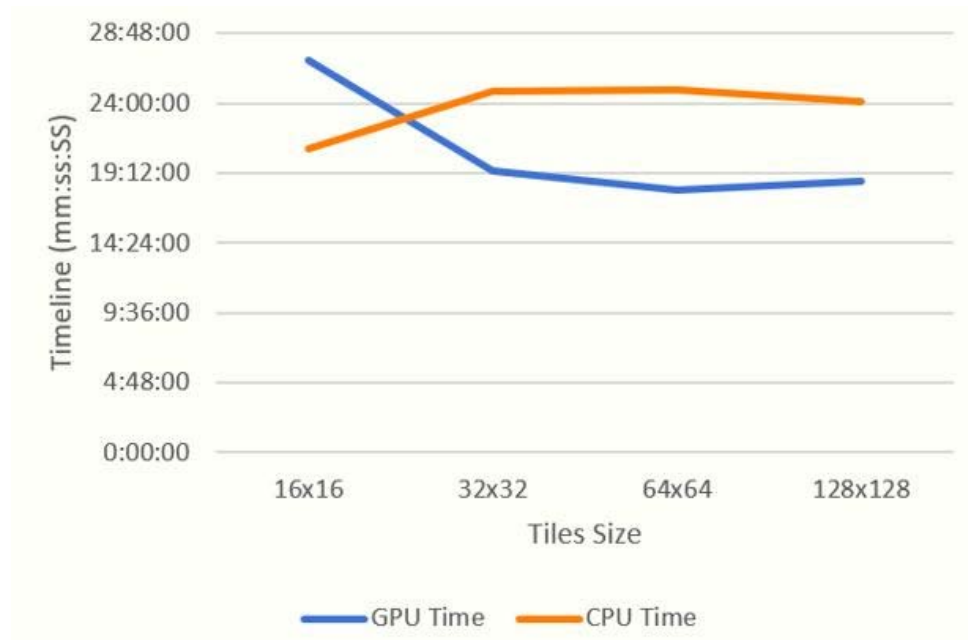


Fig. 3. Performance comparison of different tile sizes for CPU and GPU

Another factor affecting the performance is the selection of the algorithm used during image production. In Figure 4, there is a comparison of the results obtained with this test.

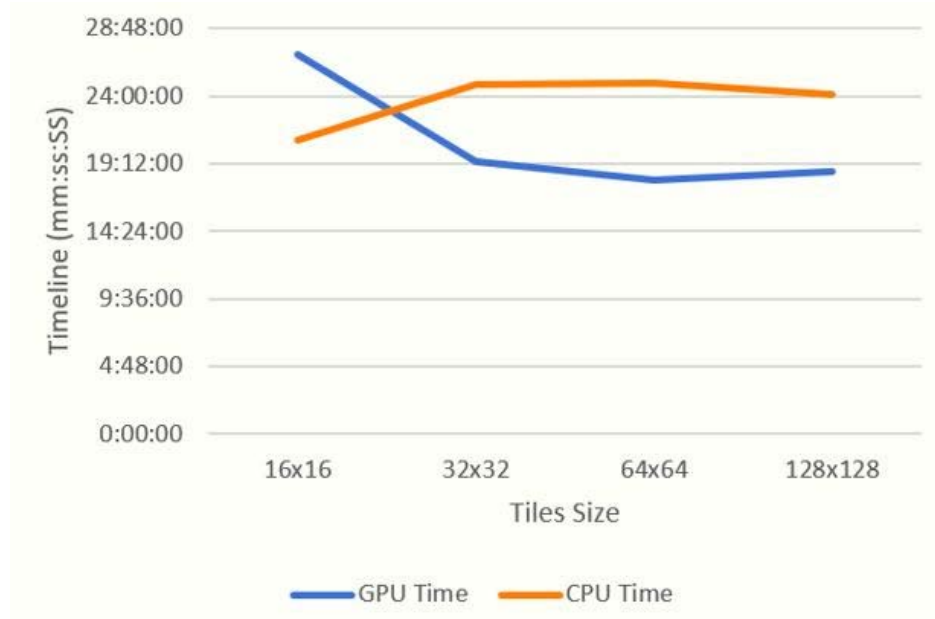


Fig. 4. Comparison of tiles production algorithms

470 images randomly selected from the produced images were tested with object and scene detection, an Amazon web service. For this experiment, rendered images on the local computer were tested with the help of a code developed with Python 3.7.6 for AWS Rekognition service [22]. Code blocks and sample results are below.

```

7  import csv
8  import boto3
9
10 with open('credentials.csv', 'r') as input:
11     next(input)
12     reader = csv.reader(input)
13     for line in reader:
14         access_key_id = line[2]
15         secret_access_key = line[3]
16
17
18 from os import listdir
19 from os.path import isfile, join
20 my_list = [f for f in listdir('../anaconda/renders') if isfile(join('../anaconda/renders', f))]
21
22
23 client = boto3.client('rekognition',
24                       region_name='us-east-2',
25                       aws_access_key_id = access_key_id,
26                       aws_secret_access_key = secret_access_key)
27
28 for image in my_list:
29     with open(image, 'rb') as source_image:
30         source_bytes = source_image.read()
31
32         response = client.detect_labels(Image={'Bytes': source_bytes},
33                                         MaxLabels = 10)
34
35         #print(response)
36         print('')
37         print('Detected labels in ' + image)
38         print('')
39         for label in response['Labels']:
40             print (label['Name'] + ' : ' + str(label['Confidence']))

```

Fig. 4. Python codes for test rendered images from 3D world with AWS Rekognition


```
Detected labels in 0001.png
Road : 98.70793151855469
Landscape : 90.00474548339844
Outdoors : 90.00474548339844
Nature : 90.00474548339844
Scenery : 83.50728607177734
Freeway : 81.90965270996094
Building : 80.58255767822266
Urban : 68.74337005615234
Aerial View : 59.2469482421875
Intersection : 58.25787353515625

Detected labels in 0002.png
Road : 99.0371322631836
Freeway : 83.36991882324219
Landscape : 81.44053649902344
Scenery : 79.62142944335938
Intersection : 75.00318908691406
Building : 74.8393783569336
Highway : 58.9300422668457
Aerial View : 56.40542221069336
Tarmac : 55.90018081665039
Path : 55.73863220214844
```

Fig. 4. Labels and Confidences Response from AWS Rekognition

With these results, it has been found that the pictures produced are usable by computer vision services and their confidence rates are very satisfactory. Compared to the data obtained by remote sensing, it has been proved that higher resolution data can be created in a much higher number and under different conditions, and it has been determined that this dataset can be used by researchers.

It is anticipated that it can be used as a future project in autonomous systems and robotics, especially in areas where a detailed view may be needed.

REFERENCES

- [1] J. Everaerts, "The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping.", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, 1187-1192, 2008.
- [2] B. Coifman, M. McCord, R. G. Mishalani, & K. Redmill, "Surface transportation surveillance from unmanned aerial vehicles". In Proc. of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, p. 28, 2004.
- [3] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, & M. Debbah, "Wireless communication using unmanned aerial vehicles (UAVs): Optimal transport theory for hover time optimization", IEEE Transactions on Wireless Communications, 16(12):8052-8066, 2017.
- [4] G. Zhang, B. Shang, Y. Chen, & H. Moyes, "SmartCaveDrone: 3D cave mapping using UAVs as robotic co-archaeologists", IEEE ICUAS, pp. 1052-1057, 2017.

- [5] S., A. Doulamis, G. Athanasiou, C. Ioannidis and A. Amditis, "UAV-based 3D modelling of disaster scenes for Urban Search and Rescue" IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques, pp. 106-111, 2016.
- [6] J. A. J. Berni, P. J. Zarco-Tejada, L. Suárez, V. González-Dugo, & E. Fereres, "Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform Sci*, 38(6):6, 2009.
- [7] G. R. Rodríguez-Canosa, S. Thomas, J. Del Cerro, A. Barrientos, & B. MacDonald, "A real-time method to detect and track moving objects (DATMO) from unmanned aerial vehicles (UAVs) using a single camera", *Remote Sensing*, 4(4):1090-1111, 2012.
- [8] J. Tisdale, Z. Kim, & J. K. Hedrick, "Autonomous UAV path planning and estimation", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 16(2):35-42, 2009.
- [9] R. Gonzalez, "Digital image processing", NY: Pearson. ISBN 978-0-13-335672-4. OCLC 966609831, 2018.
- [10] H. Murase and S. K. Nayar, "Visual Learning and Recognition of 3-D Objects from Appearance", *International Journal of Computer Vision* 14, 5–24, 1995.
- [11] R. Szeliski, "Computer vision: algorithms and applications", Springer Science & Business Media, 2019.
- [12] A. Scianna, "Building 3D GIS data models using open source software", *Appl Geomat* 5, 119–132, 2013.
- [13] T. Dovramadjiev, "Precise 3d Cartographic Design Using Bing-Maps Resources, 3d Blender And The Specialized Blendergis-Addon Application", *Innovations*, 6(1): 28-29, 2018.
- [14] G. Eason, B. Noble, and I.N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, April 1955. (references)
- [15] T. Mullen, *Mastering Blender* (1st Ed.) Indiana: Wiley Publishing. 2009.
- [16] M. Bastioni, S. Re, S. Misra, "Ideas and methods for modeling 3D human figures: the principal algorithms used by MakeHuman and their implementation in a new approach to parametric modeling". *Proceedings of the 1St Bangalore Annual Compute Conference on - Compute* , 2008.
- [17] E. Valenza, *Blender Cycles: Materials and Textures Cookbook*. Packt Publishing Ltd. 2015
- [18] B. R. Kent, (2015). *3D scientific visualization with blender* (p. 1). San Rafael, CA: Morgan & Claypool Publishers.
- [19] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, "Image Processing, Analysis & Machine Vision (2nd ed.)", Chapman and Hall, p. 14, 1995.
- [20] J. T. Kajiya, "The rendering equation", *SIGGRAPH* 1986:143–150, 1986.
- [21] G.H. Hardy, E.M. Wright, "An introduction to the theory of numbers", Oxford Univ. Press (1979)
- [22] Analyzing an image loaded from a local file system. (n.d.). Retrieved May16, 2021, from <https://docs.aws.amazon.com/rekognition/latest/dg/images-bytes.html>

Development of Neural Network Based on Deep Reinforcement Learning to Compensate for Damaged Actuator of a Planar Robot

Mustafa Can Bingol^{*,1}

^{*}mustafacanbingol@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5448-8281

¹Department of Mechatronics Engineering, Technology Faculty, Firat University, Elazig, Turkey

Abstract An important part of Industry 4.0 is formed robot technology which has got artificial intelligence. Learning methods of artificial intelligence can be examined into sub-three parts as supervised, unsupervised, and reinforcement learning (RL). Most suitable learning method for robot motions are RL because of forming cost of dataset. In the current study, it is aimed that a 3-DoF planar robot will go to defined target that is possible in physical conditions in case of being broken down of an actuator in any joint or working all actuator. Four different operating modes which were all actuator works (Zero), first actuator broken (One), second actuator broken (Two), and third actuator broken (Three) were determined in order to solve these problems. Artificial neural networks (ANN) model that was performed in accordance with this purpose was trained by using Deep Q-Network (DQN) algorithm which is a method of RL. After training process, the ANN model was tested 100 times each four operating modes. Target finding rate of Zero, One, Two and Three operating modes were obtained as 83.00%, 84.00%, 71.00%, and 67.00%, respectively. Average of target finding rate was calculated as 76.25%. The training and testing operations were performed using OpenAI Gym environment. As a result, while successful results was obtained for initial phase, the designed algorithm and results need to improve with solutions such as longer training time.

Keywords: Deep reinforcement learning, DQN algorithm, Fault compensation, Neural networks, Robot arm

I. INTRODUCTION

Robots are developed machines to help to humans at recurrent or danger works. In last of 20. century, third industrial revolution was realized with using automation systems and robots in industry. At the beginning of the current century, Industry 4.0 revolution has come true with smart robots and unmanned factory notions [1]. In the current study, a 3-DoF planar robot was modernized in accordance with the logic of Industry 4.0. The modernization process was carried out by adding an artificial neural network (ANN) that was give the robot the ability to behave cognitively. The ANN architecture was trained by reinforcement learning (RL) that is a learning algorithm of artificial intelligence.

RL is method that tries to learn a system by trial-error experience. Thus, RL don't need to a data

set, whereas supervised and unsupervised learning. Unlike other learning methods, RL is an ideal method for unknown environments to be predicted more appropriate results. For example, RL-based learning method was preferred multi-robot system developed in order to explore unknown environments [2]. In another study, search and rescue robot software was developed to work at unknown cluttered environments [3]. In the current study, it is aimed to continue the operation of a 3-DoF planar robot under possible the physical conditions, even if the motor in any joint is damaged. In accordance with this purpose, it is not possible to predict which motor will break down when and what the new kinematic equation will occur in case of breakdown. In order to solve this problem, an RL-based ANN was developed that was allow the tool-center point (TCP) of the robot to be directed to the desired target point, despite the instant kinematics.

ANN approach which is depend on RL has often used to control of robots in the literature [4]–[6]. To illustrate, living object grasp problem was solved by using RL-based ANN and UR10 robot that is an robot [4]. In another study, drawing of different geometry shape and placing of different geometry pegs were realized via an UR3 robot [6]. In other study, placing of pegs was performed as similar to previous work [5]. In the current study, a RL-based ANN was used to control of an robot in line with the literature.

There are many deep RL methods such as Proximal Policy Optimization (PPO), Asynchronous Advantage Actor-Critic (A3C), Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) and Deep Q-Network (DQN) in the literature [3], [7]–[9]. In a study, an UR5 robot was realized pick and place process according to pegs colors with an architecture that based on PPO [8]. In Lei and Ming study, an Turtlebot robot was run away from obstacle via DQN algorithm [10]. In the current study, DQN algorithm was used to control of robot.

As a summary, it is planned to continue the operation of a 3-DoF planar robot under possible the physical conditions, even if the motor in any joint is damaged in the current study. In accordance with this plan, a RL-based ANN and a 3-DoF planar robot environment were designed. The designed architectures and related results were presented in rest of the paper.

II. MATERIALS AND METHODS

RL was used so as to solve determined problem because there is no any dataset or the dataset is costly to formed. Main block diagram of RL was shown in the Fig. 1.

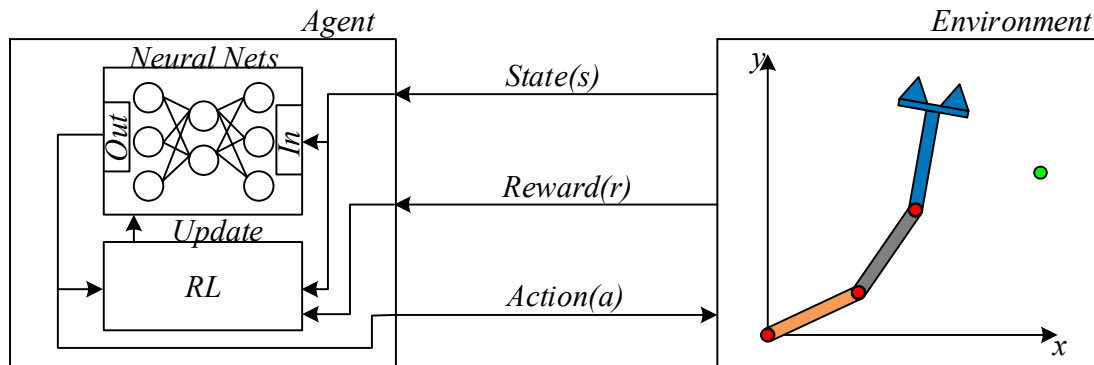


Fig. 1. Main block diagram of RL

RL is an algorithm that uses the method of rewarding or penalizing to produce the most appropriate actions for instant situations. The algorithm tries to control of joint angles of robot according to state and reward that are obtained from environments as can be seen in the Fig. 1. Algorithms that use ANN instead of Q tables are named as DQN. DQN algorithm is generated most suitable output according to instant state by using $a = \operatorname{argmax}_{a'} Q(s, a')$ equation. In the equation, s , a , and a' represent instant state, chosen action, and possible selectable actions, respectively. DQN algorithm that was used in the current study was presented in the Algorithm 1. Also, detailed information about DQN algorithm can be accessed in [9].

Algorithm 1. DQN Algorithm

Initialize *Buffer* replay memory and ϵ epsilon

Initialize DQN_{model} and DQN_{target} neural networks

while *stepCounter* < *maxStepCount*

s = *environment.reset()*

for *timeStep*: 1 to *maxStepCountPerEpisode*

ep = *random()*

a = $\begin{cases} \text{random}() & \text{for } \epsilon \geq ep \\ DQN_{model}(s) & \text{for } \epsilon < ep \end{cases}$

s_{next}, *reward*, *done* = *environment.step(a)*

 Record *s*, *s_{next}*, *r*, *done* to *Buffer*

S = *s_{next}*

 Calculate ϵ according to epsilon greedy search algorithm

if $\text{mod}(\text{stepCounter}, \text{model}_{update}) = 0$

 Randomly chose *Batch* from *Buffer* according to batch size

r_{future} = $DQN_{target}(\text{Batch}.s_{next})$

$\dot{Q} = \text{Batch}.r + \gamma r_{future}$

$Q = DQN_{model}(\text{Buffer}.s)$

 Update DQN_{model} according to Q and \dot{Q} using Huber loss function

if $\text{mod}(\text{stepCounter}, \text{target}_{update}) = 0$

 Set DQN_{target} weight equal to DQN_{model}

if *done* = 1

 Break loop

stepCounter = *stepCounter* + 1

In the Algorithm 1, *maxStepCount*, *maxStepCountPerEpisode*, *model_{update}*, *target_{update}*, and discount factor (γ) were chosen as 10^6 , 250, 4, 10^4 , and 0.99, respectively. Reward (*r*) was calculated by using in (1).

$$r(x_{TCP}, y_{TCP}, x_{REF}, y_{REF}) = -\sqrt{(x_{TCP} - x_{REF})^2 + (y_{TCP} - y_{REF})^2} \quad (1)$$

In (1), (x_{REF}, y_{REF}) and (x_{TCP}, y_{TCP}) refer to desired target position and TCP of robot, respectively. Also, *environment* structure of was shown in Algorithm 2.

Algorithm 2. *environment* Structure

function *initialize()*

 Determine static and dynamic robot and environment variables

```

function reset()
    Initialize dynamic variables as random
    Determine actuators state
    Define suitable target according to actuators state
    Calculate  $s$ 
function smooth()
    Find best joint angles according to angle step size
function step( $a$ )
    Apply  $a$ 
    Calculate forward kinematic and  $r$ 
    Calculate  $s$ 
    if  $r < 0.03$  (call at test scenarios)
        Smooth ()
        Calculate forward kinematic and  $r$ 
        Calculate  $s$ 
         $done = 1$ 
function render()
    Visualize system
    
```

A 3-DoF planar robot environment was designed utilizing OpenAI Gym environment [11] by utilizing Algorithm 2. Designed robot environment has four different operating modes. These operating modes are named Zero (all actuator works state), One (first actuator damaged state), Two (second actuator damaged state), and Three (third actuator damaged state). Operating modes could be seen as detailed in Fig. 2.



Fig. 2. Operating modes; (a) Zero, (b) One, (c) Two, (d) Three

Four different operating modes of robot was given in Fig. 2. Damaged actuators were represented black color at these modes. Moreover, green dots were illustrated determined target points. Each joint length was chosen as 0.1m and joint operating range was 0-360°.

Structure of ANN that was used in the current study was given Algorithm 3.

Algorithm 3. DQN_{model} and DQN_{target} Algorithm

```

 $o$  = Dense Layer (Unit = 512, activation = ReLU)( $s$ )
 $o$  = Dense Layer (Unit = 1024, activation = ReLU)( $o$ )
 $o$  = Dense Layer (Unit = 1024, activation = ReLU)( $o$ )
 $o$  = Dense Layer (Unit = 512, activation = ReLU)( $o$ )
 $out$  = Dense Layer (Unit = 27, activation = Linear)( $o$ )
    
```

Basic fully connected unit of ANN was expressed as dense layer in Algorithm 3. In order to get detailed information about dense layer, [12] can be examined. In the current study, s equaled $[e, \theta, \theta_1, \theta_2, \theta_3]$ vector. The vector consist of distance (e) between TCP and target point, orientation angle (θ) of TCP with respect to target, and joint angle of robots ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$). Twenty-seven different outputs were determined in Algorithm 3, because angles of three different joints were increased or decreased according to determined angle resolution (3°) or were not changed.

III. RESULTS

ANN architecture that was presented in Algorithm 3 was trained during 4000 episodes (total 10^6 steps) that each episode contains 250 steps as mentioned in detail in section of Materials and Methods. Obtained reward and average reward chart was illustrated in Fig. 3.

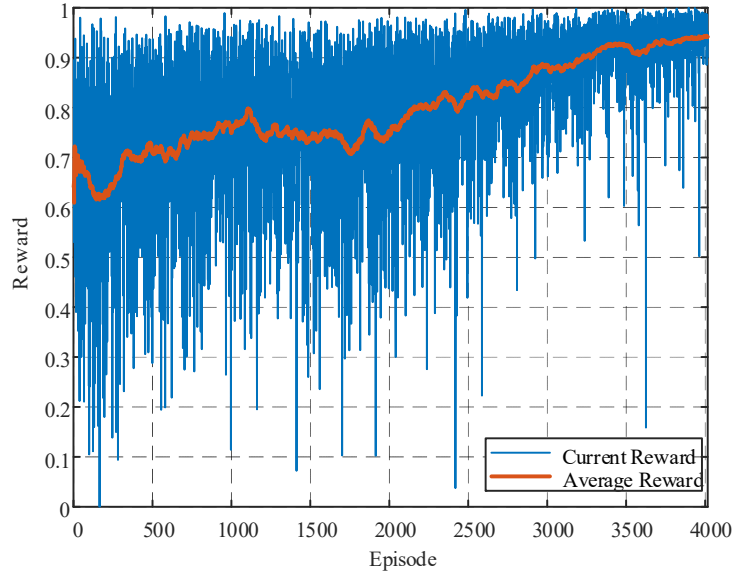
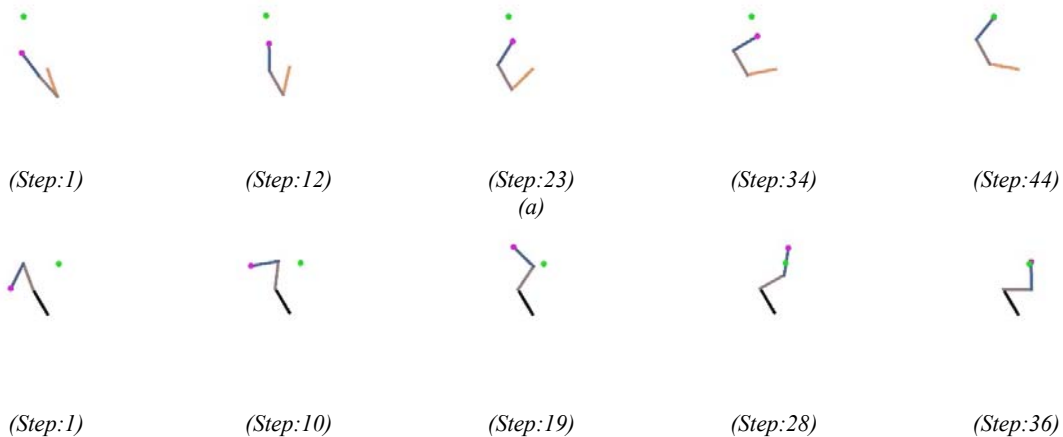


Fig. 3. Reward and average reward

Fig. 3 showed the normalized prize graph. Average reward were calculated by averaging last 100-episodes reward. After the training, the system was tested in each operating mode, as can be seen in Fig. 4.



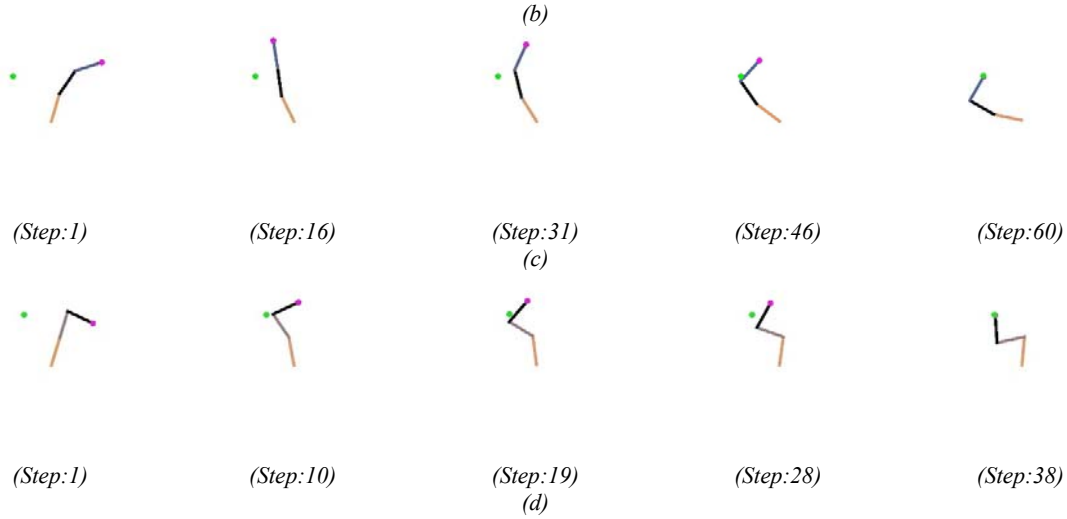


Fig. 4. Test of developed system operating modes; (a) Zero, (b) One, (c) Two, (d) Three

After experiments, it was seen that the TCP of robot was successfully went to determined target. Occurred errors and actions during the experiments presented in Fig. 4 were presented in Fig. 5.

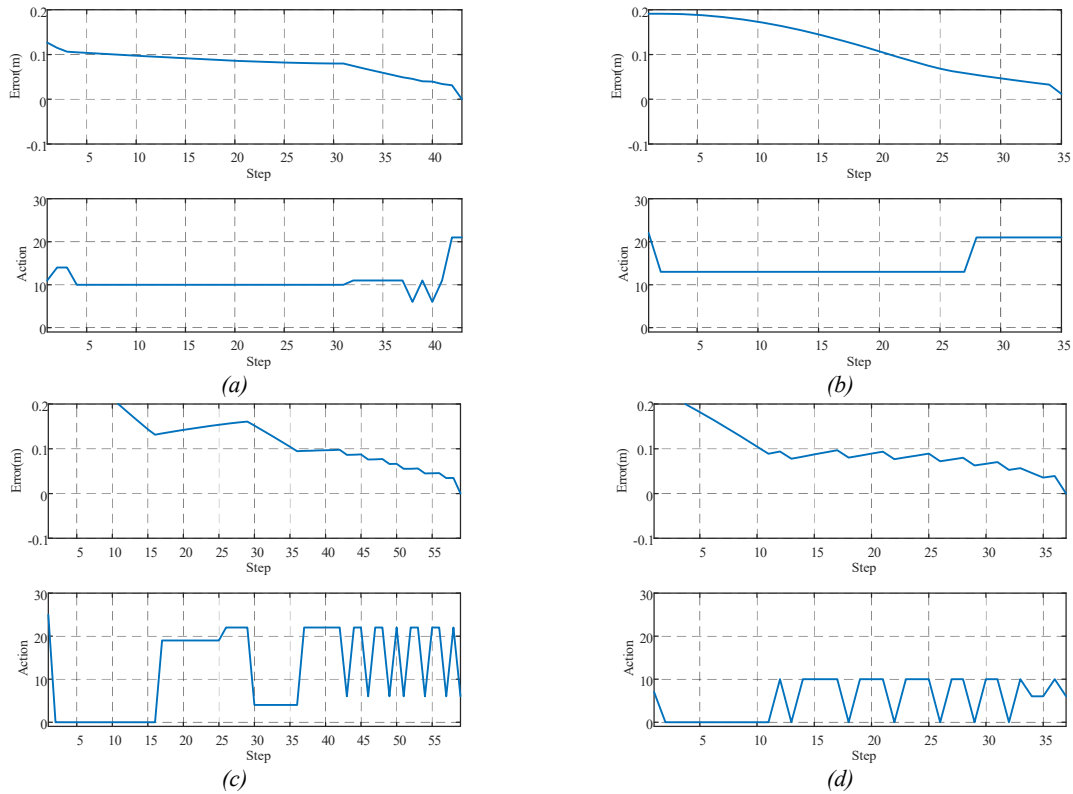


Fig. 5. Errors and actions during the experiments; (a) Zero, (b) One, (c) Two, (d) Three

The developed system was run 100 times in each operating mode after successfully passing the experiments. The distribution of the distance between the TCP and the target after 400 experiments is presented in Fig. 6 and Table I.

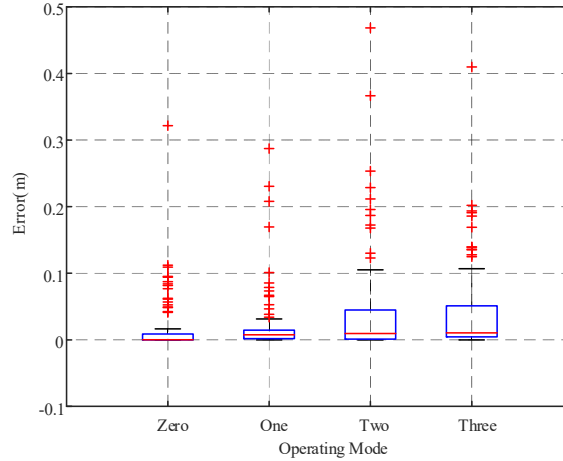


Fig. 6. The distribution of the error

TABLE I
THE STATISTICAL ANALYSIS OF ERROR

Operating Mode (n)	$\bar{X} \pm SD$	Median	Minimum	Maximum	TRR
Zero(100)	0.016±0.041	0.000	0.000	0.321	83.0
One(100)	0.021±0.046	0.007	0.000	0.287	84.0
Two(100)	0.040±0.077	0.009	0.000	0.468	71.0
Three(100)	0.039±0.063	0.010	0.000	0.409	67.0

TFR: Target reaching rate (%)

In Table I, n , \bar{X} , and SD refers to number of experiments, means and standard deviation, respectively. Also, all number unit except TRR are meter. When Fig. 6 and Table I are examined, it is seen that the system has a successful operation capability. In terms of finding the target, the Zero mode, which all motors are active, and the One mode, which the first joint motor is broken, has operated with almost the same success rate. Compared to Zero and One mode, Two and Three modes must need further development.

IV. CONCLUSION

As a result, a software that was for robots that has all actuators worked or any actuator damaged was tried to developed in order to compensate broken actuator. The developed software consists of ANN, 3-DoF planar robot environment, and DQN algorithm. Firstly, 3-DoF planar robot environment was designed using OpenAI Gym platform. Secondly, ANN structure was performed. Lastly, ANN structure was trained by using 3-DoF planar robot environment and DQN algorithm. After the train step, the system was tested 100 times for each operation mode as Zero, One, Two, and Three. When results were examined, average target reaching rate of robot was calculated as 76.25%. While this ratio is promising for this initial study, it needs to be improved with its current situation. In future studies, more advanced neural networks will be used and the structures will be trained longer time. If a positive result is obtained after these actions, this algorithm, whose framework has been drawn, will be tested on industrial robots. If positive results cannot be obtained, different reinforcement learning approaches will be tried.

REFERENCES

1. M. C. BINGOL, "Development of Artificial Intelligence-Based Self-Programmable Robot Software Compatible with Industry 4.0 Using Human-Robot Interaction," Ph.D. Thesis, 2021.
2. J. Hu, H. Niu, J. Carrasco, B. Lennox, and F. Arvin, "Voronoi-Based Multi-Robot Autonomous Exploration in Unknown Environments via Deep Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 12, pp. 14413–14423, 2020.
3. F. Niroui, K. Zhang, Z. Kashino, and G. Nejat, "Deep Reinforcement Learning Robot for Search and Rescue Applications: Exploration in Unknown Cluttered Environments," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 4, no. 2, pp. 610–617, 2019.
4. Z. Hu, Y. Zheng, and J. Pan, "Living Object Grasping using Two-Stage Graph Reinforcement Learning," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 1950–1957, 2021.
5. M. A. Lee, Y. Zhu, P. Zachares, M. Tan, K. Srinivasan, S. Savarese, L. Fei-Fei, A. Garg, and J. Bohg, "Making Sense of Vision and Touch: Learning Multimodal Representations for Contact-Rich Tasks," *arXiv*, vol. 36, no. 3, pp. 582–596, 2019.
6. N. J. Cho, S. H. Lee, I. H. Suh, and H. S. Kim, "Relationship between the Order for Motor Skill Transfer and Motion Complexity in Reinforcement Learning," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 4, no. 2, pp. 293–300, 2019.
7. M. C. Bingol, "DDPG Algoritmasında Bulunan Ornstein–Uhlenbeck Gürültüsünün Standart Sapmasının Araştırılması," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, 2021, in press.
8. D. Liu, Z. Wang, B. Lu, M. Cong, H. Yu, and Q. Zou, "A Reinforcement Learning-Based Framework for Robot Manipulation Skill Acquisition," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108429–108437, 2020.
9. V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A. Graves, I. Antonoglou, D. Wierstra, and M. Riedmiller, "Playing Atari with Deep Reinforcement Learning," pp. 1–9, 2013.
10. T. Lei and L. Ming, "A robot exploration strategy based on Q-learning network," 2016 *IEEE Int. Conf. Real-Time Comput. Robot. RCAR 2016*, pp. 57–62, 2016.
11. "Gym." [Online]. Available: <https://gym.openai.com/>. [Accessed: 27-Mar-2021].
12. "Dense Layer." [Online]. Available: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/layers/Dense. [Accessed: 27-Mar-2021].

Döner Kanatlı İHA'lar için Şarj Pedi Tasarımı ve Geliştirilmesi

Charging Pad Design and Development for Rotary Wing UAV's

Hakan Üçgün^{*1}, Uğur Yüzgeç², Ali Rıza Gün³

^{*}hakan.ucgun@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9448-0679

¹Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

³Elektronik Teknolojisi, Meslek Yüksek Okulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

Özet İnsansız Hava Araçları (İHA), sahip oldukları uçuş yetenekleri, düşük maliyetli geliştirme imkânları gibi avantajlarından ötürü, son yıllarda yaygın olarak pek çok alanda kullanılmaktadır. İHA'lar, düşük uçuş süreleri yüzünden uçuş görevlerini yerine getirmede bazı sorunlar yaşamaktadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için şarj istasyonları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Şarj istasyonları ile otonom olarak şarj edilebilen İHA'ların uçuş süreleri artabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, döner kanat İHA'ların uçuş süresini arttırmak ve uzun sürecek uçuş görevleri için İHA'ların şarj edilebilmesine olanak sağlayacak şarj pedi gerçekleştirilmiştir. İHA üzerindeki şarj devresine bağlı olan bakır konektörlerin, şarj istasyonu içerisine bulunan şarj ped'ine teması halinde İHA bataryasının şarjı gerçekleştirilmektedir. Şarj pedi, İHA'nın iniş yönünden bağımsız olarak her türlü şarj işlemi yapılmasına imkân sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Test çalışmalarında, İHA bataryasının şarj ped'i aracılığıyla şarj edilmiş ve anlık olarak takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA, Döner Kanat, Şarj Pedi, Şarj İstasyonu

Abstract Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are widely used in many areas in recent years due to their advantages such as their flight capabilities and low cost development opportunities. UAVs have some problems in performing flight missions due to their low flight times. In order to overcome these problems, studies are carried out on charging stations. The flight times of UAVs, which can be charged autonomously with charging stations, can increase. In this study, a charging pad has been developed to increase the flight time of rotary wing UAVs and to allow the UAVs to be charged for long flight missions. When the copper connectors connected to the charging circuit on the UAV contact the charging pad inside the charging station, the UAV battery is charged. The charging pad is designed to allow any kind of charging process regardless of the landing direction of the UAV. In the test studies, UAV battery was charged via the charging pad and was monitored instantaneously.

Keywords: UAV, Rotary Wing, Charging Pad, Charge Station

I. GİRİŞ

İHA'lar içerisinde bir pilot olmadan, radyo kontrollü uzaktan kumanda ile yer istasyonu üzerinden ya da önceden programlanmış uçuş planlarına göre bağımsız olarak, uçabilen hava araçlarıdır [1]. İHA'lar, ilk olarak askeri amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Pilot kayıplarını önlemek, girilmesi zor ve tehlikeli olan bölgelere giriş yapabilmek için kullanılan İHA'lar [2], savunma ve saldırı amaçlı askeri olarak geliştirilmektedir. İHA'ların kullanımıyla zamandan ve paradan tasarruf edilirken, insan hayatının kurtulması da sağlanmaktadır.

İHA'lar önceki yıllarda genel olarak askeri amaçlar için kullanılmasına rağmen son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ve ticari uygulamalar neticesinde kişisel kullanıma da sunulmuştur [3]. İHA'lar, düşük maliyetleri, yüksek hareketlilik kabiliyetleri, bakım kolaylığı, uzaktan kontrolü gibi nedenlerden ötürü pek çok sivil uygulama da kullanılmaktadır [4]. Çalışma şekline ve yapısına göre sabit ve döner kanatlı olarak tasarlanan ve farklı uygulamalarda kullanılan İHA'lar [5], hobi ve ticari olarak pek çok alan da kullanılmaktadır. İHA'lar üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, yapay zekâ sistemleri [6], görüntü işleme [7], haritalandırma [8], arama ve kurtarma [9], bilimsel çalışmalar [10] gibi daha pek çok uygulama alanı ile karşılaşmak mümkündür.

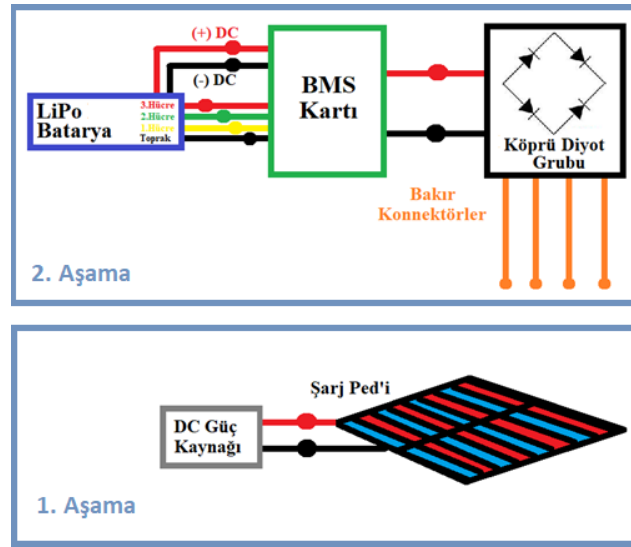
Kullanım amaçlarına ve şekillerine göre farklılık gösteren İHA'ların, pilot kontrollü helikopter ya da uçak gibi bazı hava araçları ile karşılaştırıldığında düşük maliyet, yüksek manevra kabiliyeti, esnek uçuş özellikleri, mürettebat riskinin olmaması, otonom uçuş ve ulaşımı zor olan bölgelere giriş yapabilmesi gibi bazı özelliklerinden ötürü daha avantajlı olduğu görülmektedir [11]. İHA kullanımının bu tarz avantajlarının yanı sıra meteorolojik olaylarının etkisi, yük miktarının sınırlı olması, uçuş güzergâhından sapması, düşük uçuş süreleri gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Enerji tüketimi, İHA'ların karşılaştığı en büyük problemlerden bir tanesidir. İHA'lar genel olarak bataryalar aracılığıyla çalıştırılmaktadır [12,13]. İHA'ların içerisinde kullanılan sensör, motor, pervane, kontrolcü kartı gibi donanımların enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan bataryalar, yüksek güç ihtiyacı nedeniyle hızlı bir şekilde deşarj olabilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalara bakıldığında, İHA bataryaları ile yapılan uçuş sürelerinin 10-30 dakika arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir [14]. Bu durum, İHA'ların uçuş menzilin ve çalışma sürelerinin büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. İHA uçuşlarının devam edebilmesi için bataryaların şarj edilmesi ya da değiştirilmesi gerekmektedir. İHA bataryaları, İHA ve istasyon arasındaki elektrik kontakları aracılığıyla kablolu güç aktarımıyla ya da kablosuz olarak fiziksel bağlantı olmadan şarj edilebilmektedir [15].

Bu çalışma kapsamında, İHA modellerinden birisi olan döner kanatlı İHA'ların bataryalarını şarj etmek ve uçuş sürelerini uzatmak amacıyla bir şarj ped'i geliştirilmiştir. Geliştirilen şarj ped'i, İHA'lar için otonom şarj işlemine imkân vermektedir. Bu sayede herhangi bir insan etkileşimine gerek duyulmadan İHA bataryasının şarj edilmesi sağlanmaktadır. İHA üzerindeki bakım konektörlerin şarj ped'ine temas etmesi ile şarj işlemi başlamaktadır. İHA ile şarj ped'i arasında herhangi bir kenetlenme veya kablolu bağlantıya gerek duyulmadan şarj işlemine imkân verecek bir sistem geliştirilmiştir.

II. İHA ŞARJ SİSTEMİNİN TASARIMI

İHA bataryasının şarj edilmesine ait olan blok diyagramı şekil 1’de verilmiştir. Şarj işlemi 2 aşamalı olarak ele alınmıştır. İlk aşamada, şarj işlemi için kullanılacak şarj ped’ine DC kaynak kullanılarak enerji verilmektedir. Bu sebeple ayarlanabilir bir güç kaynağı üzerinden LiPo bataryasının şarj için kullanılacak akım ve gerilim değerleri şarj ped’ine verilmiştir. İkinci aşama ise İHA üzerindeki bataryanın şarj için hazır hale getirilmesidir. Bu aşamada LiPo bataryasının bir Batarya Yönetim Sistemi (BMS: Battery Management System) kartı aracılığıyla balanslı bir şekilde şarj edilebilmesi sağlanmıştır. BMS kartı ile köprü diyot grubu arasında bağlantı yapılarak LiPo bataryaya şarj ped’i üzerinden güç verecek devre oluşturulmuştur. Köprü diyot grubuna bağlanan ve İHA’nın bacaklarına yerleştirilen bakır konektörlerin, şarj ped’ine teması halinde güç aktarımı gerçekleştirilerek BMS kartı aracılığıyla LiPo bataryanın balanslı bir şekilde şarj edilmesi sağlanacaktır.



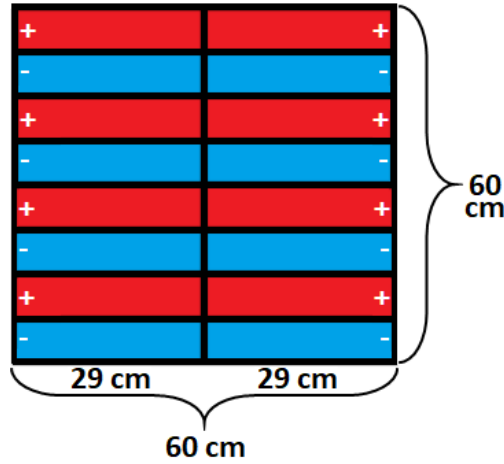
Şekil 1. Geliştirilen Şarj Sistemi Blok Diyagramı

A. Şarj Ped'i Tasarımı

Şarj ped'i ile ilgili yapılan tasarım çalışmalarıdaki ana fikir, İHA'nın şarj ped'i üzerine her ne şekilde inerse insanın şarj işleminin doğru biçimde yapılmasıydı. Bu bağlamda farklı prototip çalışmaları araştırılmış ve son tasarım çalışması gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’ de tasarlanan ped’in bilgisayar ortamındaki çizimi ve gösterilmiştir. Ped üzerinde sırasıyla “+, pozitif” ve “-, negatif” güç hatları bulunmaktadır. Bu hatlar arasında yalıtılmış bölgeler bulunmaktadır.

Geliştirilen ped aracılığıyla, iniş esnasında meydana gelebilecek yanlış hizalanmalardan ötürü yaşanacak her türlü sorunun engellenmesi sağlanmaktadır. Bu durum dış mekânlarda yapılacak uçuşlarda büyük bir öneme sahiptir. Çünkü dış ortamlardaki çevre koşullarında meydana gelebilecek değişiklikler ve iniş sistemlerinde meydana gelebilecek aksaklıklardan ötürü planlanan iniş hassaslığı yapılamayabilir. Bu sebeple her ne şekilde iniş işlemi yapılırsa yapılsın şarj işleminin yapılabilmesi gerekmektedir. Tasarlanan şarj ped’i, herhangi bir kilitlenme ihtiyacı

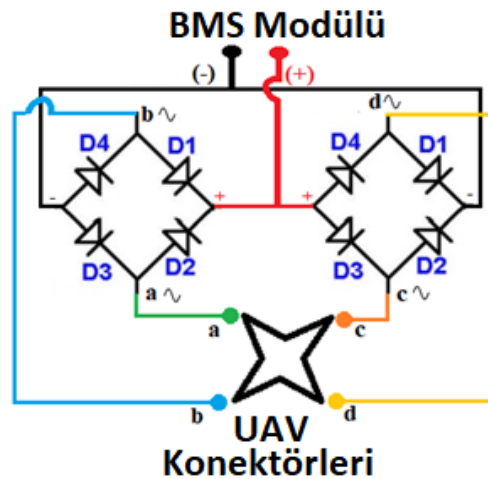
olmadan ya da insan eli değmeden İHA'ların otomatik olarak şarj edilebilmesine imkân sağlanmaktadır.



Şekil 2. Şarj Ped'inin Tasarımı

B. Şarj Devresinin Tasarımı

Şarj sisteminin çalışma yapısı şu şekildedir; İHA'nın ayaklarına bağlı dört bakır konektör ile şarj pedi arasında temas olması durumunda enerji akışı başlar. Bakır konektörler, İHA üzerindeki köprü diyot grubuna bağlanmıştır. Enerji, bakır konektörler vasıtasıyla köprü diyot grubuna geçer. Köprü diyotlarının (iki parça) ve bakır konektörlerin bağlantı şeması Şekil 3'te gösterilmiştir. Her iki diyotta da dört pim (iki AC girişi, -, +) vardır. Diyotların üzerindeki güç pimleri birbirlerine bağlanırken, dört adet AC giriş terminali (a, b, c, d) de bakır konektörlere bağlanır. AC giriş terminalleri üzerinden enerji akışı sağlanmaktadır. AC enerjinin bir kutbu olmadığı için, AC giriş terminalleri sayesinde herhangi bir yanlış inişten dolayı oluşabilecek kısa devre risklerinin önüne geçilmektedir. Diyot köprülerinden gelen enerji, LiPo pillerin dengeli şarjı için kullanılmak üzere BMS kartına verilir.

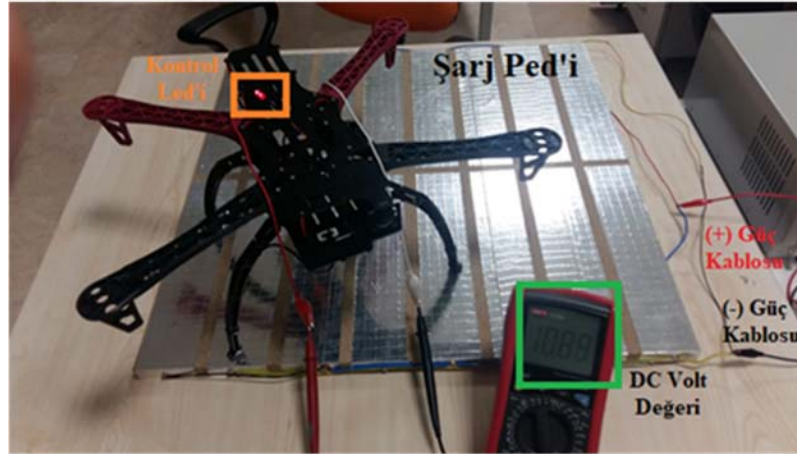


Şekil 3. Köprü Diyotların Bağlantı Grafiği

BMS kartları, şarj ve deşarj işlemleri sırasında bir veya daha fazla hücreden oluşan pil hücrelerini kontrol eden ve yöneten sistemlerdir. Batarya sistemlerinde koruyucu görevi görerek akülerin mevcut çalışma durumlarını inceler ve optimum çalışma değeri aralığında kalmalarını ve pillerin verimli çalışmasını sağlar [16]. Şekil 1'deki blok diyagramında 3 hücreli LiPo batarya ile BMS kartı arasındaki bağlantı yapısı verilmiştir. Bu bağlantılar sayesinde LiPo batarya ile BMS kartı arasında enerji akışı sağlanmakta ve batarya dengeli bir şekilde şarj edilebilmektedir.

III. TEST ÇALIŞMALARI

Geliştirilen şarj ped'i ile yapılan ilk denemelerde, bir led kullanılmıştır. Led yardımıyla doğru ve güvenli bir şekilde güç aktarımının yapıp yapılmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 4'de test aşamalarına ait bir görsel verilmiştir. İlk olarak DC güç kaynağı üzerinden şarj ped'ine güç verilmiştir. İHA'nın ayaklarında bulunan bakır konektörlerin şarj ped'i üzerindeki alüminyum hatlar ile teması sayesinde led'e güç verilmektedir. Kullanılan köprü diyotlar yardımıyla İHA ile şarj ped'inin her türlü teması halinde led'e güç aktarımı sağlanarak led'in yakılması sağlanmıştır. Test işlemleri sırasında bazı durumlarda led'e güç gelmemiştir.



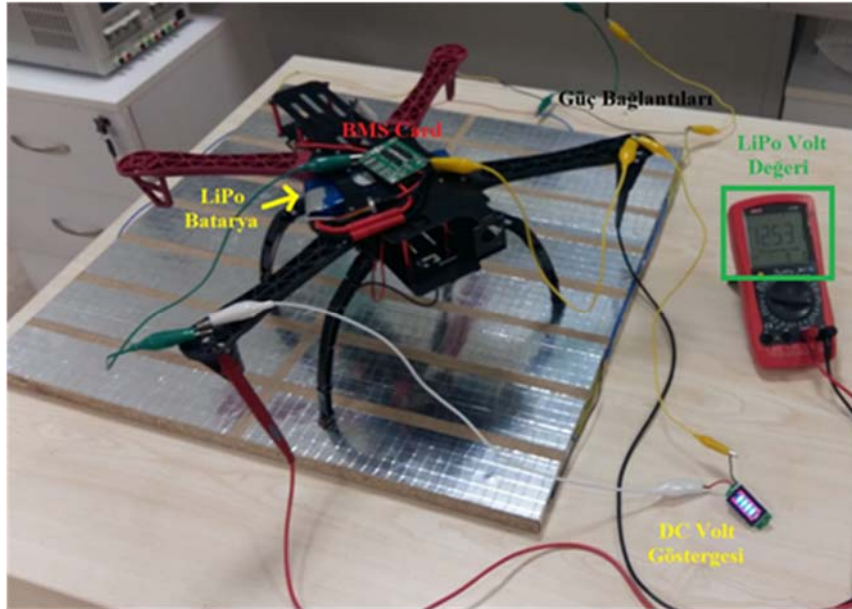
Şekil 4. Şarj Ped'i Test Çalışmaları

Şarj ped'i ile İHA arasındaki enerji akışının doğru bir şekilde olup olmadığına yönelik test çalışmaları yapılmıştır. Bu test işlemlerinde, İHA'nın bacaklarına bulunan dört adet konektörün (A, B, C, D), şarj ped'indeki enerji (+, -) hatlarına teması halinde enerji akışının olup olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu veriler ile geliştirilen şarj ped'i ile yapılan şarj işlemlerinde %87.5'lik bir başarı elde ettiği görülmektedir.

Şarj durumlarının tespit edilmesinde sonra donanımsal olarak şarj ped'i üzerinden LiPo bataryasının şarj edilmesine yönelik test işlemleri yapılmıştır (Şekil 5). Şarj ped'i üzerinde yerleştirilen İHA'nın ayaklarında bulunan bakır konektör ile enerji hatlarının temasından sonra BMS kartına enerji aktarılmaktadır. BMS kartı aracılığıyla LiPo bataryanın balanslı bir şekilde şarj edilmesi sağlanmaktadır. Görseldeki voltmetrede görülen "12.531 V" değeri LiPo bataryanın anlık olarak sahip olduğu voltaj değerini göstermektedir.

TABLO 1
ŞARJ DURUMLARININ TESPİTİ

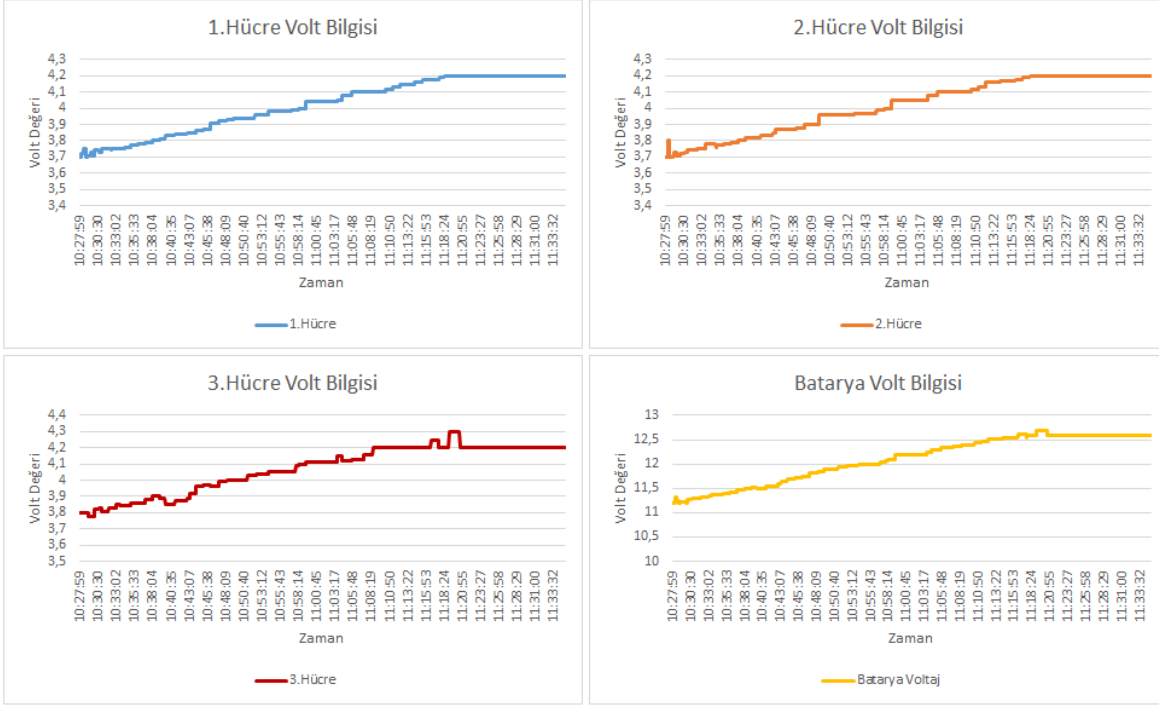
Test	Konektör A	Konektör B	Konektör C	Konektör D	Şarj Durumu
1	-	-	-	-	×
2	-	-	-	+	√
3	-	-	+	-	√
4	-	-	+	+	√
5	-	+	-	-	√
6	-	+	-	+	√
7	-	+	+	-	√
8	-	+	+	+	√
9	+	-	-	-	√
10	+	-	-	+	√
11	+	-	+	-	√
12	+	-	+	+	√
13	+	+	-	-	√
14	+	+	-	+	√
15	+	+	+	-	√
16	+	+	+	+	×



Şekil 5. Şarj Ped'i ile LiPo Bataryasının Şarj Edilmesi

Şarj işlemi sırasında LiPo bataryasının hücrelerindeki voltaj bilgileri Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde, sırasıyla LiPo bataryasının 1., 2. ve 3. hücrelerindeki voltaj değerleri ve toplam voltaj

değeri verilmiştir.



Şekil 6. LiPo Batarya Şarj Grafikleri

IV. SONUÇ

İHA'larda kullanılan enerji kaynaklarının sahip oldukları güç kapasitesi nedeniyle İHA'ların uçuş süreleri kısadır. Daha uzun çalışma süreleri uçuşlar için bataryaların periyodik olarak değiştirilmesi veya şarj edilmesi gerekmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, İHA bataryasının şarj edilmesi veya değiştirilmesi gibi pek çok şarj istasyonu uygulaması yapılmıştır. Bu istasyonlarda, insan eli değmeden ve otonom olarak İHA bataryaları şarj edilmekte veya değiştirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, İHA bataryalarının şarj edebilmek amacıyla bir şarj ped'i geliştirilmiştir. Şarj işlemlerinde, şarj ped'i ve İHA arasında herhangi bir kilitlenme mekanizması veya bağlantısına gerek duyulmamaktadır. Şarj ped'i, İHA'nın iniş yönüne bakılmaksızın şarj işlemini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede iniş esnasında meydana gelebilecek yanlış hizalanmalardan ötürü yaşanacak her türlü sorunun engellenmesi sağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan testlerde, İHA bataryasının şarj ped'i aralığıyla şarj edilmesi ve şarj sırasında batarya voltaj bilgilerinin takibi yapılmıştır. Şarj ped'i ile İHA üzerindeki bakır konektörlerin temasına bağlı olarak gerçekleştirilen enerji akışına yönelik test işleminde, %87.5'lik bir başarı elde edilmiştir. Bu test işlemi sonucunda geliştirilen şarj ped'inin şarj işlemlerinde kullanılabilirliği görülmüştür.

V. TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2017-02.BŞEÜ.03-05 no'lu proje kapsamında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nin verdiği desteği için teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] M. Tahir, S.I. Ali-Shah, Q. Zaheer, "Aircraft system design for an anti-terrorist unmanned aerial vehicle," International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET), pp. 1-8, 2018.
- [2] R. Padam, J. Malhotra, "Secure techniques for the UAV networks: A review," International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), pp. 485-488, 2018.
- [3] C. Stöcker, R. Bennett, F. Nex, M. Gerke, J. Zevenbergen, "Review of the current state of UAV regulations," Remote Sensing vol. 9, pp. 33-35, 2017.
- [4] S. Hayat, E. Yanmaz, R. Muzaffar, "Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, pp. 2624-2661, 2016.
- [5] A.S. Vempati, M. Kamel, N. Stilinovic, Q. Zhang, D. Reusser, I. Sa, J. Nieto, R. Siegwart, P. Beardsley, "PaintCopter: An autonomous UAV for spray painting on three-dimensional surfaces," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 3, pp. 2862-2869, 2019.
- [6] A. Rohan, M. Rabah, S.H Kim., "Convolutional Neural Network-Based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2," IEEE Access, vol. 7, 69575-69584, 2019.
- [7] S.H. Horstrandx, R. Guerra, A. Rodriguez, M. Diaz, S. Lopez, J.F. Lopez, "A UAV Platform Based on a Hyperspectral Sensor for Image Capturing and On-Board Processing," IEEE Access, vol. 7, 66919-66938, 2019.
- [8] C. Liu, S. Zhang, A. Akbar, "Ground Feature Oriented Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle Mapping," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 12, 1175-1187, 2019.
- [9] E.T. Alotaibi, S.S. Alqefari, A. Koubaa, "LSAR: Multi-UAV Collaboration for Search and Rescue Missions," IEEE Access, vol. 7, 55817-55832, 2019.
- [10] T. Bai, J. Wang, Y. Ren, L. Hanzo, "Energy-efficient computation offloading for secure uav-edge-computing systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, pp. 6074-6087, 2019.
- [11] A. Legowo, E. Sulaeman, D. Rosli, "Review on System Identification for Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle UAV," In:2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), pp. 1-8, 2019.
- [12] H. Shakhathreh, A.H. Sawalmeh, A. Al-Fuqaha, Z. Dou, E. Almaita, I. Khalil, S.N. Othman, A. Khreishah, M. Guizani, "Unmanned Aerial Vehicles UAVs: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges," IEEE Access, vol. 7, pp. 48572-48634, 2019.
- [13] L. Gupta, R. Jain, G. Vaszkun, "Survey of Important Issues in UAV Communication Networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, pp. 1123-1152, 2016.
- [14] [14] F. Morbidi, R. Cano, D. Lara, "Minimum-energy path generation for a quadrotor UAV," In:2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 1492-1498, 2016.
- [15] C. Tommaso, S. Cruciani, M. Feliziani, "Wireless Power Transfer Technology Applied to an Autonomous Electric UAV with a Small Secondary Coil," Energies, vol. 11, pp. 1-15, 2018.

- [16] B.G. Carkhuff, P.A. Demirev, R. Srinivasa, "Impedance-Based Battery Management System for Safety Monitoring of Lithium-Ion Batteries," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, pp. 6497-6504, 2018.

Automated Diagnostic Tool for Hypertension Using Deep Learning Model

Tuğba Yilmaz^{*,1}, Baha Şen¹

tugbaylmz001@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1531-2878

¹: bsen@ybu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3577-2548

¹: Computer Engineering, Institute of Science, Ankara Yildirim Beyazıt University, Ankara, Turkey

²: Computer Engineering, Institute of Science, Ankara Yildirim Beyazıt University, Ankara, Turkey

Abstract Hypertension is a systemic disease manifested by persistent high blood pressure, it is an important health problem because it causes serious complications and is common in the society. The purpose of the detection and treatment of hypertension is to reduce the risk of heart, brain, vascular and kidney diseases, and the associated mortality rate. Therefore, it requires a continuous, accurate blood pressure measurement system to identify high risk individuals. In the health sector, an uncomfortable blood pressure holter device is usually attached to the patient for the diagnosis of high blood pressure disease. The aim of the study is to present algorithms for blood pressure prediction that do not occlude continuous and non-invasive vascular access. In this study, version of the Multi Parameter Intensive Care Intelligent Monitoring (MIMIC) II online waveform database provided by the PhysioNet organization has used as the data set. It was aimed to make blood pressure estimates with the features extracted from Electrocardiography (ECG) and Photoplethysmography (PPG) signals. The extracted features were trained with deep learning algorithms such as convolutional neural networks and long short-term memory. At the same time, in the blood pressure estimation of our model, which we obtained by using convolutional neural networks and long-short-term memory algorithms together, it was concluded that the accuracy rate increased. The methods used in the noninvasive blood pressure estimation we proposed, by integrating into wearable devices that are very popular in today's technology it can also be used to combat cardiovascular diseases and prevent their risky effects.

Keywords: Hypertension, electrocardiography, photoplethysmography, blood pressure, convolutional neural networks (CNN), recurrent neural networks (RNN), long short-term memory (LSTM), deep learning

I. INTRODUCTION

HYPERTENSION, known as blood pressure, is higher than normal values, is the most important preventable cause of death according to the reports of the World Health Organization (WHO) [1]. In national-scale large studies, it has been shown that one out of every three people in adults over the age of 18 and one out of every two people from the age of 50s have hypertension.

Hypertension complications cause 9.4 million deaths worldwide each year. Hypertension is responsible for 45% of deaths due to heart diseases and 51% of deaths due to stroke. Hypertension is a common and important public health problem in Turkey as well as all over the world. According to the data of the Ministry of Health, one of every four deaths in Turkey is caused by hypertension. Therefore, it is very important to recognize and treat hypertension early. So much so that a decrease of 2 mmHg in systolic blood pressure, known as high blood pressure, provides 7% reduction in deaths due to coronary artery disease and 10% reduction in deaths due to stroke. However, hypertension is a preventable and treatable disease.

While genetic predisposition and excessive salt consumption are among the causes of hypertension, the cause of high blood pressure is not known in most patients. Hypertension with no identifiable cause is called primary hypertension. This type of hypertension tends to develop gradually over time. In some rarer cases, hypertension is caused by an underlying medical condition. This type of hypertension, called secondary hypertension, tends to occur suddenly, and causes higher blood pressure values than the primary type of hypertension. Medical conditions that cause this condition include parenchymal kidney disease, adrenal gland tumors, congenital defects in blood vessels, renal artery stenosis, obstructive sleep apnea, and thyroid problems, and excessive aldosterone release.

The purpose of determination and treatment of hypertension is to reduce the risk of heart, brain, vascular, and kidney diseases and the associated morbidity and mortality rate. Therefore, blood pressure classifications for adults should be made under the leadership of constantly updated guidelines in order to identify high-risk individuals and to provide follow-up and treatment principles.

In adults (> 18 years of age), systolic BP ≥ 140 mmHg and/or diastolic BP ≥ 90 mmHg is defined as hypertension (high BP) according to the standard measurement performed by the physician [2]. BP values below 120/80 mmHg are considered normal. Systolic BP is particularly important and essential in diagnosis in most patients. It is reported that systolic BP is acceptable up to 150 mmHg in those who are ≥ 80 years old [3]. Classification according to the BP level in the general population is shown in Table I.

TABLE I
REFERENCE BP VALUES ACCORDING TO THE ESH

Classification	SBP (mmHg)		DBP (mmHg)
Great	<120	AND	<80
Normal	120 to 129	OR	80 to 84
Normal High	130 to 139	OR	85 to 89
Hypertension grade 1	140 to 149	OR	90 to 99
Hypertension grade 2	150 to 179	OR	100 to 109
Hypertension grade 3	> 180	OR	> 110

For the diagnosis of hypertension in adults, electrocardiogram, echocardiography, 24-hour blood pressure monitoring, and a pulse count not shorter than 30 seconds are performed. In addition, a detailed medical history should be taken, systemic physical examination and necessary laboratory examinations should be performed in order to determine the risk factors of the patient and to question the causes of secondary hypertension.

The aim of the study is to provide algorithms for blood pressure prediction that do not occlude continuous and non-invasive vascular access. In our study, we aimed to predict systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), and mean arterial pressure (MAP) values by focusing on deep learning algorithms. Blood pressure estimates were made with the features extracted from Electrocardiography (ECG) and Photoplethysmography (PPG) signals.

II. BACKGROUND

The electrocardiography (ECG), which is used for the diagnosis of cardiovascular diseases, is a device that provides a graphical recording of the electrical activity that occurs during the contraction of the heart [4]. A weak electrical activity occurs during the contraction and relaxation of the atria and ventricles, also known as the heartbeat. This activity contains a lot of data about heart rhythm, frequency, and spread. Electrocardiography, or in other words, an ECG device is used to measure electrical activity. Electrodes affixed on the skin to the chest, arm, and leg area allow the electrical activity of the heart to be measured.

ECG is taken with the help of electrodes attached to the skin. Thanks to the measurement of the electrical activity created by the heart every time it contracts, detailed information about the heart is obtained. Electrodes are attached to the patient's body to measure the contraction and relaxation movement created by the atria and ventricles in the heart, the stimulation of the heart by cell groups, and the electrical activity that occurs during the transmission of this stimulus. These electrodes are connected to the ECG device with cables. The electrical activity data is converted into graphs by the ECG device. The ECG device records heartbeats consisting of P, Q, R, S, T, and U waves on the electrocardiogram (see Fig. 1). The graphical values created by these waves provide information to the physician about the patient's heart health. ECG, which provides rapid measurement of many data about heart health, is a diagnostic method frequently used by cardiologists today.

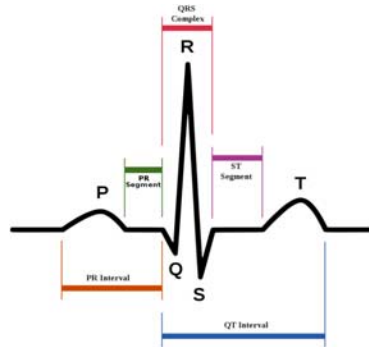


Fig. 1. ECG of a heart in normal sinus rhythm [5]

The photoplethysmography (PPG) is a non-invasive method of obtaining physiological parameters on the body [6]. PPG signals obtained using this method have many advantages, as they contain many physiological information and can be continuously monitored in a non-invasive manner. The basis for obtaining the PPG signal is the volumetric changes in the blood vessels that occur as a result of the heart pumping blood to the blood vessels (see Fig. 2).

PPG measurement can be performed easily on the skin, such as fingertips and earlobes, where capillaries are concentrated, as well as on the wrist. During this measurement, a LED emitting light of a certain wavelength is used as a transmitter in the sensor part and a photodiode sensitive to this wavelength, which is also used as a receiver. The amplitudes and waveforms of PPG signals contain information about many physiological parameters of the person, and different health data are reached by changing the wavelengths from which PPG signals are obtained.

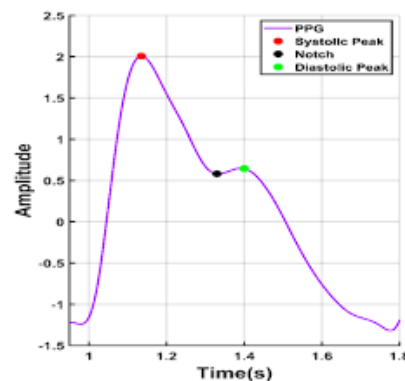


Fig. 2. A typical PPG waveform with notch, systolic peak, and diastolic peak [7].

Systolic blood pressure (SBP) is the blood pressure that occurs in the artery wall with the contraction of the heart. It is the blood pressure that occurs from the moment the heart pumps blood from the left ventricle to the aorta until the aortic valve is closed. In systolic blood pressure, the pressure in the aorta reaches its highest level. Diastolic blood pressure (DBP) is the blood pressure that occurs in the artery wall as a result of the relaxation of the heart. When the heart relaxes, blood pressure in the aorta drops to its lowest level. Mean blood pressure (MAP) is the average blood pressure in the artery.

III. METHODOLOGY

Fig. 3 shows the block diagram of the proposed blood pressure prediction method, which consists of the following steps.

- i. Database block, collection of a database.
- ii. Preprocessing block to smooth and remove certain subjects data whose records with very high BP or very low BP.
- iii. Feature extraction block to extract useful features from signals.
- iv. Partitioning block to partition the samples into three subsets train, validation, and test.
- v. Deep Learning block to train the convolutional neural network (CNN) and LSTM models.
- vi. Model Evaluation block to evaluate the trained model's performance.

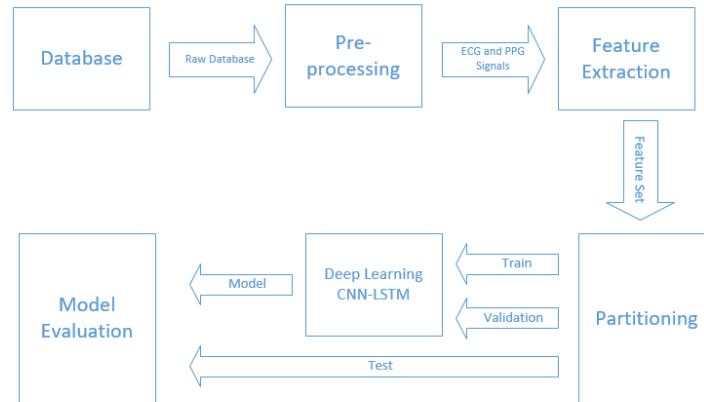


Fig. 3. Block diagram of a proposed blood pressure prediction system.

Machine learning (ML) is the process of using mathematical models of data to help a computer learn without direct instruction [8]. ML is considered a subset of artificial intelligence. ML uses algorithms to identify patterns in data, and these patterns are used to create a data model that can make predictions. Machine Learning basically consists of three main stages. The first stage is to create the model. The second is to enter the data known as the training set. In order to enter data sets, it may be necessary to select and clean the data according to the model, to transform and develop the data if necessary, and to resort to various data mining methods. The third stage is to compare the model with the training data, the learning, and the creation of a new model or prediction. An example pipeline of how ML works can be found in Fig. 4.

ML methods are often categorized based on supervised, unsupervised, and reinforcement. Supervised learning is a ML approach that learns from labeled data. In the supervised learning method, training data contains label information. In other words, data with known results are used in developing a model for a solution. Unsupervised Learning is a ML approach that uses a function

to predict an unknown structure from unlabeled data. There is no training data in unsupervised learning, and it is unclear to which class the input data belongs. Reinforcement learning is a ML approach inspired by behaviorism that deals with what actions intelligent agents must take to achieve the highest amount of cumulative reward in an environment.

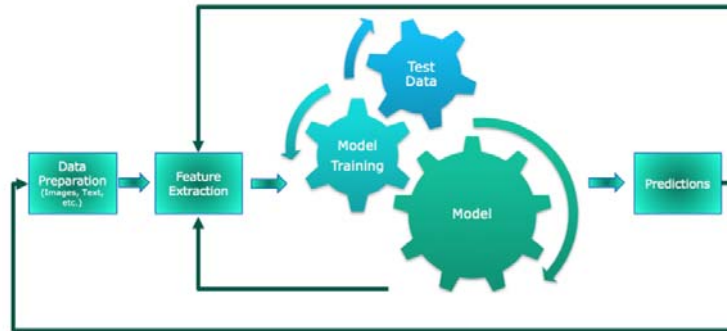


Fig. 4. An example pipeline of how ML works [9]

Deep learning is an artificial intelligence method that uses multi-layered artificial neural networks in areas such as object recognition, natural language processing, and is one of the types of machine learning [10]. Deep learning, unlike traditional machine learning methods, instead of learning with coded rules; can learn automatically from the symbols of the data of pictures, videos, sounds, and texts. Since they are flexible, they can learn from raw image or text data and their prediction accuracy can increase according to the size of the data.

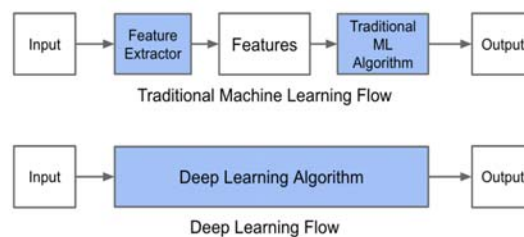


Fig. 5. Comparison of traditional machine learning and deep learning [11]

Deep learning is a specialized subset of ML. Deep learning uses many layers of nonlinear processing units for feature extraction and conversion. Each successive layer takes the output from the previous layer as input.

While traditional machine learning algorithms have a simple structure like linear regression or decision tree, deep learning algorithms are based on an artificial neural network. However, deep learning algorithms require much less human intervention. In deep learning methods, features are extracted automatically, and the algorithm learns from its errors (see Fig. 5). Due to the complex multi-layer structure, deep learning algorithms need much more data than a traditional machine learning algorithm to work properly.

Algorithms can be supervised (like classification) or unsupervised (like pattern analysis). Convolutional Neural Networks, Recurrent Neural Networks (RNN), and Deep Belief Networks (DBN) are common deep learning algorithms based on artificial neural networks. Deep learning methods have been applied to a wide variety of areas such as natural language processing (NLP), image processing, visual object detection, medical diagnosis, military, and other fields.

A. Database

A version of the Multi-Parameter Intensive Care Intelligent Monitoring (MIMIC) II online waveform database provided by the PhysioNet organization has been used as the data set. The processing that is followed to reproduce the UCI dataset from the MIMIC II dataset has been explained in [12]. The PhysioNet's multiparameter Intelligent Monitoring in Intensive Care (MIMIC) II database is used as a source for the ECG and PPG signals as well as the arterial blood pressure (ABP) signal (see Fig. 6). The database is formed ECG acquired from bipolar member lead form II channel, PPG using fingertip photoplethysmography and ABP (Arterial Blood Pressure) signals from 12,000 instances sampled at 125 Hz.



Fig. 6. The MIMIC II Waveform Database [13]

Certain subjects who were completely unregistered with very high or very low BP had 12,000 data after data was removed ($SBP \geq 180$, $DBP \geq 130$, $SBP \leq 80$, $DBP \leq 60$) and, in the filtering process, each attributed to a unique identity. The database is in the form of MAT files consisting of the cell of array matrices where each cell displays the individual record. Each sample is also given a unique ID to avoid collision of data in the dataset. The data set is then divided by 80% for training and 20% for testing. The signals are then processed before they are used to build a deep learning model.

B. Feature Extraction

In this paper, the feature set consists of ECG-based features such as Womersley number, SDI, QRS and QTc interval, and PPG-based features such as photoplethysmograph intensity ratio (PIR). The feature set is used to minimize the error in blood pressure estimation and to explore the

relationship of these features with blood pressure. The following sub-section explains the feature extraction from the signals in detail.

Pulse Transit Time (PTT) difference between the peak of the R-wave in electrocardiogram (ECG) and the fingertip photoplethysmogram (PPG) signals, can be used to predict the systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP).

Photoplethysmograph Intensity Ratio (PIR) is the ratio of PPG peak intensity I_H to PPG valley intensity I_L of the pulse signal.

Womersley number (alpha) also called the alpha parameter is a dimensionless number that has been used study of biofluid mechanics and biofluid dynamics. It was first derived by John R. Womersley (1907–1958) in his work with blood flow in arteries. This parameter is the ratio of inertial force to viscous forces. The Womersley number is critical in keeping dynamic similarity when measuring an experiment. When alpha parameter is decrease, the viscous effect tends to dominate and in period, impress the blood pressure in case of pathological status already in larger arteries.

PAT features are obtained by the estimate of the time interval between the ECG R-peak points and three points on the PPG signal: the PPG maximum peak (PAT_p), the PPG minimum (PAT_f), and the point at which the maximum slope of the PPG waveform occurs (PAT_d).

Heart Rate (HR) is calculated by the estimate of the peak-to-peak time interval of the PPG or ECG signals.

Augmentation (AI) is a explain of the wave reflection on arteries, it is measurement by taking the ratio between the systolic peak and the first inflection point after it qua.

Large Artery Stiffness Index (LASI) is an index of the arterial hardness, upside down interested to the time space between the systolic peak and the first curling point next it.

Inflection Point Area Ratio (IPA) is determined as the measure of the areas under the PPG curve between selected points, indicated by S1, S2, S3, and S4 in Fig. 7. The measure of heart pumping wave reflection parts in the PPG signal waveform can be used to calculate the impedance inconsistency between various parts of the arterial system. Therefore, IPA can be noted as an index of the total peripheral resistance. In this paper, S1, S2, S3, and S4 areas are used straight as features.

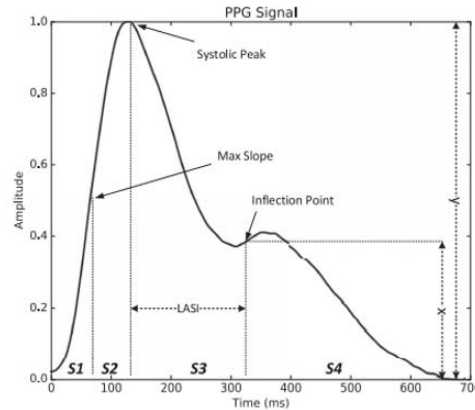


Fig. 7. Extraction of PPG signal features [14]

C. Proposed Model

A **convolutional neural network (ConvNet or CNN)** is a deep learning algorithm that is used to analyze visual information and takes images as input. This algorithm, which captures the features in images given as input with different operations and classifies them, consists of different layers. Basically, there are five types of layer exist in convolutional neural network architectures are convolutional layer, non-linearity layer, pooling layer, flattening layer, and fully connected layer (see Fig. 8). A convolutional neural network uses a standard neural network to solve classification problems, but prior to that it uses other layers to prepare data and detect certain features.

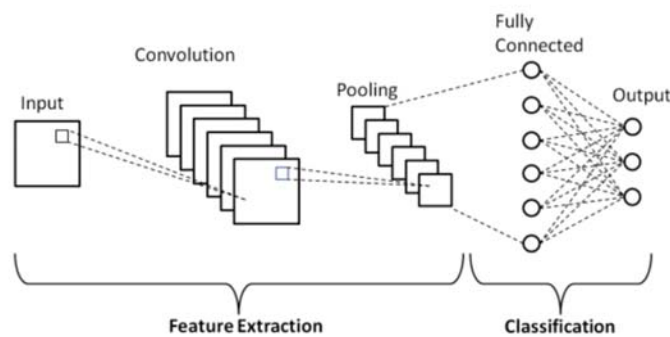


Fig. 8. Basic CNN architecture [15]

The convolutional layer is the first layer that can take in an input image in CNN algorithms. The convolutional layer, which is used to determine features, consists of a series of learnable filters. In this layer, which is responsible for perceiving the properties of the input, some filters are applied to the input to remove the low and high-level features in the image. For example, these filters can detect edges. Filters are usually 3-dimensional, including width, height, and depth, and contain pixel values. An example pipeline of convolution operation can be found in Fig. 9.

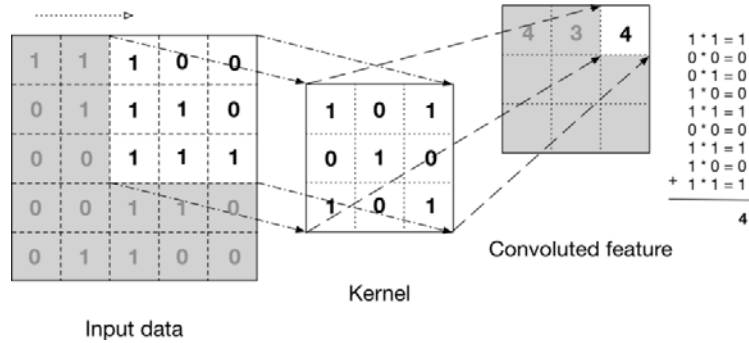


Fig. 9. An example of convolution operation [16]

The Non-Linearity layer usually comes after all the convolutional layers. It is aimed to introduce nonlinearity to the system. Since all layers in the CNN structure can be a linear function, the neural network behaves like a single perception, that is, the result can be calculated as a linear combination of outputs. In this case, it causes a linearity problem in the image. In order to avoid this problem, activation functions are used in this layer.

The pooling layer is a layer that is often added between successive convolutional layers in CovNet. It is used to reduce the number of weights and check their suitability. The task of this layer is to reduce the sheer size of the representation and the number of parameters and calculations within the network (see Fig. 10). In this way, both the required processing power is reduced, and the captured unnecessary features are ignored, and more important features are focused on.

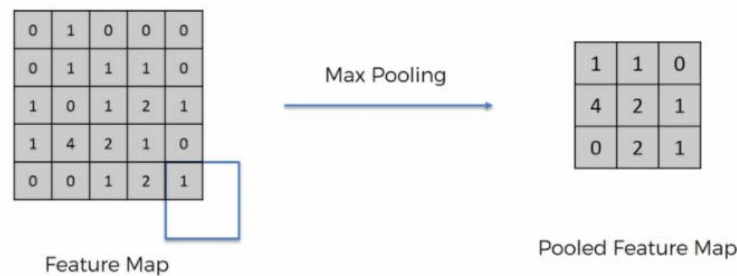


Fig. 10. An example of Max-Pooling taking a pooling stride of 2 x 2 dimension [17]

The flattening layer is the layer that enables to prepare the data for the classical neural network. The matrix obtained by passing through the other layers of CNN must be passed through the flattening process in order to be used in the Fully Connected layer (see Fig. 11). After this step, inputs of Fully Connected Layer are prepared. This structure can also be considered as a simplified version of the fully connected layer structure.

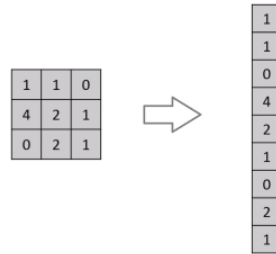


Fig. 11. An example of flattening operation [18]

Fully Connected layer is the standard neural network used in classification and is the last and most important layer of ConvNet. It takes the data from the flattening process and performs the learning process through the neural network. The matrix image that passes through the convolutional layer and the pooling layer several times in the Fully Connected layer is transformed into a flat vector.

Recurrent neural networks (RNNs) are a class of artificial neural networks in which connections between nodes form a directed loop (see Fig. 12). This allows the network to exhibit dynamic temporal behavior. Unlike feed forward neural networks, RNNs can use their input memory to process arbitrary sequences of inputs. The main purpose of recurrent neural networks is to use sequential information. In a traditional neural network, it is assumed that all inputs (and outputs) are independent of each other. RNNs are called repetitive because they perform the same task for every element of a sequence; output depends on previous calculations of the network.

In classical artificial neural networks, no association is made between previous states or inputs. However, in RNNs, one of the deep learning algorithms, associations with previous entries or situations are made. It can be said that RNNs have a loop within themselves. In recurrent neural networks, the output depends not only on the available inputs, but also on the state of the neuron of the previous step. Since RNNs can create a cycle, they can make sense of sequentially developing activities with each other. In traditional artificial neural networks, the results from the cells do not come back to them as inputs. In RNN, the result coming out of the cell comes back to itself as an input.

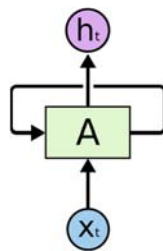


Fig. 12. Basic recurrent neural network architecture [19]

If the RNN is opened, an architecture like the following in Fig. 13 emerges. In the period of time, the same cell repeats itself more than once. Thus, meaning can be established between the activities.

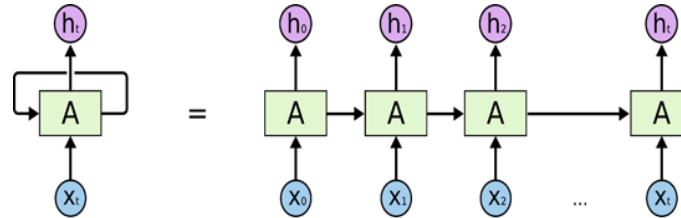


Fig. 13. An unrolled recurrent neural network [19]

Bidirectional RNNs are based on the idea that outputs at time t may depend not on previous items in the rows but also on future items (see Fig. 14). For example, bidirectional RNNs can be used if one wants to look at both left and right content to predict a missing word in a sequence. These are just two RNNs stacked on top of each other. The outputs are then calculated based on the hidden state of both RNNs.

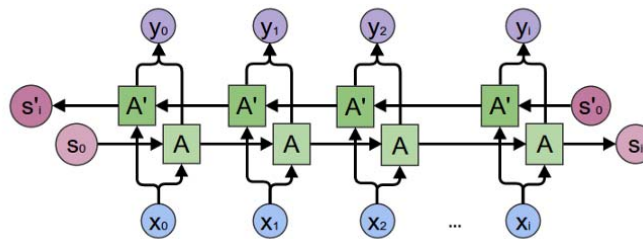


Fig. 14. General structure of bidirectional recurrent neural networks [20]

Long Short-Term Memory Networks are a proprietary recurring neural network architecture designed to more accurately model temporal sequences and long-range dependencies than traditional recurring neural networks (see Fig. 15). LSTM does not use the activation function within its repetitive components, does not change the stored values, and does not have the problem of vanishing gradients. Usually, LSTM is implemented in "blocks" with several units.

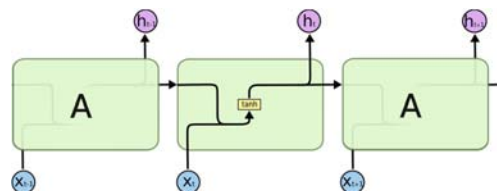


Fig. 15. An example of the repeating module in a standard RNN contains a single layer [19]

LSTMs have four different layers in the form of a repeating chain instead of a single layer. As in Fig. 16 below shows four different layers. LSTMs, which have both long and short-term memory qualities, show their superiority over long term memory to a great extent. LSTMs also address the problem of diminishing gradients encountered by traditional RNNs. RNNs also have the feature of using past knowledge. However, any RNN may not be able to decide at which point in the past the information was useful. Cells in the LSTM structure decide which information to

keep and which information to delete. LSTM then combine the previous state, current memory, and input. It is understood that such units are very effective in capturing long-term dependencies.

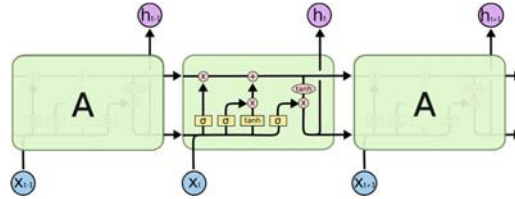


Fig. 16. An example of the repeating module in an LSTM contains four interacting layers [19]

D. Results

The following Table II shows the comparative analysis with the mean absolute error (MAE) on various machine learning and deep learning algorithms. In the proposed model, combinations of these algorithms demonstrate the improvement in the performance compared to CNN and LSTM deep learning algorithms separately.

TABLE II
COMPARISON WITH OTHER WORKS

Work	Method	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	MBP (mmHg)
		MAE	MAE	MAE
Kachuee et al. [14]	SVR	12.38	6.34	-
Thambiraj et al. [21]	RF	9.00	5.48	3.20
Attarpour et al. [23]	ANN	4.94	4.03	-
Proposed Model	CNN	14.60	9.35	10.35
Proposed Model	LSTM	9.60	8.80	7.15
Proposed Model	CNN+LSTM	9.90	7.15	7.20

SVR: Support Vector Regression, RF: Random Forest, ANN: Artificial Neural Network

IV. CONCLUSION

Determination of hypertension is of great importance in reducing the risk of heart, brain, vascular, and kidney diseases and the related morbidity and mortality rate. In this paper, a model builds with electrocardiography (ECG) and photoplethysmography (PPG) signals features for cuffless blood pressure prediction. The proposed method employs deep learning and signal processing algorithms to achieve this end. Future works will deal with improving the blood pressure prediction algorithm by increasing the number of data, the training set, and by testing different types of deep learning approaches specialized in bidirectional Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks. Finally, the methods used in the noninvasive blood pressure prediction we proposed, by integrating into wearable devices that are very popular in today's technology it can also be used to combat cardiovascular diseases and prevent their risky effects.

REFERENCES

- [1] Türk Kardiyoloji Derneği, “17 Mayıs Dünya Hipertansiyon Günü Basın Açıklaması,” 2018, [Online]. Available: <http://tkd.org.tr/hipertansiyon-calisma-grubu/duyuru/3446/17-mayis-dunya-hipertansiyon-gunu-basin-aciklamasi>. [Accessed: 20-May-2021].
- [2] Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K, Redon J, Zanchetti A, Böhm M, et al., “ESH/ESC guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC),” *Eur Heart J*, 2013; 34:2159–219.
- [3] Weber MA, Schiffrin EL, White WB, Mann S, Lindholm LH, Kenerson JG, et al. “Clinical practice guidelines for the management of hypertension in the community: a statement by the American Society of Hypertension and the International Society of Hypertension,” *J Clin Hypertens (Greenwich)* 2014; 16:14–26.
- [4] Medicalpark, “Kardiyoloji,” [Online]. Available: <http://www.medicalpark.com.tr/ekg/hg-2166>. [Accessed: 15-May-2021].
- [5] Wikipedia, “Sinus rhythm,” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Sinus_rhythm. [Accessed: 15-May-2021].
- [6] Karagöz Y., Prezi, “PPG (Photoplethysmography),” 2014, [Online]. Available: http://prezi.com/g0t7zd-z_415/ppg-photoplethysmography. [Accessed: 15-May-2021].
- [7] Chowdhury M.E.H., Khandakar A., Qiblawey Y., Reaz M. B. I., *Machine Learning in Wearable Biomedical Systems*, 2020.
- [8] Microsoft Azure, “Machine Learning,” [Online]. Available: <http://azure.microsoft.com/en-gb/overview/what-is-machine-learning-platform/>. [Accessed: 15-May-2021].
- [9] Malik S., Finextra, “Innovation Enigma for Banks,” 2016, [Online]. Available: <http://www.finextra.com/blogposting/16618/innovation-enigma-for-banks>. [Accessed: 15-May-2021].
- [10] Yılmaz A., Kaya U. *Derin Öğrenme*, 2021.
- [11] StackExchange, “Machine Learning vs Deep Learning,” [Online]. Available: <http://datascience.stackexchange.com/questions/16422/machine-learning-vs-deep-learning>. [Accessed: 15-May-2021].
- [12] A. Goldberger, L. Amaral, L. Glass, J. Hausdorff, P. Ivanov, R. Mark, J. Mietus, G. Moody, C. Peng and H. Stanley, “Physiobank, physiotoolkit, and physionet components of a new research resource for complex physiologic signals,” *Circulation*, vol. 101, no. 23, pp. 215–220, 2000.
- [13] Physionet, “The MIMIC II Waveform Database,” [Online]. Available: <http://archive.physionet.org/physiobank/database/mimic2wdb/>. [Accessed: 20-May-2021].
- [14] Kachuee M., Kiani M. M., Mohammadzade H., Shabany M., “Cuff-Less High-Accuracy Calibration-Free Blood Pressure Estimation Using Pulse Transit Time”, 2015.
- [15] Reddy P., Kaggle, “A Guide to choose best CNN architecture,” [Online]. Available: <http://www.kaggle.com/pavan1512/a-guide-to-choose-best-cnn-architecture>. [Accessed: 20-May-2021].
- [16] Yin L., Medium, “A Summary of Neural Network Layers,” 2018, [Online], Available: <http://medium.com/machine-learning-for-li/different-convolutional-layers-43dc146f4d0e> [Accessed: 21-May-2021].
- [17] Chakrabarty N., “A Novel Strategy for Gender Identification from Hand Dorsal Images using Computer Vision”, 2019.

- [18] SuperDataScience, “Convolutional Neural Networks (CNN): Step 3 – Flattening,” [Online]. Available: <https://www.superdatascience.com/blogs/convolutional-neural-networks-cnn-step-3-flattening>. [Accessed: 21-May-2021].
- [19] Ghosh A., Bose S., Maji G., Polytechnic A., Debnath N. C., “Stock Price Prediction Using LSTM on Indian Share Market,” 2019.
- [20] Lee C., Towards Data Science, “Understanding Bidirectional RNN in PyTorch,” 2017, [Online]. Available: <http://towardsdatascience.com/understanding-bidirectional-rnn-in-pytorch-5bd25a5dd66>. [Accessed: 22-May-2021].
- [21] Kachuee M., Kiani M. M., Mohammadzade H., Shabany M., “Cuff-Less High-Accuracy Calibration-Free Blood Pressure Estimation Using Pulse Transit Time”, 2015.
- [22] Thambiraj G., Gandhi U., Mangalanathan U., Jose V. J. J., Anand M., “Investigation on the effect of Womersley number, ECG and PPG features for cuff less blood pressure estimation using machine learning,” 2020.
- [23] Attarpour A., Mahnam A., Aminitabar A., Samani H., “Cuff-less continuous measurement of blood pressure using wrist and fingertip photo-plethysmograms: evaluation and feature analysis,” 2018.

Reduction of Losses due to Wear on Conveyor Support Roller

Koç Mehmet Tuğrul

kocmehmet.tugrul@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2111-4050

Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering,
26160 Odunpazarı/Eskişehir, Turkey

Abstract: In order to reduce wear and the economic losses caused by the wear of the running parts of the machines by contacting each other, cast iron (GG 20) support rollers and support rollers with polyurethane elastomer sheaths material were compared. The research was carried out on two 60 ton unloading mobile sugar beet unloading, cleaning and loading machine in Ankara Sugar Factory during 2017 and 2018 sugar production period. During 200 and 175 working days, the machines unloaded 243396 and 243554 tons of beets respectively. As a result of the study, average wear was found to be 210 g in cast iron and 47 g in material on polyurethane sheaths mounted rollers. No wear has been occurred on the cast iron material of the polyurethane sheaths mounted roller. When evaluated from the material point of view, less wear has been only occurred on the polyurethane material which is statistically significant and protects the main part. As a result of the research, it was determined that the reduction of the wear on the support rollers by only changing the polyurethane sheath could save a total of 418.68 Euros in maintenance costs of a machine. Different wear reduction methods are used to control wear in mechanical parts. The article briefly describes the wear reduction method, the effect and cause of wear, which is used or suggested in industrial machinery with a different approach. The method proposed in the study can develop a different low-cost approach to reduce wear. The method is also thought to be useful in reducing wear in co-operating parts such as mills and rolls.

Keywords: *Wear, cast iron, polyurethane elastomer, sugar beet unloading, cleaning and loading machine*

I. INTRODUCTION

IN general, it is called as material to the complementary apparatus or tools used to make a job. Nowadays, there is a wide range of materials, especially steel-based materials, which vary according to the place they are used. These different structures and materials that come together in a number make up a complex system to realize what is thought to be done. It is therefore very important that the materials are selected correctly according to the conditions and the work to be done. Otherwise, economic and environmental damage will occur and constitute occupational safety risks [1].

As materials are classified in many ways, in general, in terms of their suitability for production methods such as general usage characteristics, electrical conductivity and weldability, it is separated into two groups as metals and non-metal materials. In addition, materials are separated into four groups such as; metals, ceramics, plastics and composites when the materials are considered according to the interatomic bonding forces and other [2].

Elements such as iron, aluminum, zinc, chromium, copper, nickel, etc. enter the metal group. In this group, the materials are usually used as alloys by mixing two or more elements. Metals generally have properties such as electrical and thermal conductivity, strength, stiffness, formability, impact resistance. Ceramics are materials obtained by cooking materials such as clay and kaolin at high temperature. In general, glass, brick, porcelain and stones which are constituted from metal and non-metallic elements are inorganic compounds. Structures are stable, resistant to corrosion and high temperatures, hard, brittle, having heat and electrical insulations and high melting temperatures. Polymers are generally plastic and rubber materials. It is obtained by polymerizing organic molecules of agricultural and petroleum products. In general, they have properties such as heat and electrical insulation, low strength, corrosion resistance and lightness. Composites are multi-phase materials. They are compounds that have been well-characterized by bringing together materials that complement each other's weaknesses. The components are visible. Concrete, plywood, glass fiber and automotive tire are composite materials. The composite material is lightweight, durable, resistant to high temperatures, resistant to hard impact [2].

The materials have different properties in terms of composition, structure and working conditions, and depending on the conditions of use they sometimes show high performance, but cannot indicate the desired performance when the boundaries are forced or exceeded. Accordingly, all materials have limits which show good performance. Factors to be considered in material selection depending on the usage areas are strength, ductility, stability, manufacturability, availability, corrosion resistance, heat transfer properties and cost [3]. Whichever condition a material is chosen, the final factor in deciding is the economy. In other words, it is not possible for the system to be economically sustainable if the cost increase due to high material standards exceeds the expected benefit from production.

In recent years, polyurethane elastomers have been used successfully in an increasing variety of utilizations and applications due to their outstanding properties in a wide range. Polyurethane elastomers consist of short, alternating polydispersity blocks of soft and hard segments. Conventionally, polyurethane elastomers are produced by a "one step" process or a pre-polymer process. Although the one-step process is the fastest and easiest production technique, the pre-polymer method gives more control over the chemistry of the reaction, which affects the structure, mechanical properties and processability of the material [4].

Due to utilization and equipment's, the reduction takes place in the dimension of parts slowly and continuously as the change in shape and surface finishing is known as wear [5]. Wearing is a problem that cannot be prevented, but can be possible to reduce by the control of some factors, resulting in a study of the reason for this, which is a highlighted issue in the economics. Mechanism of wear are reviewed and categorized adhesive; occurs between the materials in two surface under relative load, abrasive; occurs between surfaces of different relative hardness, third body; occurs when hard particles become embedded in a soft surface, corrosive; occurs by corrosive environment and surface fatigue; occurs as result of the formation and growth of cracks [5]. Much of the wear on machine parts is attributed to inaccuracies in handling conditions, even if due to operational errors [6]. Although heat treatment, surface hardening and metallic coating have shown positive results in studies on reduction of wear, the increase in labor

and production costs continues to search for new methods [3]. There are very hard coatings to reduce the wear of steel surfaces and can even make the systems work even under adverse lubrication conditions. However, hard coatings usually result in a higher coefficient of friction due to the higher interface shear strength [7]. As a new solution of boron, it is still working to apply iron-based and non-ferrous alloys as a diffusion-based thermo-chemical surface hardening process [8].

On the other hand, noise is generated in all production activities in general from the primary process to the final section in industrial activities. In parallel to the industrial development, noise pollution caused by the working parts of the machines is a big problem and has harmful effects for the safety and health of working people. In preventing or reducing noise, priority should be given to creating a solution at the source of noise [9].

In this research, it is aimed to protect the abrasion surfaces by mounting polyurethane sheathing in order to reduce the erosion in conveyor support wheels on mobile beet unloading, cleaning and loading machines which are widely used in beet purchasing areas in sugar factories and to provide reuse of worn wheels as a result of work.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Trial place and evaluation method

Trial is made on two 60 tones discharge capacity of machine which production number are 240 and 251 located in Turkey Sugar Factories Corp., Ankara Sugar Factory during the sugar production periods of 2016-2017 and 2017-2018. The operating conditions and the amount of unloading beet of the machines are given in Table 1. The theoretical unloading capacity of the machine is 200 t h^{-1} (Table 1). The working times and thus the unloading quantities vary due to the application program, the discharge time of the flotation channel to be emptied, the breakdowns due to the machine or the failure of the plant.

Table 1. Working conditions of mobile beet unloading, cleaning and loading machines

Year of production	Production no	2016-2017		2017-2018	
		Operation time (day)	Discharging beet (t)	Operation time (day)	Discharging beet (t)
2011	240	136	149234	64	94162
2014	251	56	103611	119	139943

The support rollers used in the research were first weighed with a precision scale with a precision of 100% and mounted on the machine. The support rollers worked during two production periods and were reweighed after the production was completed. The amounts of wear on two different support rolls were determined and the difference was assessed by the t-test method.

B. Mobile sugar beet unloading, cleaning and loading machine

It is a self-propelled machine that empties the beet-loaded vehicles that come to the lifting platform, separates and cleanses the beet from the soil and makes it to silo or to load it by any

Table 2. Technical specifications of TES-1350 modal sound level meter

Indicator	: 3 1/2 digital LCD screen
Application standard	: IEC 651, Type: 2
Measurement range	- A LO (Low: 35 - 100 dB) - A HI (High: 65 - 130 dB) - C LO (Low: 35 - 100 dB) - C HI (High: 65 - 130 dB)
Resolution	: 0.1 dB
Device frequency range	: 30 Hz - 12 KHz
Accuracy	: ± 2 dB at 94 dB sound level
Frequency system	: A and C
Time system	: Slow and fast
Dimensions, Weight	: 240 (length) \times 68 (width) \times 25 (height), 215 g



C. Characterization of materials

1. Gray cast iron GG 20 support roller

There are a total of 60 gray cast iron (GG 20) support rollers on the machine that the survey is made which 24 pieces are in the bunker (2) section and 36 in the inclined conveyor (4). Technical specifications of the GG 20 material are given in Table 3 and the view of the support roller (1) on the inclined conveyor in Figs. 2 and 3a.

The weight of the cast iron support rollers taken into the experiment is 1743.31 ± 11.09 g. The support rollers are mainly bearing the chains which moving to the conveyor belt and therefore the wear is mostly on the contact surface with the chain. The inclined conveyor with a length of 10 m takes approximately 3.6 t beet in case of fully loaded. In addition, when the conveyor belt and the chain weights are added, 36 support pulleys carry about 8.4 t load and 230 kg load is carried by one support roller [4].

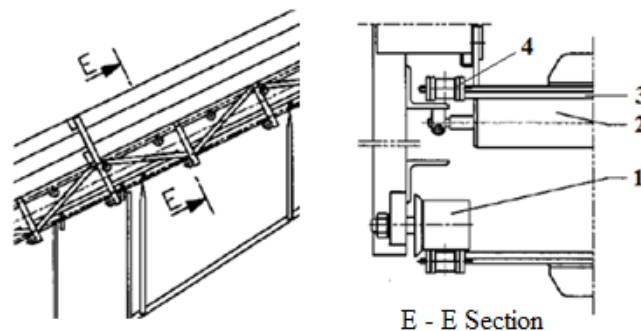


Fig. 2. View of the support roller on the sloping conveyor. (1. Support roller, 2. Belt roller, 3. Conveyor belt, 4. Chain)

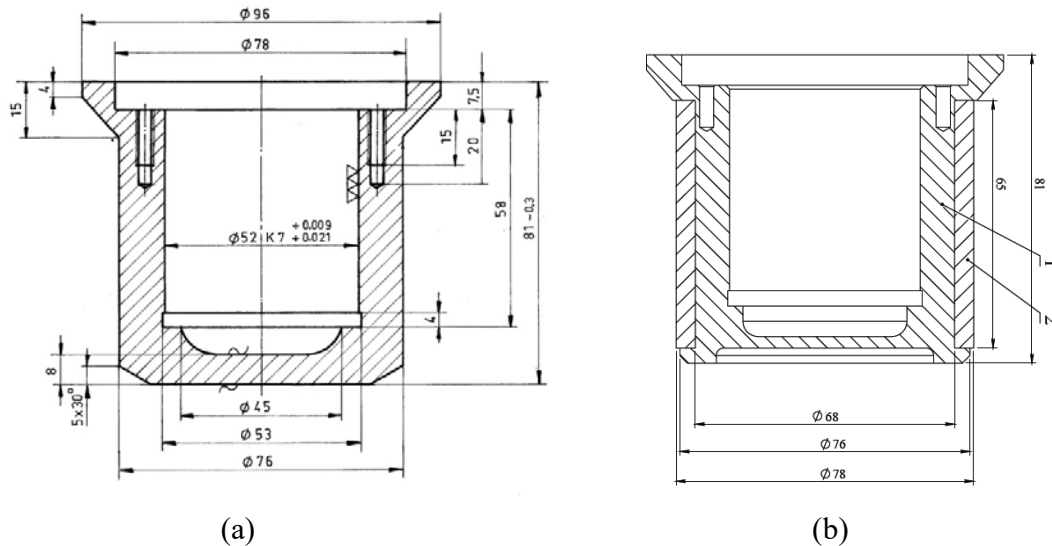


Fig. 3. Technical detail of support roller socket. (a. Gray cast iron GG 20 support roller, b. Support roller with polyurethane sheath)

Table 3. Technical specifications of gray cast iron GG 20

Specifications	Unit	
Type of material (DIN 1691)		GG-20
Material number (DIN 17007)		0.6020
Micro structure		perlitic + ferritic
Tensile strength	N mm ⁻²	200 - 300
Bend-twist-resistance	N mm ⁻²	360
Compression strength	N mm ⁻²	600-830
Modulus of elasticity	kN mm ⁻²	90-115
	C	3.20-3.40
	Si	2.10-2.30
Chemical composition	% Mn	0.50-0.80
	S	0.12 Max.
	P	0.40 Max.

2. Support roller with polyurethane sheath

The technical detail of the polyurethane sheathing support roller is shown in Fig. 3b. The polyurethane sheath is a 10 mm thick hot-cast polyurethane elastomer (Fig. 4). The chemical properties of the material are given in Table 4. The surface on which the material is to be mounted is spun to the technical drawing scale. The polyurethane material was supplied from the market as shown in Fig. 4, keeps waited in hot water for a few minutes and softened, then mounted on the cast iron support roller. The weight of the polyurethane elastomer coated support wheels taken in the experiment is 1627.88 ± 7.84 g.

Table 4. Chemical properties of hot-cast polyurethane elastomer material

Specifications	Norm	Unit	HCPE*
Hardness (20°C)	DIN 53505	Shore A	90

Hardness (-5°C)	DIN 53505	Shore A	95
Hardness (+80°C)	DIN 53505	Shore A	87
Breaking Strength	DIN 53504	MPa	50
Module % 10	DIN 53504	MPa	3.4
Module % 100	DIN 53504	MPa	6
Module % 200	DIN 53504	MPa	8.1
Module % 300	DIN 53504	MPa	12.1
Elongation at break moment	DIN 53504	MPa	510
Tear Strength (unnotched)	DIN 53515	KN m ⁻¹	114
Tear Strength (notched)	DIN 53515	KN m ⁻¹	50
Elasticity	DIN 53512	%	29
Loss of wear	DIN 53516	mm ²	36
Compression ratio	DIN 53517	%	25
Specific weight	DIN 53505	kg dm ⁻³	1.26

* HCPE: Hot-Cast Polyurethane Elastomer



Fig. 4. Hot-cast polyurethane elastomer sheath

In this study, a total of 72 support rollers, 36 gray cast iron and 36 polyurethane sheathing support rollers, were mounted on two machines as one with a cast iron and one with a polyurethane sheath (Fig. 5).



Fig. 5. Mounted support roller, Bottom: polyurethane sheath, Top: Gray cast iron GG 20

III. RESULT AND DISCUSSION

According to the results obtained from the research, the maximum wear occurred in the cast iron support rollers with an average of 210.97 g (Table 5). The average amount of wear in the polyurethane sheathing support was found to be 47.02 g. The largest and smallest wear values on the cast iron support rollers were measured as 311.87, 122.49 g respectively and 57.42, 34.15 g on the polyurethane casings mounted support rollers. This abrasion occurred on a 98% polyurethane sheath (Fig. 6). The difference between the amounts of wear between two materials was found statistically significant ($P < 0.01$).

Overall, cast iron support rollers were found to wear 12.1% of their average bearing hub weight. When the wear amounts are proportioned to the total amount of unloaded beets by the machines; $8.67 \times 10^{-4} \text{ g t}^{-1}$ abrasion wear has occurred. In the case of a polyurethane sheathing support, the ratio of wear to total bearing hub weight was determined to be 2.89% and the weight to polyurethane sheath 49.06%. This amount is equal to $1.93 \times 10^{-4} \text{ g t}^{-1}$ abrasion wear according to the total amount of unloaded beets.

Table 5. The amount of wear determined on the support rollers as a result of two years of work

Specifications	Cast iron wear (g)	Polyurethane wear (g)
Maximum	311.87	57.42
Minimum	122.49	34.15
Average	210.97 ± 13.43	47.02 ± 1.65
t**	12.44692028	
t (0.01)	2.7316	
t (0.05)	2.0336	

** $P < 0.01$



Fig. 6. Unworn and worn gray cast and polyurethane sheath support roller bearing hubs

Sound level measurements made in the working condition; 87dB average noise level was determined for cast iron support rollers, 82dB for polyurethane sheath mounted support rollers.

IV. CONCLUSIONS

This research was carried out in order to reduce the wear and tear of the machines and especially the economic losses due to the working parts which are in contact with each other. For this purpose, currently used cast iron (GG 20) support rollers used on mobile sugar beet unloading, cleaning and loading machines were compared with hot cast polyurethane elastomer sheath covered on cast iron support rollers. In the years of 2017 and 2018, when the research was made, the first machine operated for a total of 200 days and unloaded 243396 tons, while the second machine unloaded 243554 tons of beets for 175 working days. As a result of the study, average wear of 210 g was found in the gray cast roller and 47 g in the polyurethane coated roller. No wear has been found on the cast iron material of the polyurethane coated roller. When evaluated only from the material viewpoint, it is statistically significant less wear occurred on the polyurethane material and protected of the main body. In case of some properties of materials are evaluated, it is clearly seen that the most suitable material is polyurethane elastomers (Table 6) [1].

Table 6. Materials and properties that can be used in support roller production

Specification/Material	Ceramic (AL ₂ O ₃)	Gray Cast (GG)	HCPE*
Strength (MPa)	3000 (10p)	200 (2p)	600 (4p)
Formability	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)
Loss coefficient	10 ⁻⁵ (1p)	10 ⁻² (8p)	10 ⁻¹ (10p)
Price/unit volume (Mg m ⁻³)	150 (3p)	5 (9p)	1 (10p)
Total score	24p	29p	34p

*Hot cast polyurethane elastomer

It is possible to increase abrasion resistance by using use nodular cast iron (GGG) or steel casting (GS) materials instead of gray cast iron (GG) materials in production of support rollers and also by surface hardening [3, 11, 12]. However, in addition to the cost increase in such production, as in this case increasing the hardness of a part in double-working parts, increases the wear of the other part. This means, it is more accurate approach the parts which production is simpler, more cost-effective and easier to replace weaker than others. From this point of view, the wear of the conveyor chain that working the support roller cooperates with will lead to greater loss. When the materials used in the research are compared in terms of manufacturing cost; the cast iron support roller is procured 14.04 Euro, the polyurethane coated roller is 2.41 Euro from the manufacturer [13]. The cast iron support rollers on the machine are replaced every two years because of the abrasion wear. In this case; the cost of 36 support wheels is about 505.44 Euro. If the polyurethane support rollers are considered to have only sheath changes after two years, the cost is 86.76 Euro and 418.68 Euro will be saved in each machine during every maintenance period. On the other hand, the cast materials will be prevented from being discarded because of the wear and it will have been gained both the business basis and the national basis. When two materials are evaluated in terms of working conditions; polyurethane material on surface of support rollers is determined that reduce the sound level by around 5 dB (A) insulating between the two mechanical parts in the sound level measurements. This is an important value that enhances comfort both for the personnel working around the machine and for the

environment [9].

In conclusion; it is advisable to use polyurethane or equivalent sheathing materials in order to reduce the wear and tear on machine parts with high wear rates such as co-operating rollers, pivots and shafts and to prolong maintenance and replacement times. The assembled materials will also be useful in reducing wear on parts and also preventing noise which reduces the comfort of the working environment.

REFERENCES

- [1]. F. Fındık, An Overview of material selection. *Mühendis ve Makine*. 591 (50): 26-27, 2009.
- [2]. A. Aran, 2008. Material information. ITU Faculty of Engineering Lecture Notes. <http://web.itu.edu.tr/~arana/mal201.pdf>, (accessed 10 May 2021).
- [3]. B. Aktaş, 2017. Material Selection in Mechanical Engineering. <http://docplayer.biz.tr/18200735-Makine-muhendisliginde-malzeme-secimi-doc-dr-bulent-aktas.html>. (accessed 10 May 2021).
- [4]. X.D. Chen, N.Q. Zhou, H. Zhang, Preparation and properties of cast polyurethane elastomers with molecularly uniform hard segments based on 2,4-toluene diisocyanate and 3,5-dimethyl-thioltoluenediamine. *J. Biomedical Science and Engineering*, 2 (2009) 245-253.
- [5]. V.K. Dodiya, J.P.A. Parmar, study of various wear mechanism and its reduction method. *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Volume 2, Issue 09, February 2016.
- [6]. F. Metinoğlu, B. Çakmak, Y. Balcı, M.E. Ulusoy, Effects of Work Parts Wearing of Tillage Equipment and Tools on Fuel, Power and Time Requirement. *Journal of Agricultural Sciences*, 2 (2): 173-179, 2006.
- [7]. S. Yazawa, I. Minami, B. Prakash, 2014. Reducing Friction and Wear of tribological systems through hybrid tribofilm consisting of coating and lubricants. *Lubricants*. 2014(2): 90-112, doi:10.3390/lubricants2020090.
- [8]. G. Toktaş, A. Toktaş, K. Gülsün, Effect of matrix structure and boriding time on the wear behaviour of Cu-Ni-Mo alloyed ductile iron. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 32 (2): 449-457, 2017.
- [9]. M.J. Owoyemi, B.C. Falemara, A.J. Owoyemi. Noise Pollution and Control in Mechanical Processing Wood Industries. *Biomedical Statistics and Informatics*. 2 (2): 54-60, 2017, doi: 10.11648/j.bsi.20170202.13.
- [10]. SPBM, User's guide for mobile sugar beet, unloading, cleaning and loading machine. Turkish Sugar Factories Corp., Eskişehir Machinery Factory, 2017.
- [11]. A. Oğur, C. Gürses, The solution for the roller press, roller mill and scrappers abrasion problems with welding methods in cement factories. *SAU J. Sci.* 18 (1): 39-47, 2014.
- [12]. T.P. Singh, J. Singh, K. Singh, Enhancing the abrasive wear resistance of rotary blade material (AISI 30MnCrB4) by Cryogenic Treatment. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 77 (2018) 92-97.
- [13]. TŞFAŞ, Turkish Sugar Factories Corp., Procurement tender of precision sowing and mobile beet unloading, cleaning and loading machine spare parts, 2017.

Sustainable Development in Palestine: Aqqaba Green School Case Study

Abdulhamid Z. Mimi^{*,1}, Nizar A. Assi¹

*: e-mail address: azmimi@birzeit.edu; phone number: 00972599888013

¹: Department of Civil and Environmental Engineering, Birzeit University, Ramallah, Palestine

Abstract: Sustainable development and green buildings are considered as major priorities for all communities to reduce the diseases caused by global warming, climate change and greenhouse gases. Environmental and resource management strategies were developed to overcome these issues. This work aims to investigate the extent to which the principle of sustainability and green buildings is applied in Palestine, and to study a case for a green school and compare it with a conventional (non-green) school. A comprehensive literature review was accomplished to assess the extent up to which green buildings are constructed in Palestine. A questionnaire was conducted for students and teachers in an Aqqaba green school, which is the first green school in Palestine, to investigate the degree of satisfaction for being in this green school, and to assess the improvement in students' performance as well. The same questionnaire was also made for a conventional school which is similar to Aqqaba green school and is located within the same environment. The results obtained showed a major improvement in students' performance and occupants' satisfaction within the green school. This high degree of satisfaction is attributed to the thermal comfort, high quality of air, acoustics, and visual comforts within Aqqaba green school. In addition, the green school reduces energy and water consumption by installing solar panels, harvesting rainwater and reuse greywater. This work concludes that there are great benefits of green schools in terms of occupants' comfort and their performance, and the principle of green buildings and sustainability is growing up in Palestine due to the limited control over energy and water resources. This growth is attributed to the availability of solar radiation, wind and rainwater, the interest of international donors for sustainable development in Palestine.

Keywords—Sustainability; Green Schools; Indoor Environmental Quality; Aqqaba School; Occupants Comfort; Satisfaction

I. INTRODUCTION

SINCE communities and cities are influenced by global warming, climate change, and greenhouse gases, which could cause many diseases. Sustainability and green buildings came as a result of these issues, and to develop approaches or strategies such as environmental and resources management. They have become one of the major priorities for nations around the world to effectively reduce global warming and greenhouse gasses, and improving health [1].

The term green building can be defined as “healthy facilities designed and built in a resource-efficient manner, using ecologically-based principles”. [2] Sustainability development means “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”. [3] Furthermore, it enhances the health and well-being of

people. Also [4] defines sustainable building as a building that protects the aspects and characteristics of the environment during the life cycle.

The construction industry is a major consumer of resources during the life cycle of construction and operations. Also, it is a potential contributor to climate change [5]. Sustainable development focuses as well on changing the building delivery systems to complete the vision of sustainability. The change will be in the resources (energy, water, land, materials, and ecosystems) needed to create the buildings and operate the built environment. Also, making a positive impact on the environment and public health by improving indoor health and air quality [6], which increases occupant productivity and comfort. Comfort is defined as a physical condition, a feeling of satisfaction, or a sense of well-being [7]. Also, comfort in buildings can be expressed as thermal comfort, air quality, acoustics, and visual comfort [8].

In recent years, evaluation of building performance objectives such as optimizing energy and resource efficiency has become a major concern for green buildings [8]. However, according to [9], the health, comfort, and well-being of buildings' occupants should be one of the main objectives that need to be evaluated as well.

In Palestine, the concept of implementing sustainable development is grown as a result of the deteriorating energy and lack of freshwater due to the limited control over energy and water resources. As well, Palestine has many strengths and opportunities that push for sustainability and green buildings such as: (1) the availability of solar radiation, wind and rainwater; (2) special interest of international donors to implement sustainable development in Palestine; (3) Sustainability concern in Palestinian Universities and researchers [10].

According to [11] schools have been evaluated in terms of thermal comfort and energy performance in two different climatic zones. The results indicated that schools in Palestine are far from energy efficiency and thermal comfort, and energy needs improvement to reach the lowest level of energy consumption [11]. Therefore, the Ministry of education put significant efforts to improve school buildings and their conformity by applying some aspects of green buildings within the limited financial possibilities [12]. This improvement will have an important effect on the economic and social development of Palestine because schools are where students are learning and have the chance to be aware of sustainability and the environment [11].

Aqqaba School is the first green school in Palestine, and it has received a golden classification (Golden category buildings, which are the buildings that score points between 140 and 159 points) from the Palestine Higher Green Building Council (PHGBC), which has developed an assessment system in Palestine similar to Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) in the United States, which is one of the most effective rating tools in the world. In 2013, The Palestinian green buildings guidelines have been issued by the Palestinian Engineers Association with the Supreme Council of the Palestinian Green Buildings [13]. These guidelines were developed to solve the issues of limited energy and water resources and the high operational cost of building in Palestine [13].

As the first certified green school in Palestine, it is imperative to measure the comfort of school occupants to see how green schools have a positive impact on health and well-being in comparison to conventional schools. In terms of energy and water consumption, this school has reduced the

consumption of these resources by implementing solar panels and harvesting rainwater and reuse greywater [13]. The annual energy consumption of Aqqaba Schools is 10,124 kWh/year while the baseline of the annual energy consumption of schools according to Building Energy Index (BEI) is 10,639 kWh/year, and that yield to an annual income of 700\$ /year [13].

Improving indoor environmental quality is one of the major concerns of green buildings, the purpose of this paper is to highlight the benefits of green building schools, in terms of behavioral, and comfort of green school occupants in comparison with a non-green school in Palestine. It will address important issues that affect students and teachers such as classroom acoustics, noise, air quality, lighting, temperature, and comfort. Based on a recent post-occupancy (students and teachers) evaluation in Aqqaba- green school and conventional school. Results show that Aqqaba-school is a good environment for learning and one of the best practices in terms of comfort, health and productivity. Furthermore, this paper will discuss and review the status of green buildings and sustainable development in Palestine.

II. GREEN BUILDINGS IN PALESTINE

Generally, Palestine is classified in the Mediterranean climate. The summer season long and dry, and the winter season is very cold. The design of green buildings could be a challenge due to its geographical distribution that caused many climatic zones which means different conditions, temperatures, and demographics. Also, Palestine is prohibited from exploiting its natural energy and water resources.

Palestine Higher Green Building Council (PHGBC) provides solutions to overcome diverse climatic zones issues and guidelines to promote green buildings in Palestine. It is the first Palestinian rating system that defines green buildings as the buildings that consider the local environment and provide the balance between the environment and the occupants.

Sustainable development combined with the exploitation of renewable energy especially solar energy is the only way out of the current situation. The review indicated that a limited number of green projects have been constructed in Palestine, although it is one of the countries in urgent need of sustainability and green buildings. The limited control on energy and water resources, the availability of solar radiation, wind, and rainwater, and international donors supporting sustainable development encourage the idea of sustainability and green buildings in Palestine.

A thorough survey of green buildings and projects in Palestine was conducted and summarized as follow:

- 1) The Palestinian Museum [14]: is the first green building constructed in Palestine following the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) gold rating system, and inaugurated in 2014. This building aims to create a green environment for its occupants and visitors including the proper heat within summer and winter, saving energy, and rationalization in water consumption. Therefore, rainwater is being harvested to meet the building needs of freshwater, wastewater is treated and used to irrigate crops to form green areas, and solar cells are installed to generate energy.
- 2) The A. M. Qattan Foundation Building [15]: is a multi-purpose cultural and educational building constructed in Ramallah city with a total area of 7,730 square meters. This building is the first building registered with the Palestine Higher Green Building Council (PHGBC). Many facilities are currently available within the building including the main

hall, gallery, theater, studios, experimental classroom, residence, restaurant, outdoors, and courtyards.

- 3) Shtayya Green Building [16]: is the first green residential building in Palestine, its idea was initiated in 2016. LEED forms and regulations have been followed and applied in the design and construction of this project including natural ventilation, insulation, building orientation, natural lighting, rainwater harvesting.
- 4) Aqqaba Green School [17]: is the first green school in Palestine and is rated as Gold by the PHGBC. This green school is a state school, serving 200-female students, located in the village of Aqqaba in Tubas governorate. It has been inaugurated in August 2016 with a total area of 1408 square meters. Aqqaba Green School consist of seven classrooms, a library, science and computer labs, three wells, green areas, greywater recycling, and playgrounds.
- 5) Several attempts by the Ministry of Education in Palestine to enhance school buildings by constructing schools following the specifications and requirements of sustainability and green schools [18]. In addition, the Palestinian Energy & Natural Resources Authority encourages the use of solar cells to generate electricity in industrial and residential buildings [19].

III. INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY (IEQ)

Sustainable development focuses on major areas including sustainable sites, water efficiency, energy and atmosphere, material and resources, indoor environmental quality, innovation, and regional priority. Through these areas there are policies and procedures to improve the quality of buildings and their impact on the environment, also reduce the operation costs, promote building, increase occupant productivity, and enhance public health.

Providing outstanding indoor environmental quality (IEQ) is one of the key goals in green and high-performance buildings that improve the health and quality of life of the people using or living in buildings for example workers in offices, the workforce in factories, and students and teachers in schools. Furthermore, the rating systems such as LEED and Green Globes give much emphasis on IEQ. IEQ focus on indoor air quality and other aspects such as potable water; thermal comfort; noise control; lighting quality; exterior views and daylighting; acoustics. These aspects are considered in the building elements that affecting the IEQ which are the operation and maintenance, occupants' activities, building contents, and building envelope [2].

The issues of a bad indoor environmental quality as sounds and noise transmission in buildings and poor lighting quality, can cause discomfort, headaches, productivity decreasing, and health problems [2]. According to the Whole Building Design Guides [20] these issues can be solved by an excellent IEQ which can be obtained by 1) considering the quality of the IEQ through design, construction, operation, and maintenance. 2) Considering the views and daylighting in the design. 3) Providing thermal comfort and excellent water. 4) Supplying sufficient levels of ventilation. 5) Using materials that are sound absorbing and low-emitting. 6) Preventing airborne bacteria and mold through building envelope design and HVAC system design.

As a result, excellent IEQ has many benefits to human health and performance because it is directly attributed to the human. Besides this, there will be actual energy and cost savings. According to Greg Kats [21] "20-year life health and productivity savings of \$36.89 per square

foot for LEED-certified silver buildings and \$55.33 per square foot for LEED-certified gold and platinum buildings” [2].

Schools, in particular, should focus on IEQ because students spend most of their time in schools and they should be in an excellent and healthy environment for learning. A study in Orange Country, California, by the Heschong Mahone Group, shows dramatic improvements in test scores and learnings process in the classrooms with daylighting. Also, this study states that the test scores for the students in Seattle, Washington, and Colorado improved 7 to 18 percent [22].

IV. CASE STUDY: AQQABA GREEN SCHOOL

Aqqaba green school is a state school and the first green school in Palestine as classified by the Palestinian Higher Green Building Council [23]. It is located in Aqqaba village in Tubas governorate and has been inaugurated in August 2016. The region where Aqqaba School was constructed is hot and dry during summer and mild in the winter with an average temperature of 18°C. The green school was established to serve 200-female students and constructed over a plot area of 1408 m². It has seven classrooms, library, science and computer labs, three wells, green areas, greywater recycling, and playgrounds. Fig. 1 shows the plan of the first floor of Aqqaba green school with two exterior views.

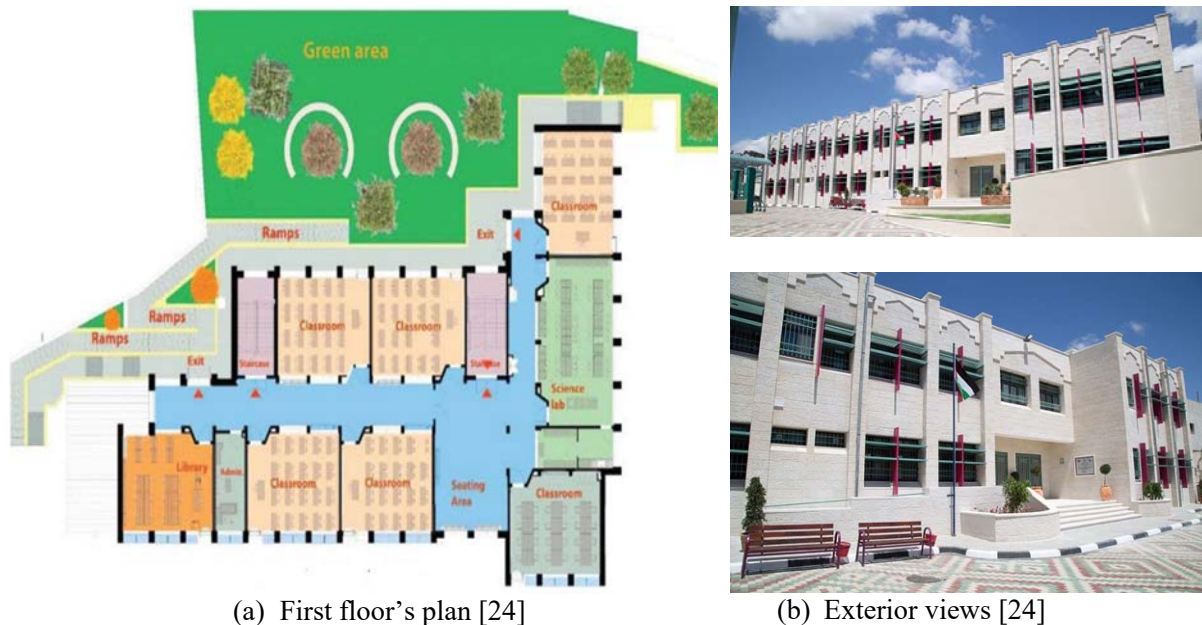


Fig. 1. Aqqaba green school: (a) First floor's plan; (b) Exterior views

Aqqaba School was designed and constructed considering green building standards, including saving in construction costs, minimizing pollution, enough ventilation, good lighting, adequate shade, and recycling of materials. These standards have been considered to enhance the IEQ which improves the health, performance, and quality of life of the students and teachers in this school. It was built on a construction site containing agricultural soil and rocks, where agricultural soil

shown in Fig. 2 was preserved for the green areas in the school, while the rocks were crushed and utilized in the sports field.



Fig. 2. Agricultural soil in the construction site

The design of the school, done by design builder software, considered the proper windows-to-wall ratio to achieve the best possible natural lighting inside the school. The green grilles and the red walls, shown in Fig. 3, were used to prevent the sunlight from entering the school during summer and allowing it during winter. This improves the temperature inside the school and minimizes the use of the air conditioning system.

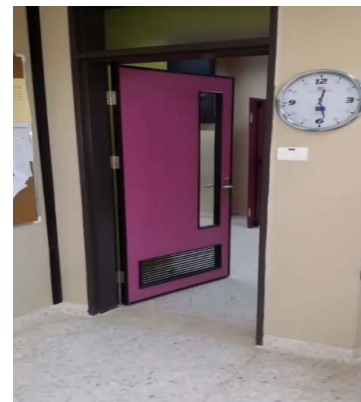
A simple ventilation system utilizing air exhaust is used to provide good quality air to the classrooms, as shown in Fig. 4 (a). An air stream passes from the classrooms to the corridors through a grille within the door, shown in Fig. 4 (b), and then to the core of the school's building, this circulates the air within the school. The quality of the air was inspected within the classrooms when students are inside the classrooms, the evaluation results indicated that the quality of air is very high.



Fig. 3. Shading system on windows



(a) Air exhaust



(b) Grille within the door

Fig. 4. Air exhaust and grille within the door

The design-builder software was capable of determining the amount of thermal insulation and thermal mass required to maintain the thermal stability within the school. Six-centimeter-thick thermal insulation was used for the exterior walls as the thermal mass is the hollow blocks as

shown in Fig. 5 (a), while the slab was insulated from the bottom using eight-centimeter-thick thermal insulation and from the top using foam as illustrated by Fig. 5 (b).



(a) Insulation of exterior walls

(b) Bottom and top insulation of the slab

Fig. 5. Insulation used for (a) exterior walls and (b) slab

Noise panels, shown in Fig. 6, were designed and installed within the staircase to absorb noise and then reducing the noise effects inside the school. These panels showed a good performance in absorbing noise.

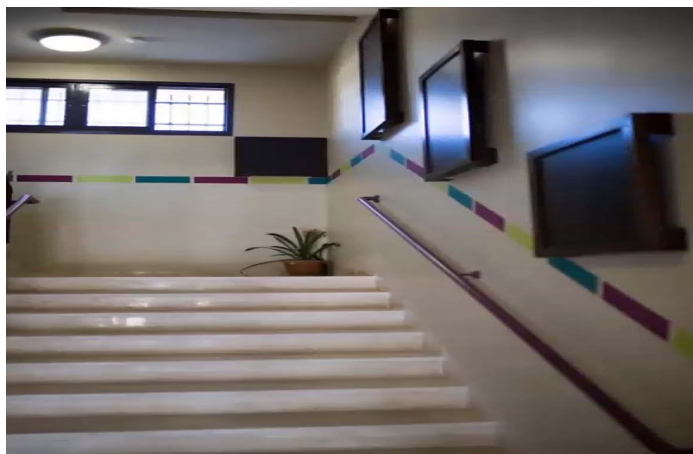


Fig. 6. Noise panels installed within the staircase

Exterior fields were paved utilizing white materials such as white stone and light blocks, as shown in Fig.7, to maintain site sustainability. Three bins were used to separate the waste into organic, plastic, and paper as shown in Fig. 8. This helps in recycling the waste materials and prevent pollution.



Fig.7. Paving the exterior fields using white stones and light blocks



Fig. 8. Waste bins

Solar cells were used to generate electricity to fulfill the need of the school as shown in Fig. 9. These cells can produce 190% of the power needed for the school, as the surplus amount is sold for the benefit of the electricity company. Water taps with sensors were utilized to rationalize the water consumption within the school, and they succeed in saving around 50% of water compared with a conventional school.



Fig. 9. Solar cells of Aqqaba green school

This study is intended to evaluate the students' performance and their satisfaction of being in Aqqaba green school after the aspects and strategies that have been considered that have major impacts on the IEQ and compare it with a conventional (non-green) school within a similar environment. Therefore, a questionnaire including sixteen questions was made for the occupants in both schools. The questionnaire covering many principal aspects including thermal comfort, quality of air, acoustics, and visual comforts. The questions included in the questionnaire are shown in Fig. 10 along with the degree of satisfaction of occupants in both schools. The results showed very high satisfaction in the green school compared to the conventional school.

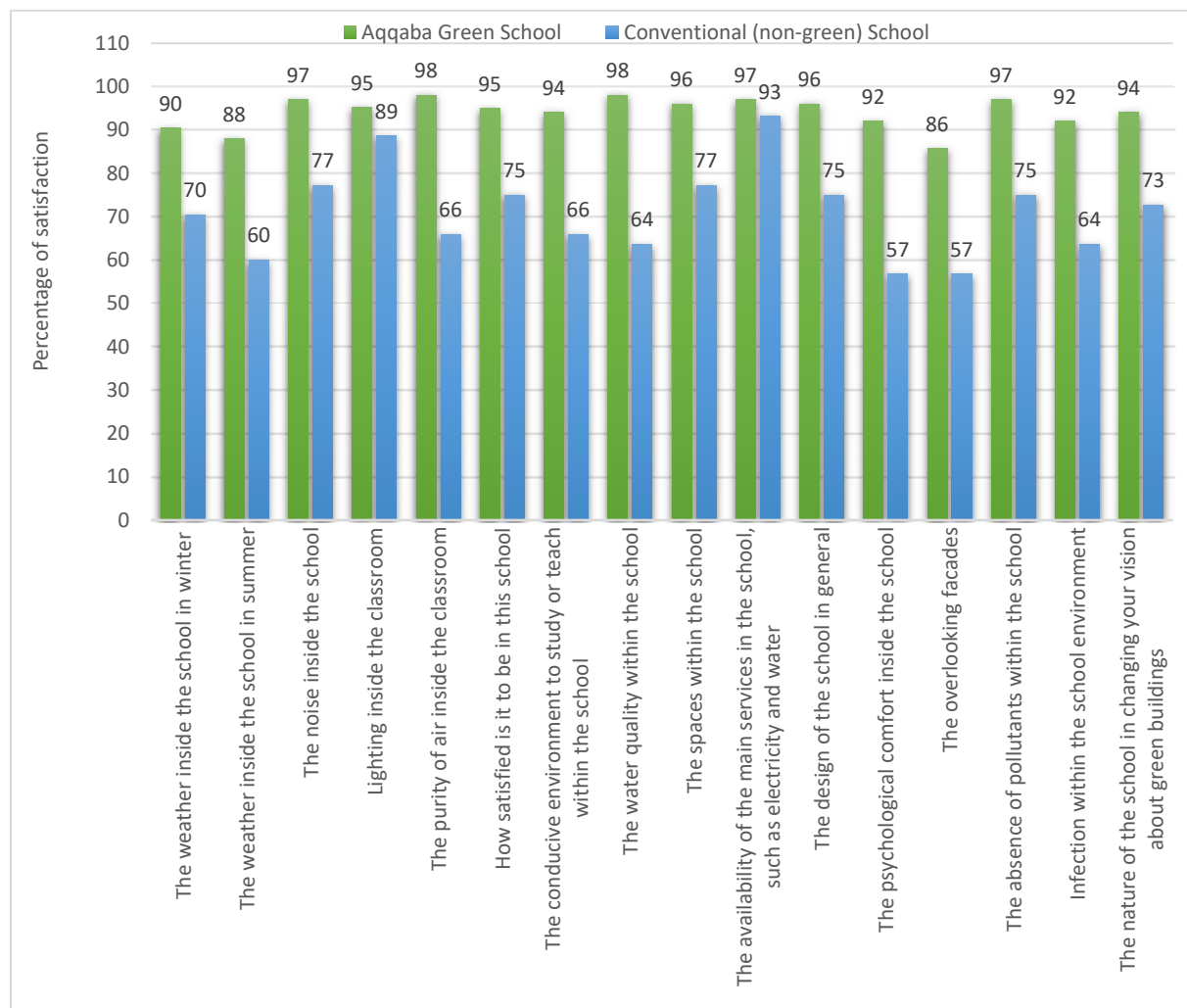


Fig. 10. The questionnaire's questions and degree of satisfaction and dissatisfaction.

The performance of students at Aqqaba green school was evaluated in terms of success rate and compared to the state schools in Tubas Governorate, as shown in Fig. 11. Aqqaba green school showed a higher success rate than that of the conventional schools in Tubas governorate. In addition, a female student ranked first for the literary branch, and another student ranked second for the scientific branch at the national level in 2018. This significant enhancement in students'

performance is attributed to the satisfaction of students with the green environment within their school.

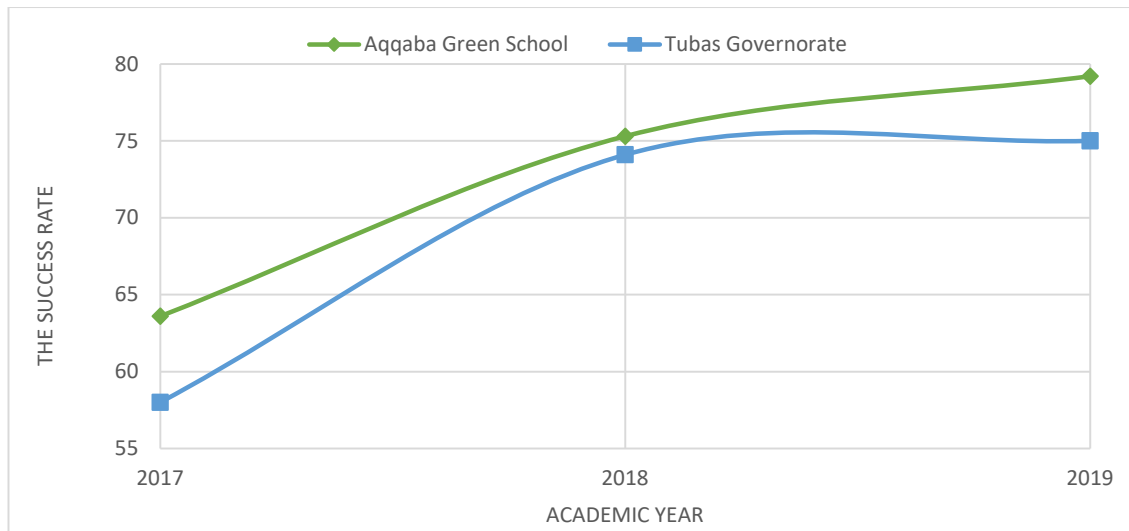


Fig. 11. Students' success rate at Aqqaba green school and Tubas schools.

V. CONCLUSION

This paper is one of the fewest researches that concerned about occupants' comfort and performance in green schools. In addition, it discussed the sustainable green buildings in Palestine, and shaded the importance of a good indoor environmental quality. A comprehensive literature review was made and a questionnaire was conducted for the occupants in green and conventional schools. Followings can be concluded:

- The main aspects of thermal comfort, high quality of air, acoustics, and visual comforts are the major attribute for the proper learning environment.
- The idea of sustainable green buildings in Palestine started growing up and needs encouragement or incentives.
- It is recommended that the Ministry of Education in Palestine should enhance school buildings by applying the principles of Aqqaba School when constructing new schools, and should improve the existing schools to obtain a better learning environment.

REFERENCES

- [1] Kubba S. Handbook of green building design and construction, Sam Kubba, 2012. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123851284/handbook-of-green-building-design-and-construction#book-info>
- [2] Kibert, C.J., 2016. *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- [3] Imperatives, S., 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future. Accessed Feb, 10.
- [4] Dwaikat, L.N. and Ali, K.N., 2016. Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings*, 110, pp.396-403.
- [5] Bashmakov, I., Bernstein, L., Bogner, J.E., Bosch, P., Dave, R., Davidson, O., Fisher, B., Gupta, S., Halsnaes, K., Heij, B. and Ribeiro, S.K., 2007. Technical summary. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, p.70.
- [6] Laustsen, J., 2008. Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. IEA Information Paper.
- [7] Chappells, H. and Shove, E., 2004. Comfort: A review of philosophies and paradigms. *Lancaster University: Centre for Science Studies*.
- [8] Brown, Z.B., 2009. *Occupant comfort and engagement in green buildings: Examining the effects of knowledge, feedback and workplace culture* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- [9] Weiss, J.C., 2004. DESIGNING FOR HUMANS-A new kind of sustainability puts people first. *Architecture-American Institute of Architects*, 93(4), pp.39-42.
- [10] Badawy, U.I., Alastal, A.I., Jawabrah, M.Q. and Salha, R.A., 2021. Adoption of, the Palestine Green Building Design Approach, with the Help of Checklist Tools. *Journal of Environmental Protection*, 12(1), pp.49-74.
- [11] HUSSEIN, M.H., BARLET, A. and MUTASIM BABA, C.A.T.H.E.R.I.N.E., Evaluation for Environmental Comfort Performance in the Palestinian Schools.
- [12] Saadeh, B.A., 2014. *An Evaluation Study of the Green Governmental Schools in the West Bank* (Doctoral dissertation).
- [13] الحضيبي and 2018, حاتم غالب حسن. *Assessing the Actual Performance of Green Buildings in Palestine: A Case Study* (Doctoral dissertation, An-Najah National University).
- [14] Palestinian Museum, Ramallah, Palestine <https://palmuseum.wordpress.com/tag/leed/>
- [15] The A. M. Qattan Foundation, Ramallah, Palestine <http://qattanfoundation.org/en/qattan/about/building>
- [16] SHTAYYA Green building, Nablus, Palestine, URL: <https://www.dropbox.com/s/erzq94hswxesbyu/Synopsis%20-%20SHTAYYA%20Building.pdf?dl=0&fbclid=IwAR2GFqGjJ3UfkaATrTcsFKOTn8UP2hXzfXIpFFXd60PScgfmSnh6OjV5eU>
- [17] Hodiri H. Assessing the Actual Performance of Green Buildings in Palestine: A Case Study (Master Thesis) Nablus, Palestine: An-Najah National University; 2018. <https://repository.najah.edu/handle/20.500.11888/14171>
- [18] Saadeh B, Baba M. Evaluation Study of Green School Buildings in the West Bank, 5th International Energy Conference – Palestine (IECP). 27th-28th January 2015. Conference

- Proceeding, <https://www.researchgate.net/publication/272783015>
<https://repository.najah.edu/handle/20.500.11888/7450>
- [19] Alatawneh B, Germana M, Carrao R. Near Zero Energy House in Palestine: Identification of the Future Challenges 5th International Energy Conference – Palestine (IECP). 27th- 28th January 2015. Conference Proceeding (pp.47-50).
- [20] From the online Whole Building Design Guide at www.wbdg.org.
- [21] Kats, Gregory H. 2003. “The Costs and Financial Benefits of Green Buildings.” A report developed for California’s Sustainable Building Task Force. Available at the Capital E website, www.cap-e.com.
- [22] From “Daylighting in Schools” by the Heschong Mahone Group (1999). This company, which specializes in building energy efficiency, has published several landmark reports on the correlation between daylighting and student performance. Recent reports for the California Energy Commission are available from the company website, www.h-m-g.com/.
- [23] Palestine Higher Green Building Council, 2013. Green buildings Guidelines - State of Palestine. First ed. Ramallah, Palestine: Palestinian Engineers Association
https://www.paleng.org/wpcontent/uploads/2015/10/pgbc_manual.pdf
- [24] The global communities, (2016) ‘The First Green School in Palestine’
https://www.globalcommunities.ps/files/file/Aqqaba%20Factsheet_AR.PDF

Experimental Determination of Mechanical Properties of Medium Density Balsa Wood

Tuğberk Önal^{*,1}, Şemsettin Temiz²

tugberk.onal@ozal.edu.tr , ORCID: 0000-0002-3491-7939

1: Hekimhan MES Vocational school, Malatya Turgut Ozal University, Malatya, Turkey

2: Department of mechanical engineering, Inonu University, Malatya, Turkey

Abstract Balsa wood, a bio-sourced material, is a tropical species that grows in the rainforests of Central and South America. Thanks to its relatively high mechanical properties despite its low density, it is used as a sandwich structural element in many different areas such as wind turbine blades, sports equipment, airplanes, boat hulls and bridges. The mechanical properties of Balsa are related to its microstructure. The mechanical performance of wood, which has a heterogeneous and anisotropic structure, varies greatly depending on the density. It has a wide density range due to its fibrous and porous structure. In addition, tree age, habitat and cutting direction are other parameters that affect the strength of the structure. Despite the high strength/weight ratio, irregularities are observed in the mechanical properties of the balsa wood due to its natural cell structure and regional density differences. This situation puts limitations on the use of balsa wood in the sandwich structure core.

In this study, the mechanical properties of a medium density balsa wood were determined experimentally and compared with the studies in the literature. In this context, tensile, compression and shear tests were applied to balsa wood. After all, balsa wood; Maximum tensile strength in axial direction, maximum shear strength and axial compressive strength values were determined experimentally. In addition, the stress-strain graphs obtained as a result of the mechanical tests applied to the balsa wood were examined. The results obtained were compared with the studies in the literature.

Keywords: *Balsa wood; Tensile test; Compression test; Shear test.*

I. INTRODUCTION

BALSA is a tropical tree that grows in the rain forests of South America, especially Ecuador. It is a very fast growing species. It can reach 75 cm body diameter and 20 m height between 5 and 8 years. It has a low density due to its rapid growth [1]. The density of the balsa tree varies between 40-380 kg/m³. Despite its low density, it shows relatively high strength, hardness and energy absorption properties. Due to these properties, it can be used in wind turbine blades, sports equipment, planes, boat hulls and bridges as the core structure in sandwich composites. Although it is bio-sourced and has a high strength/weight ratio, it has some disadvantages. Its quality and material properties change according to the climatic conditions. The production of balsa wood for industrial use is mostly carried out by Ecuador. It is high cost due to limited production areas and supply difficulties [2]. Irregularities are observed in the mechanical properties of balsa wood due

to its natural cell structure and regional density differences [3]. Due to these limitations, alternative materials in cellular or solid form are preferred instead of balsa in the sandwich structure core [2].

Balsa consists of three types of microstructural cell structures. These; It consists of axially located tracheid cells, parenchyma cells radially in the wood and sap channels. Fig. 1 shows the placement of the tracheid, parenchyma and sap channels in the wood [4].

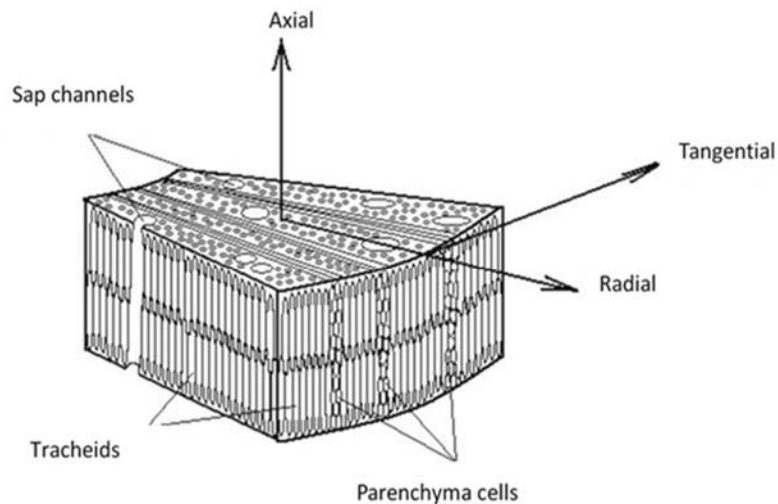


Fig. 1. View of structure cells and basic axes on the Balsa model [2].

Tracheid cells are long tubular structures with irregular hexagonal geometry. They are located axially along the tree trunk. They are arranged in peripheral layers that make up the tree's annual growth rings. It provides structural integrity and strength in wood. It consists of basic fibrils consisting of cellulose, hemicellulose and lignin [4,5]. Parenchyma are smaller and rectangular cells located radially to tracheid cells. Their main function is to transport and store nutrients in a radial direction. It increases the hardness and strength of wood in the radial direction. Sap channels responsible for fluid transport within the tree are another cell type. It has a circular cross section and extends in the axial direction. Compared to tracheids, it has a thinner wall thickness and a relatively larger diameter. It constitutes a very small part of the wood volume [2].

The mechanical properties of Balsa are related to its microstructure. Accordingly, the cutting direction of the wood directly affects its mechanical properties. Having a heterogeneous and anisotropic structure, wood has three basic axes perpendicular to each other. These consist of the axial direction formed by the tracheid fibers, the radial direction extending along the parenchyma cells and the tangential direction perpendicular to these two axes. Balsa wood shows different mechanical properties in the direction of three axes in the model shown in Fig. 1 [5].

Due to its bio-sourced, fibrous and porous structure, balsa wood has a wide density range. Balsa density varies depending on the age of the tree and its habitat. Along with the cutting direction, the density of the material also directly affects the strength of the structure. The mechanical performance of wood varies greatly depending on the density [1, 4]. It also shows high strength / weight performance due to its low density. Although its energy absorption, hardness and mechanical properties give different results in different directions, it increases substantially

depending on the increase in density [4, 5].

In recent years, many studies have been done on the mechanical behavior of balsa wood. Silva and Kyriakides applied compression and bending loads to balsa wood and compared the results depending on the cutting direction of the wood. He also examined the energy absorption capabilities of the structure. It has been observed that the material is softer and less resistant when cut in tangential and radial directions. It has been determined that the strength/weight ratio is comparable with other core materials used in sandwich structures [6]. Kepler has created a new model to determine the shear stress to which balsa wood is exposed in sandwich composite structures. In this context, three-point bending and shear tests were applied to the samples. Modeled low density balsa wood orthotropically and calculated the material properties of the building. He compared analytical results with experimental data [7]. Osei-Antwi et al. examined the effects of variation in density and fiber direction of balsa wood on shear stress. He stated that the increase in density increases the shear stress. He observed that the cutting zone of wood has a direct effect on the mechanical properties of the balsa [8]. Osei-Antwi et al. conducted bending experiments of sandwich materials in which balsa woods of different densities are adhered to each other in core structures. It has been observed that the damage starts in low density regions as expected [9]. Shishkina et al. examined the effects of density change of balsa wood on elastic constants and microstructural properties. He stated that material properties are directly related to density [2]. Borrega and Gibson applied bending, compression and buckling tests on balsa woods of 60 to 380 kg/m³ density. It was determined that the density of balsa wood has a direct effect on the mechanical properties [1].

II. MATERIALS AND METHODS

In this study, tensile, compression and shear tests were applied to balsa specimens of 170 kg/m³ density and 8 mm thickness. A total of 12 samples were prepared, three samples for each test. The tests were carried out on a Shimadzu brand test device with a capacity of 100kN at Inonu University. As a result of the study, the axial tensile strength, maximum shear strength and axial compression strength values of balsa wood were experimentally determined. In addition, the stress-strain graphs obtained as a result of the mechanical tests applied to the balsa wood were examined. The results obtained were compared with the studies in the literature.



(a)



(b)

Fig. 2. a) Tensile test setup. b) Tensile test samples.



Fig. 3. a) Shear test setup. b) Shear test samples.



Fig. 4. a) Axial compression test setup. b) Axial compression test samples.

In order to determine the maximum tensile strength of balsa wood in axial direction, samples whose dimensions are shown in Fig. 5 were prepared [10]. The samples were cut on the EBH brand laser cutting machine. In Fig. 2, the prepared test setup and samples are given. Eq. (1) was used to determine the maximum stress corresponding to the maximum force value at the end of the test. P (N) represents the maximum strength, A (mm^2) area and σ_T (MPa) represents the maximum tensile strength.

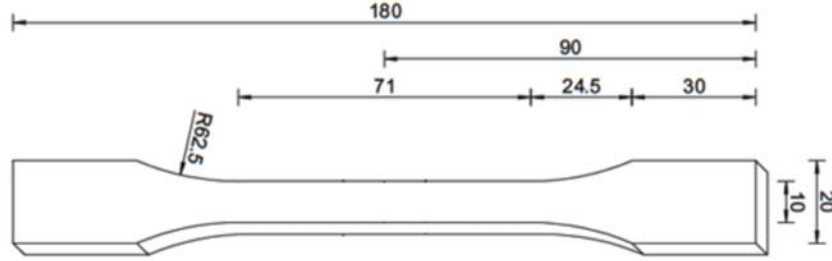


Fig. 5. Sample sizes used in tensile tests of balsa wood [11].

$$\sigma_T = \frac{P}{A} \quad (1)$$

In determining the maximum shear strength of Balsa, V notched slip specimens, whose dimensions are given in Fig. 6, have been used. The samples were prepared by cutting in the jigsaw. The tests were carried out using the shear grips on the Shimadzu brand test device in the Mechanical Engineering laboratory of Inonu University (Fig. 3). The maximum shear strength value was calculated using eq. (2). A (mm^2) represents the cross-sectional area between the notches and τ (MPa) represents the maximum shear strength.

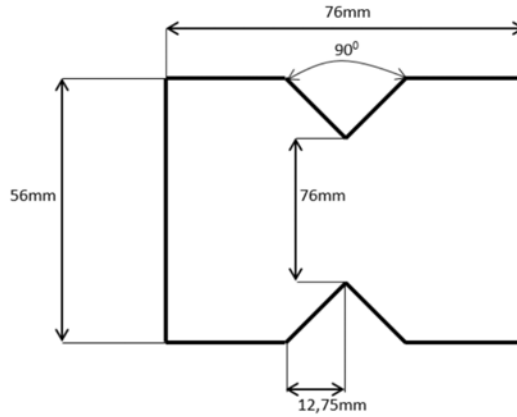


Fig. 6. Sample sizes used in shear tests of balsa wood.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (2)$$

The axial compression tests of the balsa wood were carried out in the Shimadzu brand tensile test device with a capacity of 100 kN in the Mechanical Engineering Laboratory of Inonu University. The samples used for determining the compressive strength in the axial direction were prepared in 100x15 mm sizes (Fig. 4). As a result of the test, eq. (3) was used to determine the maximum compressive strength in the axial direction. Here σ_c (MPa) represents the axial compressive strength.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

III. RESULTS

In order to determine the mechanical properties of balsa wood, tests were carried out with tensile, compression and shear samples prepared in laser and jigsaw machines. As a result of the tests, the stress-strain graphs of the samples were prepared, the maximum tensile strength in the axial direction, the maximum shear strength and the maximum compressive strength in the axial direction were determined. Test results are given in Table 1.

TABLE I
TEST RESULTS

Mechanical Properties	Value
σ_T (MPa)	23,445 (1,606)
τ (MPa)	3,296 (0,101)
σ_{AC} (MPa)	15,901 (2,496)

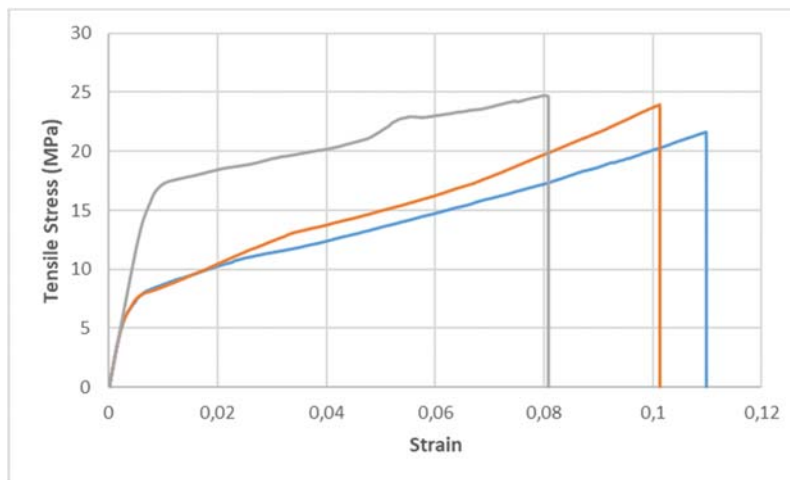


Fig. 7. Stress–strain curves in tensile test.

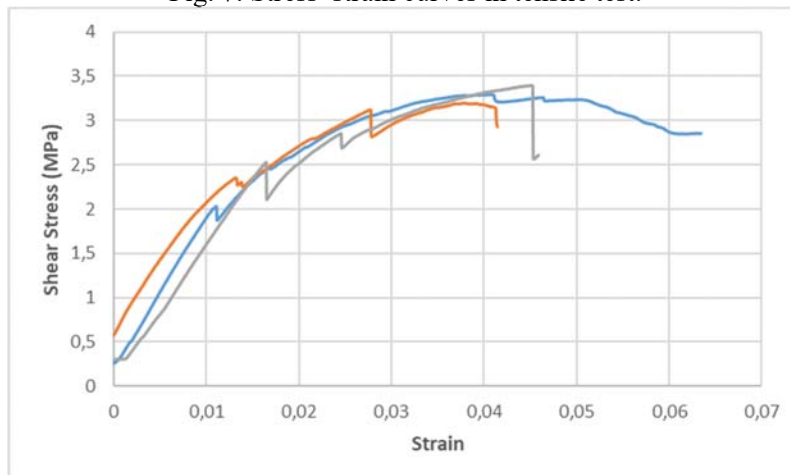


Fig. 8. Stress–strain curves in shear test.

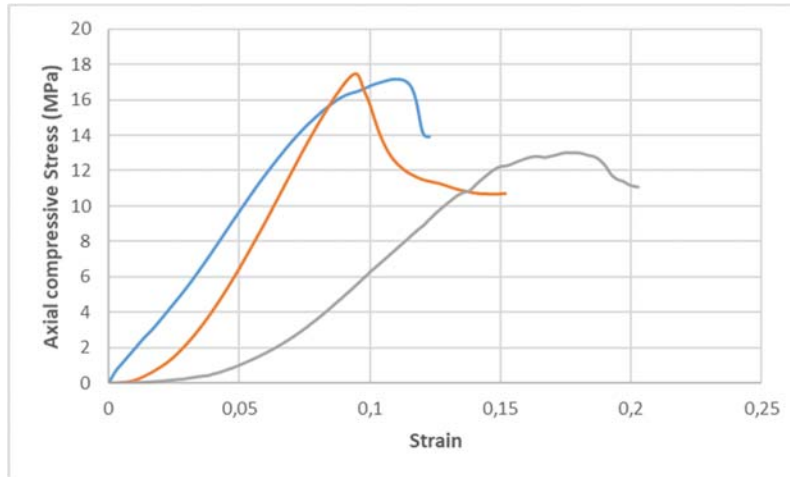


Fig. 9. Stress–strain curves in axial compressive test.

In Fig. 7, Fig. 8 and Fig. 9, the tensile strain graphs obtained as a result of the tensile, shear and compression tests are given. In Figure 7, the highest tensile value observed as a result of the tensile test is 24.734 MPa. However, the average of the three test results was determined as 23.445 MPa. In all three curves, the slope increases at a high value initially. Then the slope of the curve decreases and when it reaches the maximum stress value, the break occurs and falls suddenly. This situation reveals similar results in all three samples.

Fig. 8 shows the stress strain graph obtained as a result of the shear test. Although all three test results are on average 3,296 MPa, the highest value is 3,397 MPa. When the curves given in the graph are examined, local decreases in the stress value with the increase in strength are observed in all three curves. These local declines are thought to be caused by the breaking of the fibers that make up the balsa wood. Samples are damaged after reaching the maximum shear stress value.

Fig. 9 shows the stress strain graphs obtained as a result of the axial compression test. The highest compression stress value was found to be 17.465 MPa. However, the average of all three test results is 15,901 MPa. It was observed that the standard deviation value determined as a result of the compression tests was higher than the other test results. This situation is thought to occur due to the cell structure of the balsa and local density differences similar to the literature results [3]. It is seen that the curves given in the graph show a linear increase at the beginning and then damage occurs when the maximum stress value is reached.

IV. CONCLUSION AND DISCUSSION

As a result of the tests, the maximum tensile strength, shear strength and axial compression strength values of balsa wood were determined. The results obtained below are summarized in comparison with the literature.

- As a result of the tensile test, the average tensile stress value is 23,445 MPa. When the results of the literature are examined, a stress value for the same density value could not be found. However, the maximum tensile stress of 155 kg/m³ density balsa in the medium density balsa group has been given as 13.5 MPa [11].

- As a result of the shear tests, the average shear stress value was determined as 3,296 MPa. According to the equation given by Borrega, the shear stress value for 170 kg/m³ density was determined as 3.719 MPa. However, for balsa wood with a density of 154 kg/m³, the shear stress is generally given as 2.6 MPa [1, 12, 13].
- As a result of the compression tests, the average axial compression stress value was determined as 15,901 MPa. According to the equation given by Borrega, the axial compression stress value was determined as 15.801 MPa for a density of 170 kg/m³. However, for balsa wood with a density of 154 kg/m³, the axial compression stress value is generally given as 12.67 MPa [1, 13].
- It was determined that the data obtained as a result of the tests performed were compatible with the literature. However, it is seen that the standard deviation values are especially high in the compression test.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by Inonu University Scientific Research Center under the project number FDK-2018-1249.

REFERENCES

- [1] M. Borrega and L. J. Gibson, "Mechanics of balsa (*Ochroma pyramidale*) wood," vol. 84, pp. 75–90, 2015.
- [2] O. Shishkina, S. V. Lomov, I. Verpoest ve L. Gorbatikh, "Structure–property relations for balsa wood as a function of density: modelling approach," *Archive of Applied Mechanics*, vol. 84, pp. 789–805, 2014.
- [3] A. Fathi, J.-H. Keller ve V. Altstaedt, "Full-field shear analyses of sandwich core materials using Digital Image Correlation (DIC)," *Composites: Part B*, vol. 70, pp. 156–166, 2015.
- [4] M. İ. G. Puchades, "Behaviour Of Composite Sandwich Decks Aa High Temperatures," *School of Architecture, Civil and Environmental Engineering, EPFL, École Polytechnique Fédéral de Lausanne, Switzerland*, 2016.
- [5] N. J. Kotlarewski, B. Belleville, B. K. Gusamo ve B. Ozarska, "Mechanical properties of Papua New Guinea balsa wood," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74, pp. 83-89, 2016.
- [6] A. D. Silva ve S. Kyriakides, "Compressive response and failure of balsa wood," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 44, pp. 8685–8717, 2007.
- [7] J. A. Kepler, "Simple stiffness tailoring of balsa sandwich core material," *Composites Science and Technology*, vol. 71, pp. 46–51, 2011.
- [8] M. Osei-Antwi, J. D. Castro, A. P. Vassilopoulos ve T. Keller, "Shear mechanical characterization of balsa wood as core material of composite sandwich panels," *Construction and Building Materials*, vol. 41, pp. 231–238, 2013.
- [9] M. Osei-Antwi, J. D. Castro, A. P. Vassilopoulos ve T. Keller, "Fracture in complex balsa cores of fiber-reinforced polymer sandwich structures," *Construction and Building Materials*, vol. 71, pp. 194–201, 2014.
- [10] J. Follrich, O. Vay, S. Veigel ve U. Müller, "Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread," *The Japan Wood Research Society*, 2010.
- [11] A. Truxel, F. Aviles, L. A. Carlsson, J. L. Grenestedt and K. Millay, "Influence of face/core interface on debond toughness of foam and balsa cored sandwich," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 8, pp. 237-258, 2006.

- [12] O. Özdemir, N. Öztoprak ve H. Kandas, "Single and repeated impact behaviors of bio-sandwich structures consisting of thermoplastic face sheets and different balsa core thicknesses," *Composites Part B*, vol. 149, pp. 49–57, 2018.
- [13] C. Kabloğlu, S. Pimenta, A. Morris ve J. P. Dear, "The Effect Of Different Types Of Core Material On The Flexural Behavior Of Sandwich Composites For Wind Turbine Blades," *Journal of Thermal Engineering*, cilt 3, vol. 2, pp. 1102-1109, 2017.

Atık Cam ve Obsidiyen Kullanılarak Yapay Taş Üretimi

Artificial Stone Production Using Waste Glass and Obsidian

Hakan Elçi^{*1}, Çetin Yeşilova², Ramazan Hacımustafaoğlu³, İker Özkan⁴

^{*}hakan.elci@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2945-2548

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Prog., İzmir, Türkiye

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Cam ve Seramik Programı, İzmir, Türkiye

Özet Bu çalışmada, atık endüstriyel cam ve obsidiyen parçaları, polyester bağlayıcı ile birleştirilerek yapay kaplama malzemesi üretilmiştir. Bu kaplama malzemesi, malzeme özellikleri birbirine benzer olan obsidiyen ve endüstriyel cam agregasının polyester ile 1:1 oranında birleştirilmesi ile kendiliğinden yerleşen bir karışımla üretilmiştir. Çalışmada ince ve iri obsidiyen ile cam agregaları birlikte kullanılmıştır. İnce cam ve obsidiyen agregası kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin, hem malzeme özellikleri hem de renk ve deseni bir doğal taşın özelliklerine benzerdir. Bu özellikleri ile iç mekânda, kaplama malzemesi olarak kullanılabilir özelliktedirler. Çalışma ile ülke genelinde geri dönüşüm oranı oldukça az olan endüstriyel atık camlarının ve günümüzde hala verimli bir şekilde ham madde olarak kullanılmayan obsidiyenlerin değerlendirilebileceği bir alternatif kullanım alanı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel atık cam, Obsidiyen, Kaplama malzemesi

Abstract In this study, artificial cladding material was produced by combining obsidian and waste industrial glass pieces with polyester binder. This cladding material was produced with a self-compacting mixture by combining obsidian and industrial glass aggregate with similar material properties with polyester in a 1: 1 ratio. In the study, fine and coarse obsidian and glass aggregates were used together. Both material properties, colour and pattern of composite materials produced using fine glass and obsidian aggregate are similar to those of a natural stone. And with these features, it can be used as a cladding material indoors. With this study, an alternative area of use has been revealed where industrial waste glass, which has a very low recycling rate throughout the country, and obsidians, which are still not used efficiently as raw materials, can be used.

Keywords: Industrial waste glass, Obsidian, Cladding material

I. INTRODUCTION

Obsidiyen, çoğunlukla asidik özellikli magmanın ani soğuması ile oluşmuş bir volkanik camdır. Anadolu'da genç volkanların yakınlarında, geniş alanlara yayılmış obsidiyen yatakları mevcuttur. Kırıldığında keskin yüzeyler vermesi ve etkileyici rengi sayesinde Prehistorik çağlarda kesici

delici alet, takı ve süs eşyası üretiminde sıkça kullanılan bir hammadde olmuş, ticareti yapılarak çok geniş alanlara yayılmıştır. Bu nedenle, arkeolojik önemde sahip bir kayaçtır [1]. Günümüzde, obsidiyene yarı değerli süs taşı atfedilmiştir. Obsidiyenlerin, küçük süs eşyası ve dekoratif objelerin yapımında sınırlı bir kullanımı vardır. Bunun sebebi obsidiyenin genellikle birkaç dm, çok nadiren metre mertebesinde boyutlarında kütleler halinde bulunmasıdır. Ayrıca camsı yapısı nedeniyle oldukça sert ve darbeye karşı dayanıksızdır. Bu nedenle bir doğal taş gibi levha, plaka haline getirilmemektedir. Bu yapısı yüzünden, diğer doğal taşlar gibi yapı malzemesi olarak geniş bir kullanım alanı bulamamıştır.

Endüstriyel cam, ergime sıcaklığı yüksek olan (≈ 1700 °C) kuvars kumuna soda ve kireç eklenmesi ile ergime sıcaklığını yaklaşık 1000 °C'ye düşürülmesi ile elde edilir. Elde edilen bu cam, pencere camı, şişe ve aydınlatma ürünleri gibi ihtiyaçlar için kullanılır [2]. Endüstriyel cam tamamen geri dönüşebilen bir malzemedir. Fakat ülkemizde birçok atık da olduğu gibi geri dönüşüm farkındalığının yaygın olmaması ve kaynağında ayrıştırmanın yeterince yapılmaması nedeniyle endüstriyel cam atıkların geri dönüşüm oranı oldukça düşüktür [3]. 2019 yılında üretilen ve iç piyasaya sürülen cam ambalaj miktarı 871 bin ton 'dur. Bu miktarın geri kazanım oranı ise % 32'dir [3]. Bu cam ambalajlar kullanım sonrası kaynağında ayrıştırılmadığı için geri dönüştürememekte ve atılmaktadır.

Birçok inorganik atığın yeniden kullanılmasında bilinen en iyi çözüm hiç şüphesiz beton üretiminde kısmen agrega ile yer değiştirilerek kullanılmasıdır. Bu atıklar; başta inşaat atıkları olmak üzere, demir çürüf, tuğla seramik atıkları, kül atıklar ve hatta araç lastikleri, pet şişe, plastik gibi atıklardır. Fakat hem endüstriyel cam hem de obsidiyen, beton üretiminde agrega olarak kullanıldıklarında, alkali silika reaksiyonuna (ASR) neden olduğundan tercih edilmezler. Bu nedenle gerek endüstriyel cam gerekse obsidiyenin, yapı malzemesi üretiminde agrega kaynağı olarak kullanılması durumunda, portland çimentosundan farklı bir bağlayıcıya ihtiyaç duyulur.

Bu çalışmada malzeme özellikleri oldukça birbirine yakın olan atık durumundaki evsel camlar (şişe), sanayi camları (pencere camı) ve obsidiyenler (volkanik camlar) kimyasal bağlayıcı (polyester) ile bir araya getirilerek kompozit yapı malzemesi üretilmiştir. Böylelikle hem atık durumundaki endüstriyel camlar geri kazanılmış hem de günümüzde kullanımı oldukça sınırlı olan obsidiyenlerin hammadde olarak kullanımına alternatif üretilmiştir.

II. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Obsidiyen genellikle riyolit bileşimli, siyah veya koyu renkli volkanik camdır. Konkoidal kırılma şekli ile karakteristiktir. Nadiren bantlı bir yapıya sahip olabilir ve mikrolit içerebilir [4]. Türkiye'de Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanizmanın etkin olduğu bölgelerde zengin obsidiyen yatakları oluşmuştur. Bu yataklar, Doğu Anadolu'da Süphan, Nemrut, Tendürek ve Ağrı, dağı, Orta Anadolu'da ise Hasandağ ve Erciyes dağı gibi genç büyük yanardağların çevrelerinde, gerek büyük lav akıntıları şeklinde, gerekse aglomeralar ve tüfler içinde değişik, farklı boyutlarda parçalar halinde bulunmaktadır [1].

Prehistorik çağlarda insanlar tarafından, takı, ayna ve dekoratif eşya olarak kullanılmalarının yanı sıra kırıldıkları zaman, normal camlar gibi ince ve çok keskin kenarlı yüzeylere sahip olması nedeniyle obsidiyenler kesici, delici alet yapımında [5] hatta ameliyat bıçağı olarak kullanılmışlardır [6]. Diğer doğal materyallere göre kullanımındaki üstünlük ve çevrede yaygın olarak bulunması nedeniyle ilkel topluluklar arasında belirli kaynaklardan geniş ölçüde ticareti de yapılmıştır [1]. Günümüzde arkeolojik kazılarda bulunan obsidiyen objelerin, yapılan arkometrik çalışmalar ile hangi bölgeye ait obsidiyen yataklarından temin edildiği saptanabilmektedir. Bu

bilgi sayesinde arkeologlar, yazının olmadığı Prehistorik çağlarda bölgeler arası ilişkileri obsidyen üzerinde yapılan bu analizler sonucunda saptayabilmektedir [7].

Günümüzde obsidiyenler yarı değerli süs taşı olarak değerlendirilmekte ve yüzlek verdiği bölgelerde küçük işletmeler tarafından tespih, yüzük, küpe, kolye, spa taşı, plaket, isimlik gibi küçük boyutlu objeler üretiminde ham madde olarak kullanılmaktadır [5, 8].

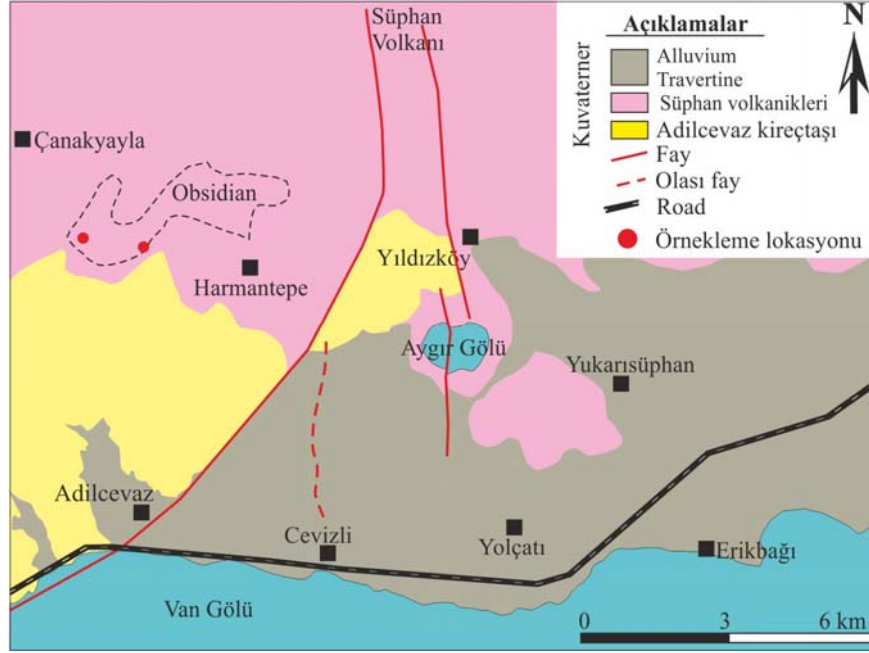
Cam ise genellikle kristalleşmeden soğutulmuş inorganik bir füzyon ürünü olarak tanımlanır. Amorf bir yapıya sahip olduğundan, kristallerle karşılaştırıldığında, camın yapısı, periyodik bir kafeste düzenli atom dizilişinden yoksundur. Endüstriyel üretime uygun camların bileşimi, erime davranışı, şekillendirilebilirlik, uygun nihai özellikler ve kabul edilebilir fiyat gibi parametrelerle sınırlıdır. Örneğin, kuvars camı birçok açıdan olağanüstü özellikler gösterir, ancak yüksek erime sıcaklığı nedeniyle üretimi çok maliyetlidir. Erime sıcaklığı, alkali oksitlerin (Na_2O) eklenmesiyle düşürülebilir, ancak elde edilen alkali silikat camlar, su ve atmosferik nemin etkilerine karşı zayıf direnç gösterir. Kimyasal dayanıklılık, diğer oksitlerin (CaO) varlığıyla iyileştirilir. Bu nedenler ile mevcut endüstriyel camların bileşimi $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$ sisteminden türetilmiştir. Tipik bir soda-kireç-silika camı ağırlıkça yaklaşık % 70 SiO_2 içerir, geri kalan kısmını da esas olarak Na_2O (soda) ve CaO (kireç) oluşturur. Bu camların, normal pencere camları gibi düz camlar, cam kaplar ve aydınlatma ürünleri gibi yerlerde kullanım alanları bulmaktadırlar [9, 10, 11].

Atık malzemelerden kompozit yapı malzemesi üretimine yönelik çalışmalar daha çok doğal taş atıklarının, bağlayıcı olarak portland çimentosu ile birlikte kullanılarak geri kazanımı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar içerisinde nadiren de olsa polyester veya epoksi gibi kimyasal bağlayıcılar kullanılarak yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Çelik ve Emrulloğlu, 1999 [12] yaptıkları çalışmada, mermer atıklarını, polyester bağlayıcı kullanarak birleştirip, kompozit malzeme elde etmişlerdir. Yaptıkları analiz sonuçlarında, doğal taşta yakın sonuçlar, bazı analizlerde ise daha da iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Ming ve diğ. 2008 [13], % 40 atık cam tozu, % 60 ince granit agregası karışımına bağlayıcı olarak % 8'lik polimer reçinesi ekleyerek hazırladıkları karışımı 15 MPa'lık bir basınç altında ek olarak titreşim ve vakum uygulayıp yapay taş plakaları üretmişlerdir. Ürettikleri bu yapay taşta ait fiziko-mekanik test sonuçlarında, taşın yoğunluğunu 2.445 kg/m^3 , su emme değerini % 0,02, basınç dayanımını 150 MPa ve eğilme dayanımını 51 MPa olarak belirlemişlerdir.

Çalışmada kullanılan obsidiyenler, Van Gölü kuzeyinde, Bitlis ile Adilcevaz ilçesi civarında yüzeyleyen Süphan Volkanitlerinden alınmıştır. Bölgede obsidiyenler, Harmantepe-Çanakyayla köyleri arasında dar bir alanda görülür (Şekil 1). Bölgede açılmış yol yarmalarında, ortalama birkaç dm mertebesinde boyutlarda olmak üzere yaklaşık 7-8 m kalınlığında bir istif olarak yüzlek verirler. Çoğunlukla siyah renkli bazen kahverengi veya her iki renkte alacalı veya mozaik olarak gözlemlenmektedir (Şekil 2). Ogata vd., 1989 [14] yaptıkları çalışmada bölgedeki obsidiyenlerin yaşını $0,76 \pm 0,56$ milyon yıl olarak belirtmişlerdir. Domsu yapılarında gözlemlenen obsidiyenlerin alt kesimleri, perlitik obsidiyen kül ve riyolit bloklarından oluşan debris-avalanche ürünlerinden meydana gelmiştir. Obsidiyenler, camsı akma dokusu ve perlitik bir dokuya sahiptir. Ayrıca plajiyoklaz, ortopiroksen, alkali feldispat, amfibol, biyotit, kuvars fenokristalleri ile karakterize edilen mineral parajenezine sahiptirler [15].

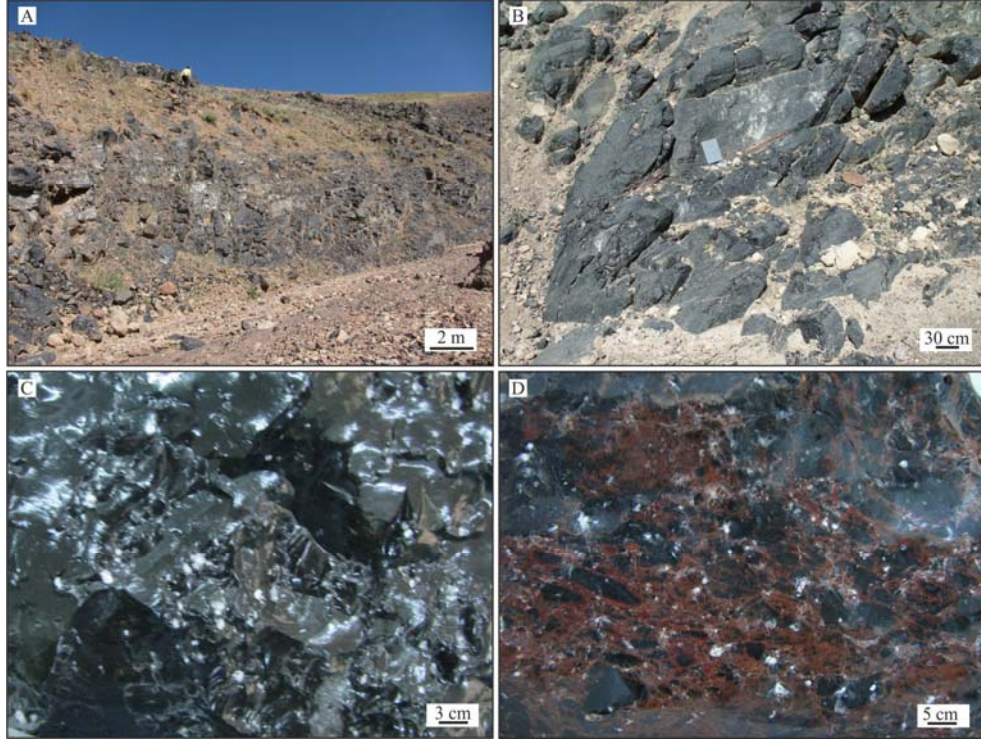


Şekil 1. Çalışmada kullanılan obsidiyenlerin yer aldığı bölgenin jeolojisi.

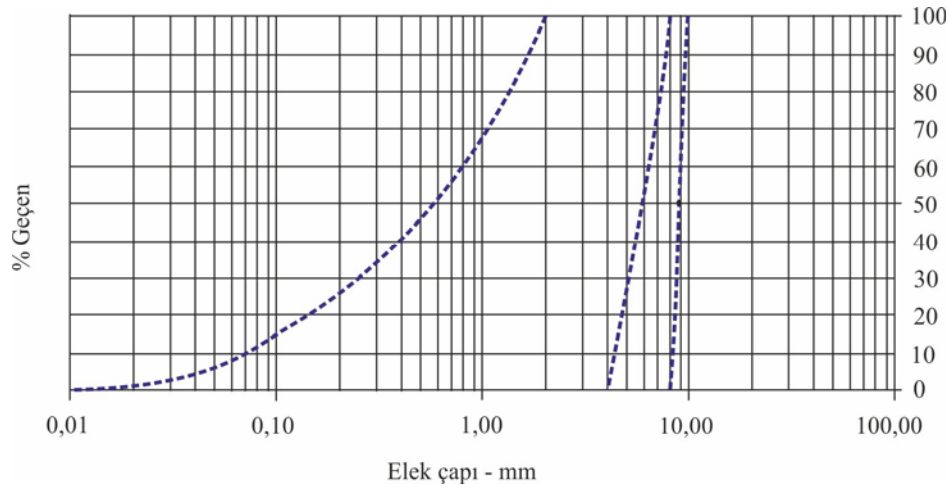
III. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Numune Hazırlama

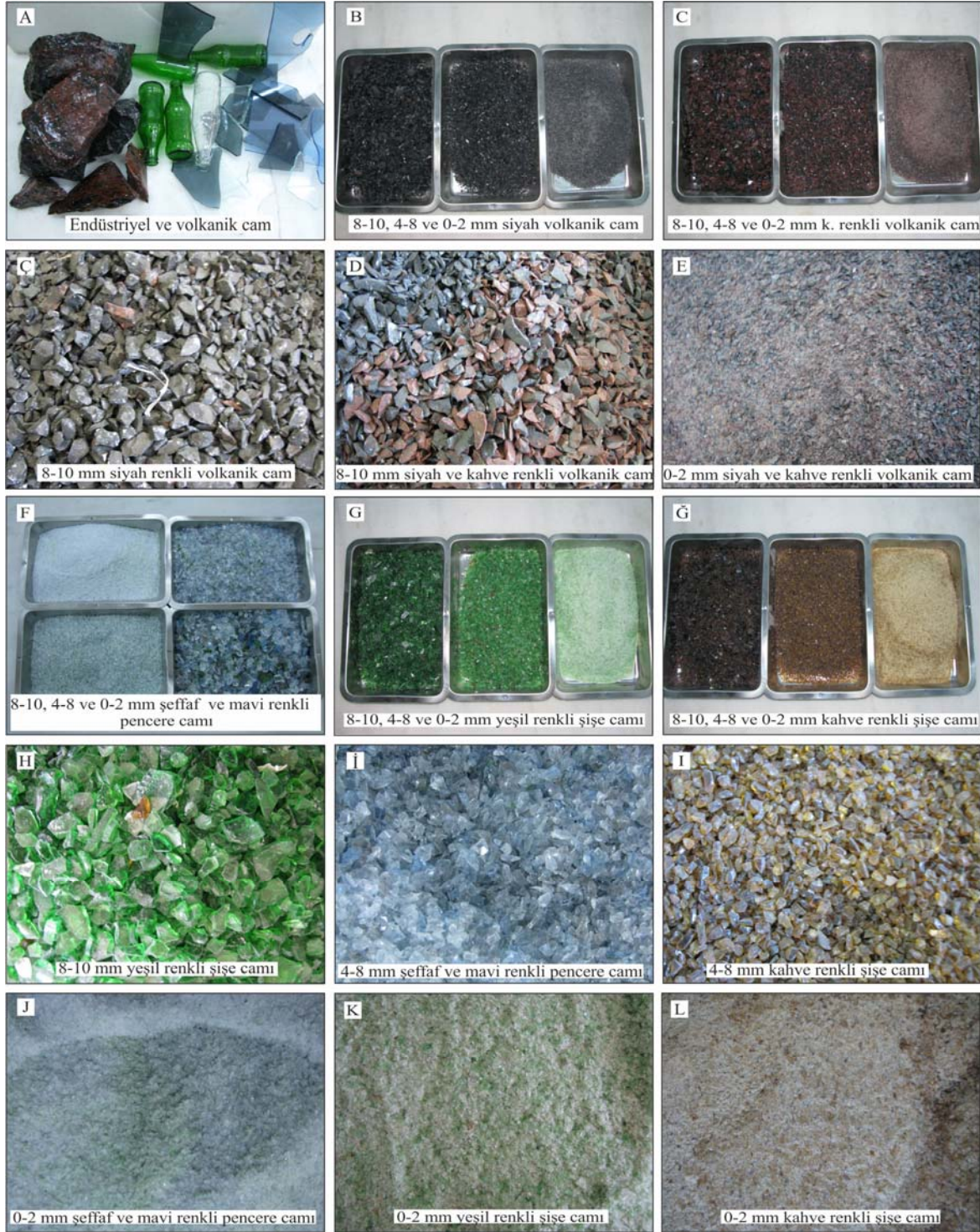
Çalışmada kullanılan obsidiyenler, Van Gölü kuzeyinde, Adilcevaz (Bitlis) İlçesi civarında yüzeyleyen Süphan Volkanitlerine aittir. Pencere camları yerel bir cam işletmesinden, endüstriyel şişe camlar ise yerel kafeterya ve lokanta gibi işletmelerden temin edilmiştir. Temin edilen endüstriyel camlar ve obsidiyenler, önce bir çekiç yardımı 5-10 cm boyutlara ufaltılmıştır. Daha sonra laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kullanılarak 1 cm ve daha küçük parçalara indirgenmiştir. Kırılan malzemeler elek yardımı ile 0-2 mm, 4-8 mm, 8-10 mm aralığına boyutlandırılmıştır (Şekil 3 ve Şekil 4).



Şekil 2. A ve B: Çalışmada kullanılan obsidiyenler ve mostraları. C: Siyah obsidiyen, D: Kahverenkli, siyah obsidiyen



Şekil 3. Çalışmada kullanılan endüstriyel cam ve obsidiyenlerin tane çapı dağılımları



Şekil 4. Çalışmada kullanılan endüstriyel camlar, obsidiyenler ve hazırlanan agregalar

B. Yöntem

Çalışma üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada endüstriyel camların ve obsidiyenlerin mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada bu endüstriyel camlar ve obsidiyenlerden üretilen agregaların, agrega özellikleri, üçüncü aşamada ise agregalardan üretilen kompozit malzemelerin, mineralojik, petrografik ve malzeme özellikleri incelenmiştir.

Endüstriyel camların ve obsidiyenlerin mineralojik ve petrografik özellikleri için camları temsil edecek şekilde örnekleme yapılmış ve her camdan beş adet ince kesit hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlere TS 10088 EN 932-3'e göre [16] Olympus CX31 marka polarizan mikroskopta çift nikol 10X büyütmede petrografik analiz yapılarak mineral yüzdeleri belirlenmiştir. Endüstriyel ve volkanik camların kimyasal özellikleri ise Acme Laboratuvarında (Kanada) Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi (ICP-ES) metodu kullanılarak ana oksitleri (%) belirlenmiştir.

Daha sonra bu malzemeler hacimce % 50 agrega % 50 bağlayıcı ve sertleştirici (<%1) olacak şekilde Tablo 1'de verilen oranlarda karıştırılarak birleştirilmiştir. Bu çalışma için hazırlanan 5x30x30 cm ölçülere sahip metal kalıplara dökülmeden önce kalıpların iç yüzeyi Polivaks sv-6-mekp adlı kalıp yağı ürünü yağlanmış ve hazırlanan karışım kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminde ince taneli agrega karışımları çoğunlukla kendisi kalıba yerleşmiş ya da çok az bir titreşim ile yerleştirilmesi sağlanmıştır. Fakat iri taneli agrega karışımları kendiliğinden kalıba yerleşmemiş, ek olarak titreşim ve şişleme yardımı ile kalıba yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen malzeme bir gün sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan malzemelerin bir yüzeyi sulu parlatma/cilalama makinası aşındırılarak, parlatılmış ve fotoğrafı çekilmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla ilgili TS 699 [17] standartlarında belirtilen TS EN standartlarındaki ölçülerde taş kesme testeresi ile kesilerek boyutlandırılmıştır. Daha sonra TS EN standartlarına uygun olarak fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ek olarak üretilen kompozit malzemelere mineralojik ve petrografik analiz yapılarak, tanelerin bağlayıcı ile olan kalitesi belirlenmiştir.

TABLO 1
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ İÇİN KULLANILAN KARIŞIM ORANLARI

Reçete No	Karışım Oranları
R1	% 50, 0-2 mm EC + % 50 PS
R2	% 25, 4-8 mm + % 25, 8-10 mm EC + % 50 PS
23	% 30, 0-2 mm EC + % 10, 4-8 mm + % 10, 8-10 mm EC + % 50 PS
R4	% 50, 0-2 mm O + % 50 PS
R5	% 25, 4-8 mm + % 25, 8-10 mm O + % 50 PS
R6	% 30, 0-2 mm O + % 10, 4-8 mm + % 10, 8-10 mm O + % 20 PS
R7	% 20, 0-2 mm EC + % 30, 0-2 mm O + % 50 PS
R8	% 30, 0-2 mm EC + % 20, 0-2 mm O + % 50 PS
R9	% 35, 0-4 mm EC + % 15, 0-2 mm O + % 50 PS
R10	% 25, 0-4 mm EC, % 25, 0-4 mm O + % 50 PS

EC: Endüstriyel cam agregası, O: Obsidiyen agregası, PS: Polyester ve sertleştirici

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

A. Endüstriyel Cam ve Obsidiyenlerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Çalışmada kullanılan, siyah ve kahve renkli obsidiyenlerden hazırlanan ince kesitlerin, polarizan mikroskop altında detaylı incelemelerinde, volkanik faz magmatik kayaç, temel olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Birincisi matrix bölümü, ikincisi ise fenokristallerdir (Tablo 2). Kayacın büyük çoğunluğunu oluşturan matrix kısmı; volkanik cam olarak, ağırlıklı feldispat mikrolitleri şeklinde mikrokristalin ve kriptokristalin ara madde den meydana gelmektedir. İnce kesitlerde fenokristal olarak felsik karakterde feldispat mineralleri (ortoklas-plajioklas) ve kuvars bulunmakta, femik nitelikli amfibol (hornblend), yaygın olarak biotitler ve opak mineraller gözlenmektedir (Şekil 5).

Mikrokristalin ve kriptokristalin ara maddeden oluşan camsı matrixte akma yapısı gözlenmektedir. Matrix içerisinde yer alan fenokristallerde akma yapısına bağlı olarak yönelme mevcuttur. Fenokristaller yaygın olarak anhedral ve subhedral kristal şekli göstermektedir. Feldispat (K-feldispat) minerallerinde kısmi gelişmiş elek yapısı, bazı kesitlerde kuvars minerallerinde ise körfez yapısı mevcuttur. Diğer taraftan, biotit minerallerinin yaygın olduğu bölümlerde amfibol minerallerinin özellikle çeper kısımları ve daha az iç kısımları FeO reaksiyonu ile opak hale gelmiştir. Bazı alanlarda ise amfibol minerali iskeletleri gözlenmektedir (Şekil 5).

Magmatik yüzey kökenli olan obsidyen (riyolitik cam) kayacı, genel olarak hipokristalin porfirittir. Volkanik cam bakımından zengin matrix ve içinde yer alan fenokristallerden dolayı vitrofirik dokuya sahiptir.

Endüstriyel cam, her ne kadar obsidiyene yakın kimyasal benzerlik gösterse de, obsidiyene göre çok daha hızlı soğuduğu için, dokusal olarak tamamen obsidiyenden farklıdır. Endüstriyel camın dokusu tamamen matrixden meydana gelmiştir. Matrix içerisinde obsidiyenlerde olduğu gibi herhangi bir fenokristal veya mikrolit görülmemiştir.

Kayacın kimyasal analizinde majör oksit olarak SiO₂ oranı % 74 olup, asidik magmatik yüzey kayacı sınıfında yer alır. %4.6 K₂O, % 4.09 Na₂O ve % 1 CaO içeren kayacda, volkanik cam (matrix) kısmında yer alan mikrolitlerin ve feldispat fenokristallerinin çoğunlukla alkali feldispat olduğunu göstermektedir (Tablo 3).

TABLO 2
ENDÜSTRİYEL CAM VE OBSİDİYENLERİN MODAL ANALİZİ

Örnek adı	Matriks/Volkanik cam	Fenokristaller
	Mikrokristalin/kriptokristalin, feldispat, kuvars, amfibol ve	K-feldispat, plajioklas, kuvars, amfibol, biotit ve opak
Siyah obsidiyen	96	4
Kahve renkli	96	4
Endüstriyel cam	Cam matriks	

B. Endüstriyel Cam ve Obsidiyenlerin Kimyasal Özellikleri

Endüstriyel cam ve obsidiyen örneklerinin ana oksitleri yüzdelere bakıldığında obsidiyenlerin silikat camı karakterinde olduğu, yüksek SiO₂ (% 74) ve Al₂O₃ (% 13) oranına sahip oldukları, bununla beraber düşük kireç MgO (% 0,1) ve CaO (% 1) ve düşük alkali Na₂O (% 4) ve K₂O (% 4.7) değerlere sahip olduğu görülür (Tablo 3).

Endüstriyel camların ise tipik soda-kireç camı karakterinde olduğu, obsidiyenlere nazaran daha düşük SiO_2 (% 70) ve Al_2O_3 (% 1) oranına sahip oldukları, bununla beraber yüksek kireç MgO (% 4) ve CaO (% 9-10) ve yüksek alkali Na_2O (% 14) değerlere sahip olduğu görülür (Tablo 3).

TABLO 3

ÇALIŞMADA KULLANILAN ENDÜSTRİYEL CAMLAR VE OBSİDİYENLERİN ANA OKSİTLERİ

No	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3	KK	Toplam
	%												
EC1	70,42	0.94	0.52	4.14	8.72	14.04	0,15	0.06	0.03	<0.01	0,005	0.8	99,91
EC2	70.11	1.57	0.53	3.19	9.64	13.63	0.49	0.06	0.02	<0.01	0,033	0.6	99,94
SO	74.04	13.23	1.82	0.11	1.12	4.09	4.60	0.09	0.03	0.04	0,004	0.7	99,99
KO	73.84	13.03	1.92	0.11	1.2	3.79	4.78	0.09	0.03	0.04	0,004	0.7	99,99

EC1: Pencere camı, EC2: Şişe Camı, SO: Siyah obsidiyen KO: Kahve renkli obsidiyen, *KK: Kızdırma kaybı,

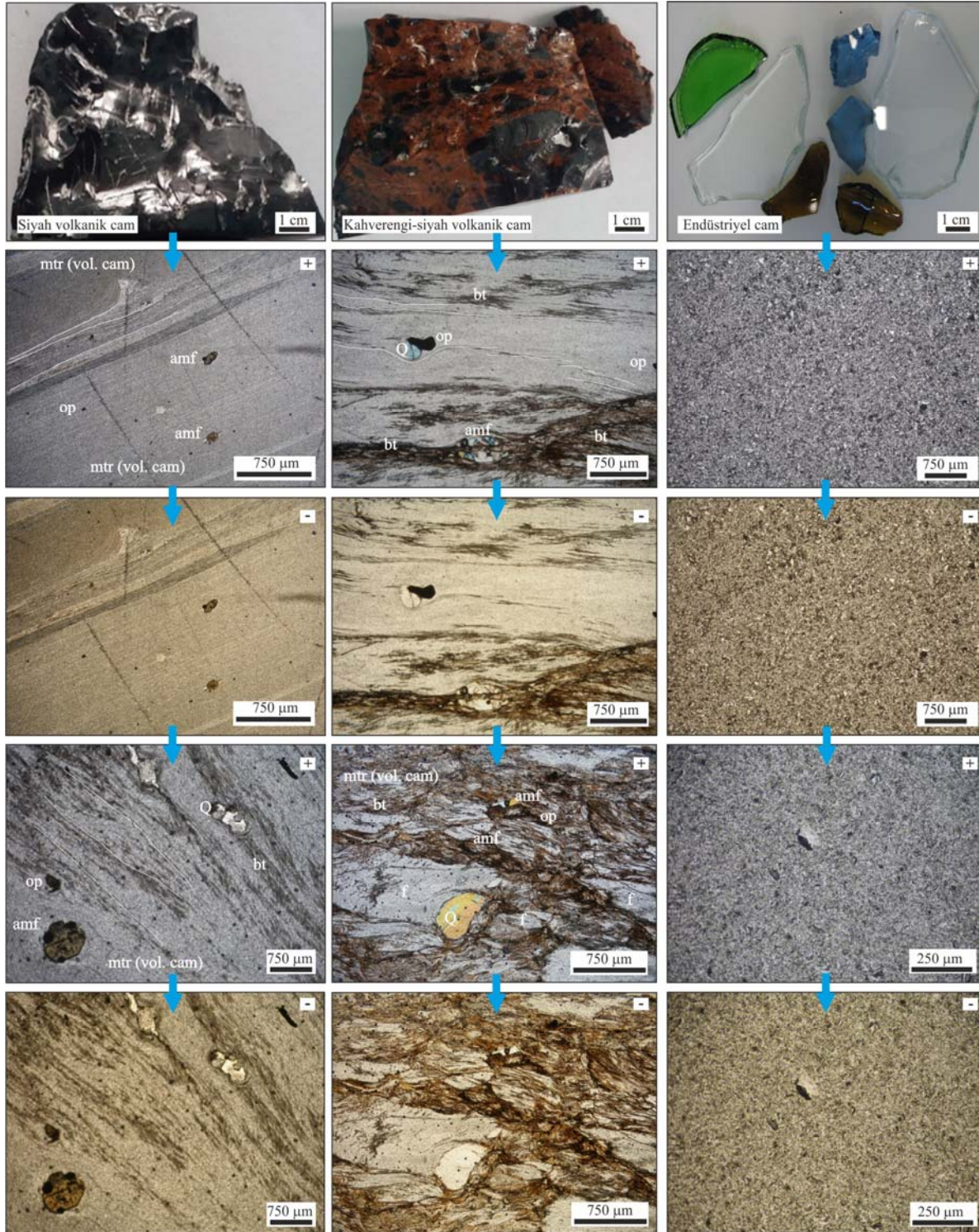
C. Endüstriyel Cam ve Obsidiyenlerin Malzeme Özellikleri

Obsidiyenlerin yoğunlukları 2350kg/m^3 iken endüstriyel camların yoğunlukları daha yüksektir (2500kg/m^3). Her iki camında su emme değeri % 0,1'in altındadır. Literatürde obsidiyenlerin ve camın sertliği için her ne kadar 5,5 mohs sertliği tanımlanmış olsa da, yapılan mohs sertlik testinde obsidiyenler endüstriyel camlara göre % 20'i daha yüksek sertlik (mohs) değeri elde edilmiştir. Her iki malzemede aşınmaya karşı son derece dirençli, bununla beraber darbe ile parçalanmaya karşı oldukça dirençsizdir ve kırıldıklarında konkoidal şekilde kırılırlar (Tablo 4).

TABLO 4

ÇALIŞMADA KULLANILAN ENDÜSTRİYEL CAMLARIN VE OBSİDİYENLERİN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Özellik	Boyut	Standard	Obsidiyen	Endüstriyel Cam
Tane yoğunluğu: kg/m^3	10-14	TS EN 1097-6 [18]	2355 ± 2	2495 ± 33
Su emme (%)	10-14	TS EN 1097-6 [18]	< 0,01	< 0,01
Aşınma direnci: %	10-14	TS EN 1097-1 [19]	$7,735 \pm 0,191$	$7,878 \pm 0,342$
Parçalanma direnci: %	10-14	TS EN 1097-2 [20]	$38,580 \pm 0,311$	$38,980 \pm 0,085$
Sertlik (mohs)	50x50	TS 6809 [21]	6,5-7	5,5
Kırılma Şekli			Konkoidal	Konkoidal



Şekil 5. Çalışmada kullanılan endüstriyel camlar, obsidiyenlerin ince kesit görüntüleri

D. Üretilen Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Üretilen kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinden görünür yoğunlukları ve açık gözeneklilikleri TS EN 1936'a göre [22], su emme değerleri ise TS EN 13755'e göre [24] belirlenmiştir. Mekanik özelliklerinden basınç dayanımı, TS EN 1926'agöre [23], yoğun yük altında bükülme dayanımları TS EN 12372'e göre [26], aşınma miktarları TS EN 14157'e göre [25] ve darbe dayanımları TSE 699'a göre [17] belirlenmiştir. Testler 6 numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tablo 4'de tüm fiziksel ve mekanik özelliklere ait sonuçların aritmetik ortalaması verilmiştir.

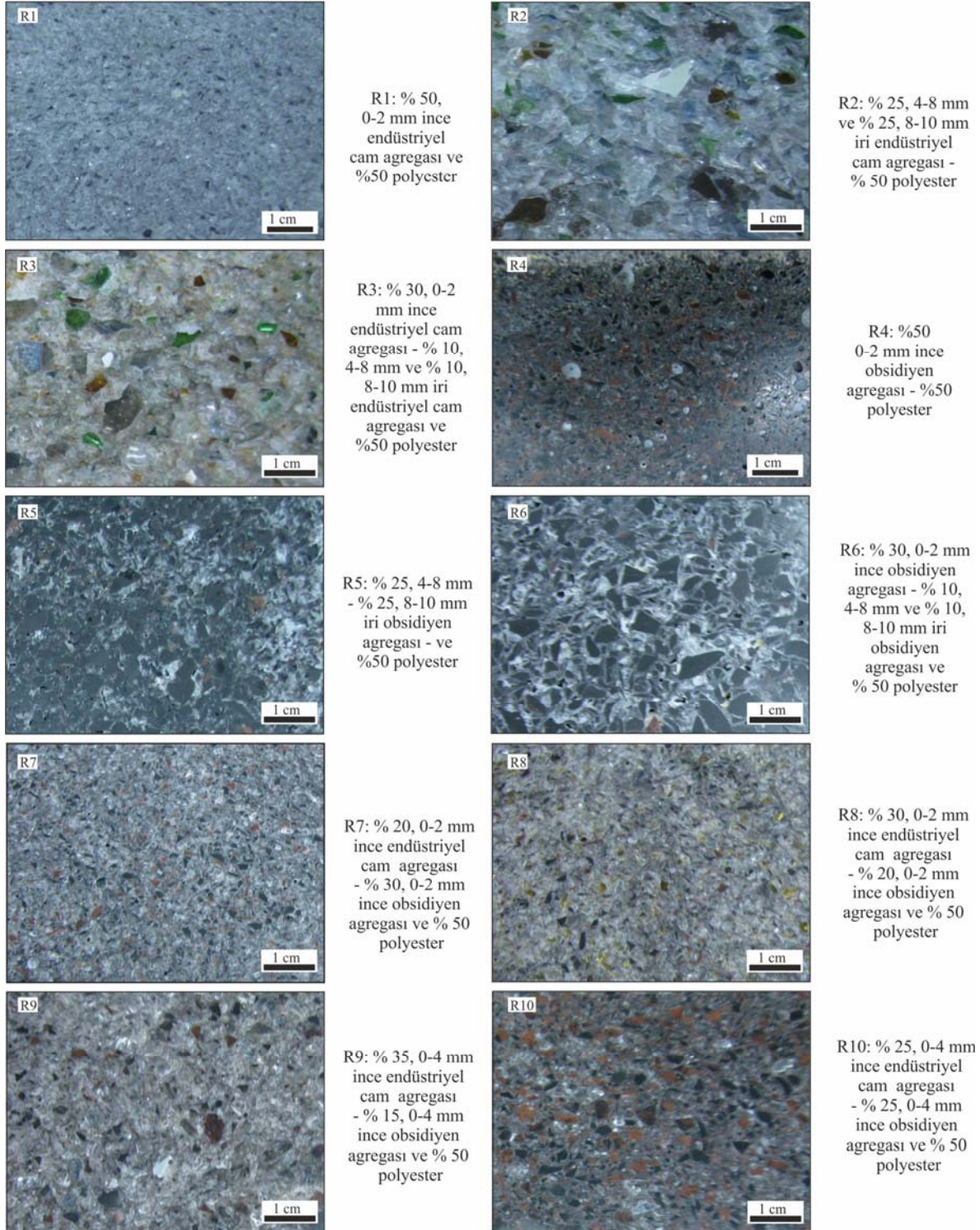
TABLO 4
ÜRETİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Reçete No	pb (kg/m ³)	po (%)	Ab (%)	R (MPa)	R _{tf} (MPa)	ΔV (mm ³)	D (MPa)
R1	1714 ± 24	0,39 ± 0,06	0,23 ± 0,04	57,61 ± 9,02	20,89 ± 0,50	4188 ± 91	28,33 ± 4,08
R2	1884 ± 32	1,37 ± 0,09	0,72 ± 0,04	38,53 ± 3,06	22,12 ± 0,22	2300 ± 12	2,00 ± 0,00
R3	2044 ± 10	0,80 ± 0,1	0,39 ± 0,04	33,41 ± 1,14	4,13 ± 0,33	3797 ± 67	2,00 ± 0,00
R4	1615 ± 8	0,46 ± 0,14	0,29 ± 0,09	44,74 ± 3,41	12,21 ± 0,59	3988 ± 40	11,0 ± 2,45
R5	1786 ± 14	1,14 ± 0,17	0,64 ± 0,10	31,85 ± 3,01	1,77 ± 0,22	3815 ± 14	2,00 ± 0,00
R6	1876 ± 23	0,31 ± 0,02	0,16 ± 0,01	52,10 ± 1,22	7,79 ± 0,32	2635 ± 17	13,33 ± 3,27
R7	1750 ± 5	0,46 ± 0,04	0,26 ± 0,02	51,29 ± 1,17	15,71 ± 0,48	4480 ± 45	26,67 ± 5,16
R8	1814 ± 6	0,40 ± 0,05	0,22 ± 0,03	71,32 ± 2,88	16,34 ± 0,67	5133 ± 68	38,00 ± 6,20
R9	1946 ± 6	0,38 ± 0,07	0,11 ± 0,04	58,03 ± 3,43	14,65 ± 0,13	5565 ± 29	17,33 ± 4,13
R10	1908 ± 6	0,28 ± 0,09	0,15 ± 0,05	63,09 ± 0,56	15,89 ± 0,15	2833 ± 34	18,67 ± 3,27
Standart	TS EN 1936	TS EN 1936	TS EN 13755	TS EN 1926	TS EN 12372	TS EN 14157	TS 699
n	6	6	6	6	6	6	6

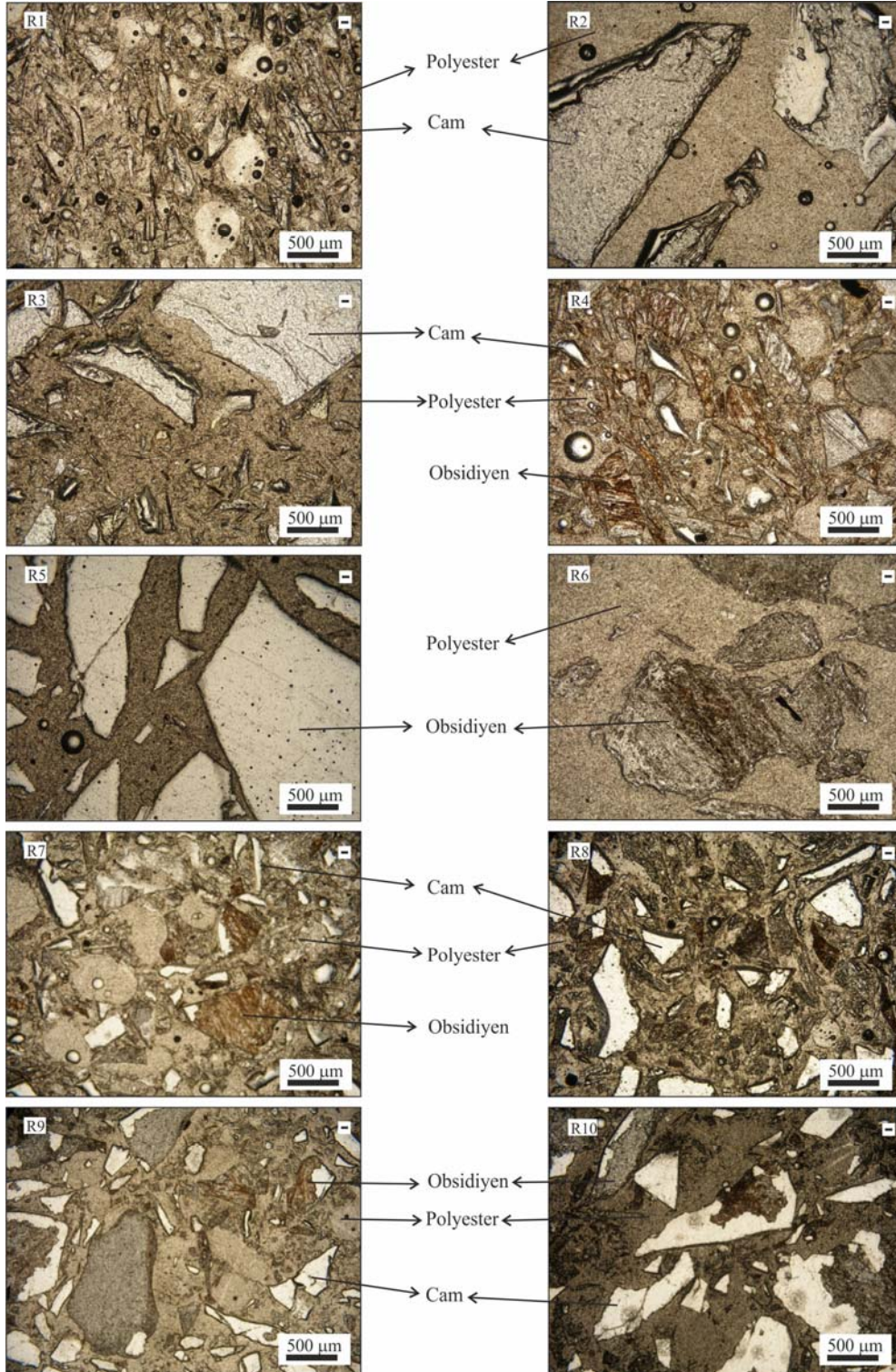
pb: Görünür yoğunluk, po: Açık gözeneklilik, Ab: Su emme, R: Basınç dayanımı, R_{TF}: Yoğun yük altında bükülme dayanımı, ΔV: Böhme aşınma kaybı, D: Darbe dayanımı

V. SONUÇ VE TARTIŞMA

İnce endüstriyel cam ve obsidiyenler kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin deseni, genel olarak granit, granodiyorit ve diyabaz gibi kristalli kayaların desenine benzerlik sunmaktadır (Şekil 6). Kompozit malzemenin matriksini, bağlayıcı (polyester) oluşturduğundan dokusu ile kristalli kayalardan oldukça farklılık gösterir. Doku yönü ile daha çok kırıntılı tortul kayaların dokusuna benzer bir doku özelliği sergilemektedir (Şekil 7). Hem ince hem de iri endüstriyel cam ve obsidiyenlerden elde edilen kompozit malzemelerin fiziksel özellikleri kristalli kayalara nazaran belirgin farklılık göstermektedir. Bükülme dayanımı ve aşınmaya karşı dirençleri gibi mekanik özellikleri açısından, ince endüstriyel cam ve obsidiyenlerden elde edilen kompozit malzemeler, kristalli kayalara oldukça yakın benzerlik göstermektedir.

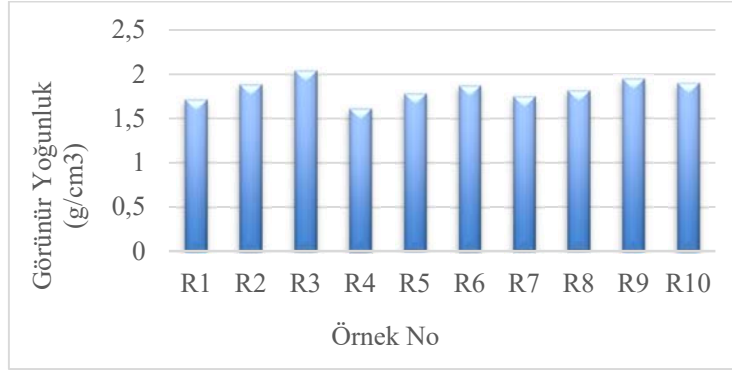


Şekil 6. Üretilen kompozit malzemelerin karışım oranları ve işlenmiş yüzey görüntüleri.



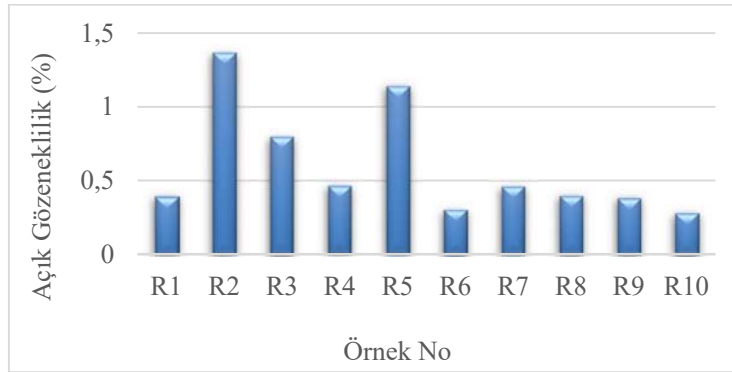
Şekil 7. Üretilen kompozit malzemelerin ince kesit görüntüleri (-: tek nikol)

Kompozit malzemelerin görünür yoğunluk değerleri 1,615 -2,044 g/cm³ arasında değişmektedir. Bu değerler bir doğal taş a nazaran oldukça düşük yoğunluklardır.



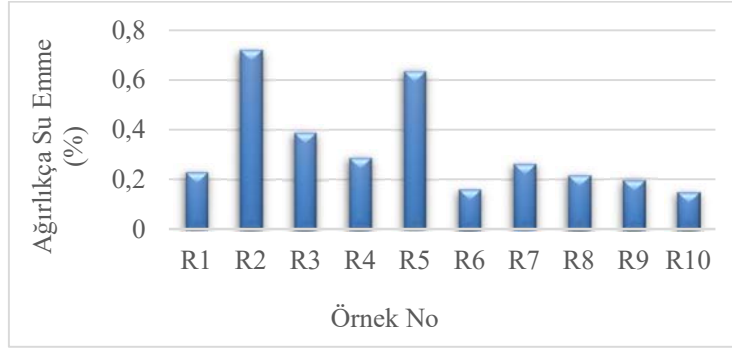
Şekil 8. Üretilen kompozit malzemelerin görünür yoğunluk değerleri

Kompozit malzemelerin açık gözeneklilik değerleri % 0,282 ile % 1,365 arasında değişmektedir. Sadece iri agrega kullanılarak elde edilen örneklerin (R2 ve R5) gözeneklilik değerleri belirgin bir şekilde artmıştır. Diğer örneklere ait gözeneklilik değerleri granit, diyabaz gibi kristalli kayalara benzer gözeneklilik değerleri vermiştir (Şekil 8).



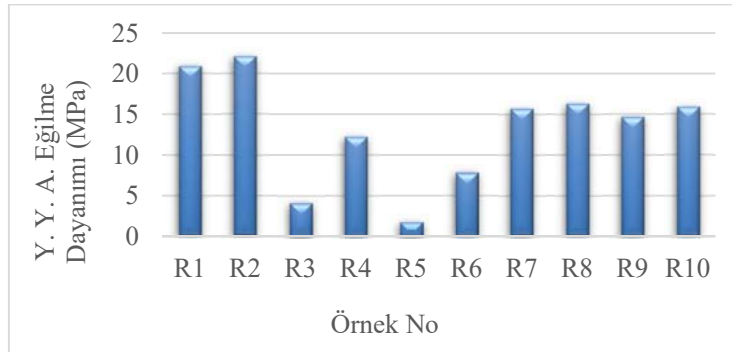
Şekil 9. Üretilen kompozit malzemelerin açık gözeneklilik değerleri

Kompozit malzemelerin ağırlıkça su emme değerleri % 0,147 ile % 0,722 arasında değişmektedir. Yine sadece iri agrega kullanılarak elde edilen örneklerin (R2 ve R5) su emme değerleri belirgin bir şekilde artmıştır. Diğer örneklere ait su emme değerleri doğal taşlara yakın seviyededir (Şekil 9).



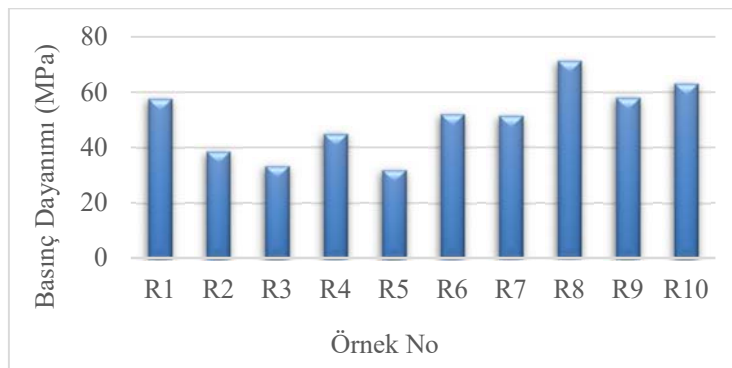
Şekil 10. Üretilen kompozit malzemelerin ağırlıkça su emme değerleri

Kompozit malzemelerin yoğun yük altında eğilme dayanımı değerleri 1,77 MPa ile 22,12 MPa arasında değişmektedir. R3 ve R5 numaralı örneklerin yoğun yük altında eğilme dayanımı değerleri diğer örneklere göre oldukça düşük çıkmıştır Bunun nedeni bu Kompozit malzemelerin üretiminde sadece iri endüstriyel cam ve obsidiyen agregasının kullanılmış olmasıdır (Şekil 10).



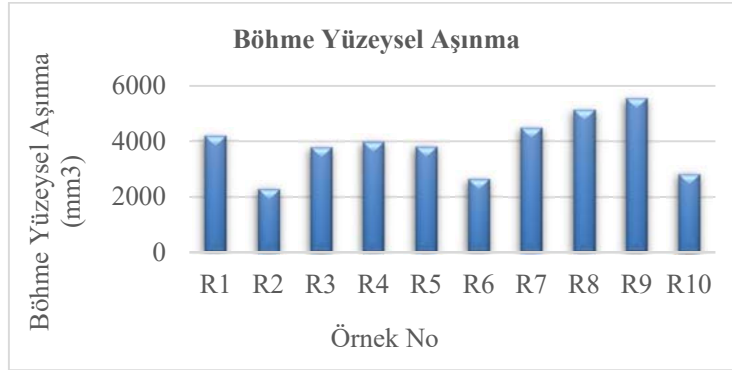
Şekil 11. Üretilen kompozit malzemelerin yoğun yük altında eğilme dayanımı değerleri

Kompozit malzemelerin basınç dayanımı değerleri 31,85 MPa ile 71,22 MPa arasında değişmektedir. Tüm örneklerin basınç dayanımı değerleri ortalama bir doğal taş basınç dayanımı değerinden (30 MPa) büyüktür (Şekil 11).



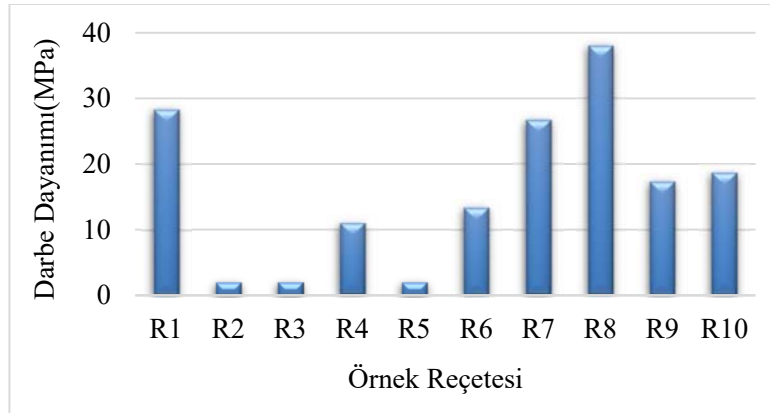
Şekil 12. Üretilen kompozit malzemelerin basınç dayanımı değerleri

Kompozit malzemelerin böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri 2300 mm³ ile 5565 mm³ arasında değişmektedir. Tüm örneklerin sahip olduğu böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri ortalama bir doğal taş böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri değerinden oldukça küçüktür (Şekil 12).



Şekil 13. Üretilen kompozit malzemelerin böhme yüzeysel aşınma kaybı değerleri

Kompozit malzemelerin darbe dayanımı değerleri 2 MPa ile 38 MPa arasında değişmektedir. Gerek iri cam gerekse de iri obsidiyen agregalarının daha yoğun olarak kullanıldığı örnekler diğer örneklere kıyasla oldukça düşük darbe dayanımı sergilemişlerdir (Şekil 13).



Şekil 14. Üretilen kompozit malzemelerin darbe dayanımı değerleri

İnce agregalar kullanılarak üretilen kompozit malzemeler, renk, desen fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından bir doğal taşın sahip olduğu özelliklere oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

Petrografik inceleme sonuçları, ince obsidiyen ve obsidiyen agregalarının (<4 mm) polyester bağlayıcı ile daha iyi bir bağ yaptığı ve daha kompakt bir malzeme oluşturduğunu gözlenmiştir. İri agregalar kullanıldığında ise iri taneler arasındaki boşluğun tamamı polyester ile dolmadığı, polyester bağlayıcı ile birlikte bir miktar hava kabarcığının da olduğu gözlenmiştir. Bu durum, elde edilen kompozit malzemenin fiziksel ve özellikle mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışma ile malzeme özellikleri bakımından birbirine oldukça yakın olan atık durumundaki endüstriyel camların ve obsidiyenlerin ince agregalar haline getirildikten sonra,

polyester bağlayıcı kullanılarak kompozit malzeme üretilebileceği, atık durumdaki camlar ile günümüzde hala verimli bir şekilde ham madde olarak kullanılmayan obsidiyenlerin değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur. Böylelikle hem atık durumundaki cam malzemeleri geri kazanılmış hem de doğal taş özelliklerine yakın, iç mekân kaplama malzemesi elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2017-6134 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Sağladığı maddi destek için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine, çalışmada kullanılan atık sanayi camlarının temininde gösterdikleri ilgiden dolayı Torbalı (İzmir) Cam San. ve Tic. Ltd. Şti firmasına bildirinin değerlendirme aşamasında önerileri ile katkılar sağlayan hakemlere ve bu organizasyonda emeği geçen tüm ekibine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] T. Ercan, Z. Yeğingil, G. Bigazzi, M., Oddone, M., Özdoğan, “Kuzeybatı Anadolu Oobsidiyen buluntularının kaynak belirleme çalışmaları” Jeoloji Mühendisliği, Sayı 36, Sayfa 19-32, 1990.
- [2] U. Akbulut, “Cam nedir? Nasıl ve ne zaman keşfedildi. 2010. <https://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2009/11/cam-nedir.pdf>
- [3] Pagçev, Türkiye’de 2019 yılında üretilen, piyasaya sürülen ambalaj ve geri kazanılan ambalaj istatistikleri, 2019. <http://www.pagcev.org/atik-istatistikleri>
- [4] K. K. E, Neuendorf, J. P. Mehl, J. A. Jackson “ Glossary of Geology” American Geoscineces Institute. 5th Edition. 2011.
- [5] H, Doğanay, N. T, “Altaş Doğal kaynaklar”, Pegem Yayınevi. Ankara, 2013.
- [6] U. Akbulut, “Obsidiyen: Anadolunun en eski ihraç ürünü”, 2016. [https://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/OBS% c4%b0DYEN-ANADOLU-NUN-EN-ESK% c4%b0-%c4%b0HRA% c3%87-%c3%9cR% c3%9cN% c3%9c-1-MART-2016.pdf](https://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2016/03/OBS%c4%b0DYEN-ANADOLU-NUN-EN-ESK%c4%b0-%c4%b0HRA% c3%87-%c3%9cR% c3%9cN% c3%9c-1-MART-2016.pdf)
- [7] F. V. Güngördü, “Obsidian and Its Significance For Cappadocian Pre-Pottery Neolithic” Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences Volume 3, pp 103-110, 2014
- [8] M. Demir, “Saikamış obsidiyen kaynakları ve değerlendirilmesi” Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 19, sayfa 119-139, 2017.
- [9] J. Hvaláč, “The technology of glass and ceramics”, Glass and Science technology 4, Elsevier Scientific Publishing Company, 1983.
- [10] R A. Eppler, D. R. Eppler, “Glazes and Glass Coatings, The American Ceramic Society” 2000.
- [11] W. D. Callister, “Material Science and Engineering: An Introduction” 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2007.
- [12] M. Y. Çelik, Ö. F. Emrullahoğlu, “Mermer Atıklarından Polyester Bağlayıcılı Suni Mermer Blok ve Levha Üretiminin Araştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 1, Safa 35-50, 1999.
- [13] L. Y. Ming, H. K Chun, C. C. Fang, L. L. Shang, D. L. Jyh, Y. S. Ming, and C. L. Jeng. “Artificial Stone slab production using waste glass, Stone fragmnets and vacuum vibratory compaction”, Cement and Concrete Composites. Sayı 30 sayfa 583 -587. 2008.
- [14] A. Ogata K. Nakamura K. Nagao and S. Akimoto S. “K-Ar age of young volcanic rocks of Turkey”, 1989 Annual Meeting of the Geochemical Society of Japan, ICO 3.

- [15] Y. Özdemir, N. Güleç, “Geological and geochemical evolution of the Quaternary Süphan stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere–asthenosphere interaction in post-collision volcanism”. J. Petrol. Sayı 55, sayfa 37-52, 2014.
- [16] TSE, 2006. TS 10088 EN 932-3. “Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem Ve Terminoloji” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [17] TSE 699, “Doğal yapı taşları-İnceleme ve laboratuvar metotları”, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2009.
- [18] TS EN 1097-6, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [19] TS EN 1097-1, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [20] TS EN 1097-2, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2010.
- [21] TS 6809, “Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1989.
- [22] TS EN 1936, “Doğal taşlar - Deney metotları – Gerçek yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini”, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010
- [23] TS EN 1926, “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini”, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [24] TS EN 13755, Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer basıncında su emme tayini”, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [25] TS EN 14157, “Doğal taşlar-Deney yöntemleri. Aşınma direncinin tayini”, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2017.
- [26] TS EN 12372, “Doğal taşlar-Deney yöntemleri. Yoğun yük altında eğilme tayini” Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2014.

Artificial Intelligence and Machine Learning as a Process Optimization driver under Industry 4.0 framework, the role of the people in the process

Federico Walas Mateo^{*1}, Andrés Redchuk²

^{*}fedewalas@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5437-5789

¹Universidad Nacional Arturo Jauretche, UNAJ, Florencio Varela (1888), Buenos Aires, Argentina.

²Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Facultad de Ingeniería. Buenos Aires, Argentina.
ETSI. Universidad Rey Juan Carlos. Mostoles, Madrid. España

Abstract The digitalization in industry, in particular under the new Industry 4.0 Paradigm, is making possible connecting products and processes. This should help people, materials, energy, plant and equipment to be more productive and efficient, and the repercussions for business processes should impact throughout the economy and the environment.

Connected products generate data that is being seen a key source of competitive advantage, and the management and processing of that data is generating new challenges in the industrial environment allowing data models to be used to optimize industrial processes.

The work to be presented looks into the framework of the adoption of Artificial Intelligence and Machine Learning in the Industrial sector under industry 4.0 or smart manufacturing framework. This work is focus on the discussion around Artificial Intelligence as an Industrial Process optimization, process operators and people in the shop floor.

The paper that is being presented includes a bibliometric research around Artificial Intelligence, process optimization and process operators under the Industry 4.0 or Smart Manufacturing paradigm. The results show that the subject regarding data models and process optimization is a relative well known issue in the scientific world but the involvement of the people in the shop floor apparently is not a very popular subject in the academic field.

Keywords: Industry digitalization, Industry 4.0, Process Operator, AI/ML, Data driven culture, people empowerment

I. INTRODUCTION

THIS paper pretends to research and look for impacts and results of the use of Artificial Intelligence as process optimization driver on the people involved in the processes to be optimized, under the industry 4.0 model.

When talking about Industry 4.0 paradigm, one of the first questions that generates debate is about the role of people in the new paradigm. In this sense, many authors speak of the opportunity for complementation and the new definition of the role of people working synergistically with technological systems. To graph the previous sentences it can be observed what Peter Thiel, co-founder of Pay Pal with Elon Musk among others, postulate in his book Zero to One [1] about the Man and Machine relationship. In this book he describe the opportunity to optimize the results of

the processes through the complementation between these two actors of the system. In this sense, he dedicates a chapter of the book to give visibility to the potential that exists in the complementation between man and machine. Thiel presents several examples of real cases. The most interesting is the one that led to the creation of the Palantir start-up, which addresses security issues and is nourished by a hybrid human-machine system. It is a software and hardware system that processes huge amounts of data, and ultimately expert human analysts make decisions.

An article from [2] establish that industry 4.0 refers to overall transformation using digital integration and intelligent engineering. Another interesting point of view is brought by [3], according these authors the novel paradigm represents an increasing fusion of Industrial Production and Information and Communication Technologies (ICT). Then information, objects and people are integrated due to the convergence of the physical and the virtual (cyberspace) worlds in the form of Cyber-Physical Systems (CPS).

The work below is structured starting from a conceptual framework. This first stage aims to describe the meaning of artificial intelligence as process optimization driver in industrial environments under Industry 4.0 paradigm.

Then the work brings early results of the research from previous works, then it goes deeper into a bibliometric analysis around the idea of AI/ML as a tool for the optimization of processes within the framework of the Industry 4.0 model and the people in the process. Methodologically, a technological mapping was carried out through an exercise on Scopus indexed database, whose results was analyzed using bibliometric indicators. Through these indicators, information was obtained about the main authors, and evolution of the relevance of the issue. The analysis was completed through the use of the VOSviewer® 1.6.11 software tool (<http://www.vosviewer.com/>), to analyze results under the framework of this work, and make easier to reach the conclusions.

II. CONCEPTUAL FRAMEWORK AND GENESIS OF THIS WORK

[4] give evidence that AI solutions have less barriers to be adopted in the industrial environment, and they will keep going down. In that article is stated that new business and operating models under Industry 4.0 strategy, but left an interrogation mark regarding how process operators or industrial engineers can cope with the challenge that means the disruption that is produced in the industrial scenario when adopting analytics models.

There are different works regarding issues of Artificial intelligence for the search of better operations processes that motivated the research that it is being developed in this paper. One of them is the article “A fuzzy decision support system for managing maintenance activities of critical components in manufacturing systems” by [5], another one that awake interest is “Machine learning applications in production lines: A systematic literature review” by [6]. And a third remarkable one is provided by [7] regarding the use of Artificial Intelligence to provide a predictive model for the maintenance of industrial machinery under industry 4.0 model. These papers give excellent insights and concepts about IA/ML to optimize industrial operations. Like other works, make focus in the analytics methodology and benefits of applying Artificial Intelligence and Machine Learning (AI/ML) in industrial processes. At this point there is no doubt about the value added and the feasibility of data analytics in manufacturing. What is aimed to study in this research is the state of the art of data science in the industrial environment and above all

how to democratize the use AI/ML and the reach for massive deployment to search for the excellence in production processes.

III. PRELIMINARY FINDINGS ON PEOPLE IN THE PROCESS AND AI

When focusing in what authors say about people regarding Artificial Intelligence and Machine Learning as a Process Optimization driver, six works appear to be relevant in a first approach to the issue that drives this research. The main findings are described below.

In the paper produced by [8], it is identified that collaboration between skilled data scientists, machine experts, feed manufacturing technologists and nutritionists, using advanced data analytics is required for process optimization. An improved interaction between those responsible for the actual formulation of animal diets, feed technologists and mill operators may result in a more constant final feed product quality and the lowest electrical and fossil energy consumption during manufacture.

Then [9] consider that virtual sensors, or soft sensors, have greatly contributed to the evolution of the sensing systems of the industry. Soft sensors are described as process models which have three fundamental categories, namely white-box (WB), black-box (BB) and gray-box (GB) models. WB models are based on process knowledge while the BB models are developed using data collected from the process. The GB models integrate the WB and BB models for addressing the concerns, like accuracy and intuitiveness of industrial operators.

In [10] it is affirmed that transitioning towards data-driven smart manufacturing environments in the context of Industry 4.0 with wearable technologies and sensors brings the opportunity to use the recorded data to deliver timely assistance to the operator and then employ it in retrospective for work process optimization. Despite these clear opportunities challenges are raised concerning the perceived threats of the usage of the data that outweigh the perceived benefits. Thus, it is paramount to strongly consider privacy concerns when designing a system for a smart manufacturing environment from the onset rather than an afterthought. This paper presents a trust and privacy framework to address these challenges in complex smart manufacturing systems. The evaluation results show that the framework helps to structure and understand the data-flow in a smart manufacturing scenario from a privacy perspective.

[11] consider that productivity and quality are the areas in which traditional manufacturing paradigms underperform due to the limitation of human operators' ability to cope with these complexities, uncertainties, understanding/memorizing big data, and also their inability to make time demanding decisions. Intelligent manufacturing systems, on the other hand, can yield superior results compared to traditional manufacturing systems as they are capable of analysing, self-learning, apprehending complexities and are also able to store and process large amounts of data to obtain increased quality of the product and lower production cost while shortening the time-to-market.

According to [12] a structured Business Intelligence platform is the basis for the use of a statistical data analytics approach, empowered by emerging technologies of Artificial Intelligence and Machine Learning for the extraction of hidden knowledge useful for production, cost and quality optimization. The steelmaking industry is an open field to apply these techniques: the high

availability of data and the necessity to control complex and multi-physics processes meet the requirements for a successful implementation of a data-driven approach. They show this at ABS, Acciaierie Bertoli Safau, in Cagnacco (Udine, Italy), where together with the expertise of industrial partners, started using Predictive Analytics. Several projects have been developed and tested in ABS' meltshop and then integrated in daily operation and management procedures. They can be divided into 3 different fields: process optimization, with real-time suggestions to operators during production, forecast of high-risk events and prediction of mechanical properties in final products.

Finally [13] in their work about planning and scheduling technology consider that an important research direction to realize big data technology based, is to integrate three elements, people/organization, operating management, and technology/equipment; with five flows (information flow, material flow, cash flow, knowledge flow, and service flow) in smart manufacturing cloud.

IV. HYPOTHESIS AND BIBLIOMETRIC METHODOLOGY

The next step in the research, considering the concepts in the previous sections, is to perform a bibliometric analysis on the topic of Artificial Intelligence, process optimization, Industry 4.0, and process operator to have stronger facts to raise conclusions.

As a basis for the analysis to be carried on, the article entitled "Industry 4.0: a bibliometric analysis and detailed overview" by [2] provided an interesting sample of the state of the art of technology around the concept under analysis, considering the bibliometric study. The authors summarized the evolution and growth in relevance of the industry 4.0 concept over the past few years, and provide concise background information and various areas of application.

The analysis task began with the definition of the search criteria. In this case, these are the keywords, artificial intelligence, industry 4.0, and the alternatives industrie 4.0, smart manufacturing, and advanced manufacturing systems, and the words object of this work people and the alternatives, engineer and human. Below is the methodology used.

Once the keywords were established, the Scopus database was searched. Scopus was selected considering that is one of the broadest scientific data base. The keywords included in the title, abstract and / or full text were combined using the Boolean operators "AND" and "OR". The search algorithm used was the following:

ALL "Artificial Intelligence" AND "industrial process" AND "industry 4.0" OR "Smart Manufacturing" OR "smart factory " OR "industrie 4.0" AND "engineer" OR "Human" OR "People"

This search performed on 19th April 2021, gave seven papers as result. Then the database was exported in a CSV file, to analyze the results in detail. The export was carried out in two formats, the first with the information related to the complete bibliographic data, and then another file that contains only the keywords and the abstracts of the papers found.

V. BIBLIOMETRIC ANALYSIS RESULTS

The first parameter to be analysed is the evolution of the number of documents per year, which, as shown in figure 1, has grown since the first paper on the subject in 2018.

According what can be seen in figure 1, the topic of this research is gaining strength and relevance, although is a novel subject and still not too strong, taking into account the evolution till the first article in 2018.

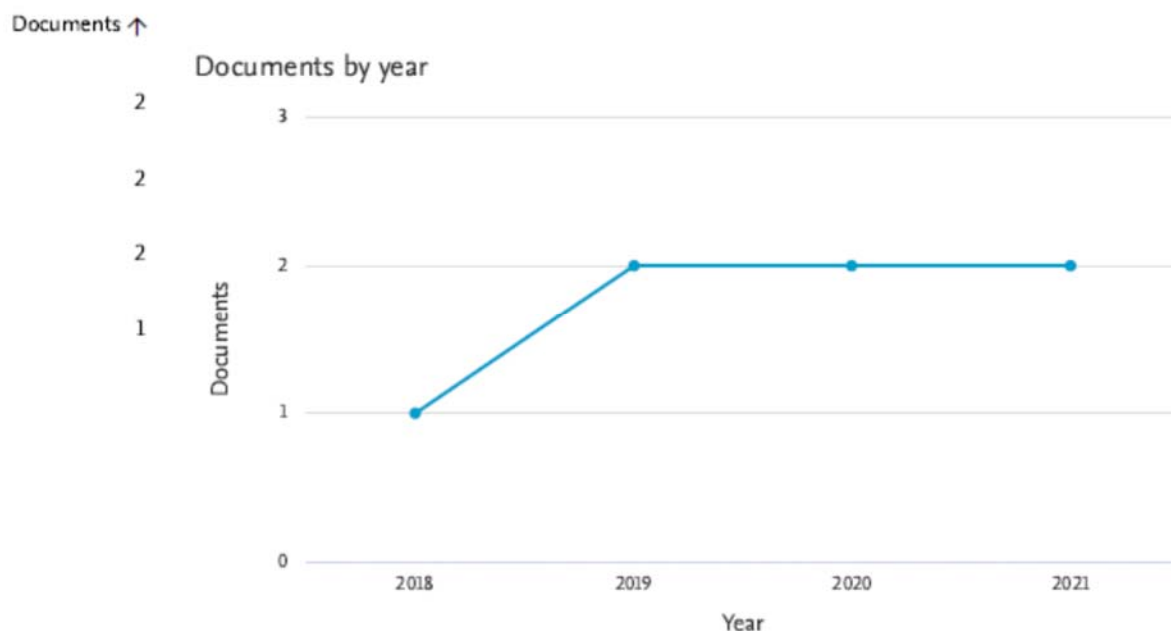


Fig. 1. Evolution in the number of publications about AI, process optimization among Industry 4.0, considering the people in the operation of the process. From Scopus data base

The second item that was observed from the search at Scopus was the most prolific authors in the studied subject. To visualize the authors with more papers in the subject of interest for this paper is by using the tool VOSviewer. Then it was possible to see the concentration of authors in a more graphical way. Below in figure 2, it is shown the concentration of authors, based on the number of publications and citations.

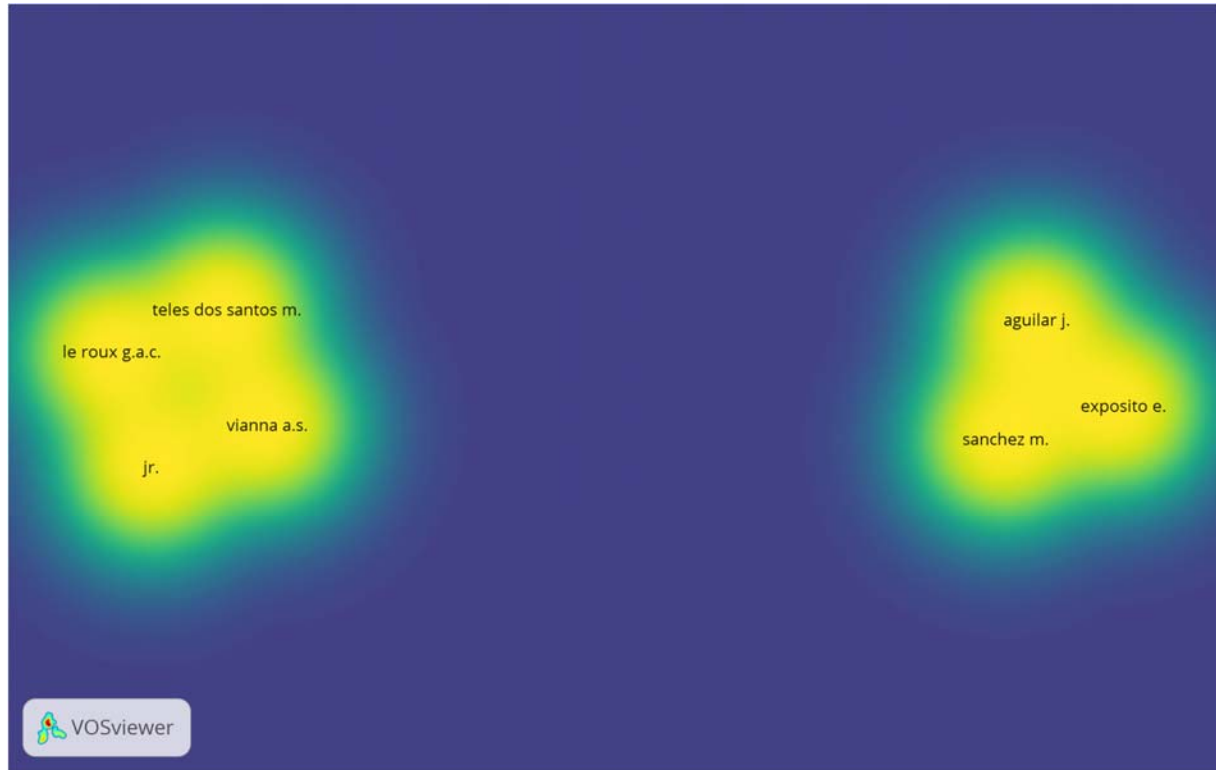


Fig. 2. Concentration of relevant authors on AI, process optimization among Industry 4.0, considering the people in the operation of the process at SCOPUS data base, generated with VOSviewer.

Finally, the keywords were analyzed with the clustering generated by the VOSviewer® 1.6.11 software tool, from the CSV file generated by SCOPUS data base. The results are shown in figure 3, which allows to count the words which appear in the title, abstract and keywords to build all the relations which appear between different documents published in SCOPUS [14]

Fig. 3 represents the results cloud map with relevant words of the articles. This map shows how many times the words appear in the articles and how related are between them. The cloud shows four clusters of words, with a strong link among them. The right side, with the light blue and yellow clusters related to automation in the industrial environment. The yellow related to strategy and maturity of the firm with words like management, knowledge, performance, among others; the violet cluster is related to research terms.

Then the red cluster in the center with the words internet, machine learning, and challenge. Finally at the left, the green cluster clusters, with the words artificial intelligence and smart contract.

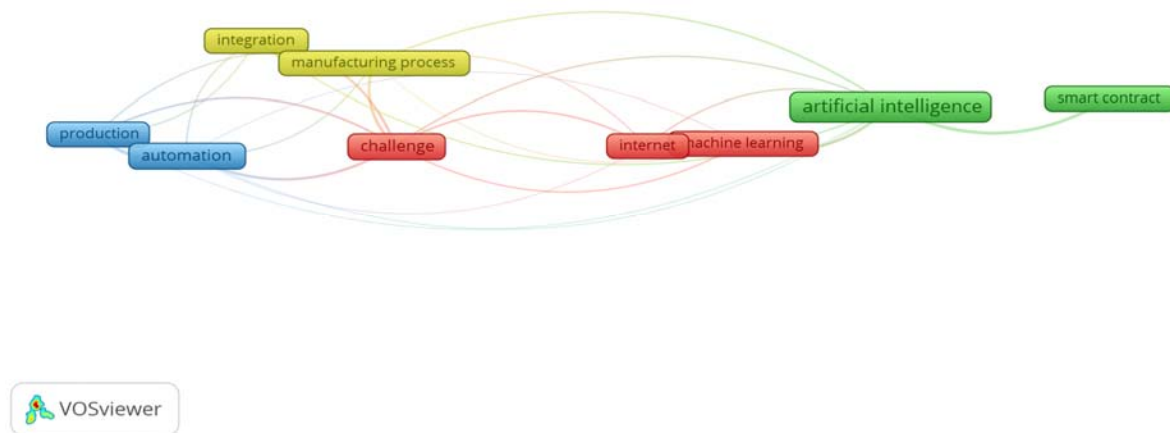


Fig. 3. Cloud map of words in titles and abstracts (full counting), generated with VOSviewer.

IV. CONCLUSION

The first conclusion from this work is that it can be seen that the concept of Artificial Intelligence in Industrial environment is well known and mastered by Researchers, Mathematicians, and engineers in software and operating research field, among others. A big doubt seems to appear regarding the knowledge of the concept and value that AI/ML can add in the shop floor for the process operator. The implications for people in the process for the success of AI/ML as process optimization driver under Industry 4.0 paradigm could not be validated by the bibliometric analysis. From the research performed seems there is a good niche to explore and a lot of work to do in the subject.

This work has been a good exercise to analyze the complexity that means involving IA/ML in industrial processes to optimize them. Some of the issues to continue looking into AI/ML in industrial processes are at first sight concepts like cybersecurity, complexity of deployment, and impact.

Some interesting findings were produced like how [15] propose a privacy-preserving in smart contracts using blockchain and artificial intelligence framework that simplifies human interaction, system activities, service alerts, security risks, and fraudulent claims.

The word integration seems to be a key one in AI to boost industrial processes considering people. Authors like [13] and [16] argue about the importance of integrating heterogeneous actors that carry the manufacturing process's tasks.

An other observation that left this work, is that the word challenge is present to make visible that deploying AI in the industrial environment to empower the people in the process is not a simple task.

Finally this work has been very usefull to go deeper into the subject and search about management skills that demand the challenges and integration that mention the authors when talking about IA and people in the industrial envoronment under Industry 4.0 model.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank two research projects that made possible the content of this article. The projects are "Análisis del abordaje de herramientas de Producción 4.0 en PyMEs locales", approved by Resolution (R) No. 148-18- UNAJ INVESTIGA 2017 Program, and "Mejora de Procesos, Optimización y Data Analytics", approved by Resolution Engineering Faculty of University of Lomas de Zamora. Buenos Aires. Argentine.

REFERENCES

- [1] P.Thiel . (2014) Zero to One.Crown Business. New York.
- [2] P. K. Muhuri, K. Shukla, Amit, A. Abraham. (2019). Industry 4.0. A bibliometric analysis and detailed overview. Eng. Appl. Artificial Intelligence 78, 218–235.
- [3] D. Ibarra, J. Ganzaraina, J. I. Igartua. (2017). Business model innovation through Industry 4.0: A review. 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017, October 2017, Tirgu-Mures, Romania.
- [4] F. Walas Mateo, A. Redchuk (2021). The Emergence of New Business and Operating Models under the Industrial Digital Paradigm. Industrial Internet of Things, Platforms, and Artificial Intelligence/Machine Learning. Volume 11, Number 2, 2021 of JMEA
- [5] I. Erozan. (2019). A fuzzy decision support system for managing maintenance activities of critical components in manufacturing systems. Journal of Manufacturing Systems. June 2019.
- [6] Z. Kang, C. Catal, B. Tekinerdogan. (2020) .Machine learning applications in production lines: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering 149.
- [7] J. R. Ruiz-Sarmiento, J. Monroy, F. A. Moreno, C. Galindo, J. M. Bonelo, J. Gonzalez-Jimenez. (2020). A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the con-text of industry 4.0. Engineering Applications of Artificial Intelligence 87 103289.
- [8] A.F.B.V. der Poel, M.R. Abdollahi, H. Cheng, R. Colovic, L.A. den Hartog, L.A., D. Miladinovic, G. Page, K. Sijssens, J.F. Smillie, M. Thomas, W. Wang, P. Yu, W.H.

Hendriks. (2020). Future directions of animal feed technology research to meet the challenges of a changing world. *Animal Feed Science and Technology*.

- [9] I. Ahmad, A. Ayub, M. Kano, I.I. Cheema. (2020) Gray-box soft sensors in process industry: Current practice, and future prospects in era of big data. *Processes*. Volume 8, Issue 2.
- [10] F. Mannhardt, S.A. Petersen, M.F. Oliveira. (2019). A trust and privacy framework for smart manufacturing environments. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*.
- [11] S. Liang, M. Rajora, X. Liu, C. Yue, P. Zou, L. Wang. (2018). intelligent manufacturing systems: A review 2018. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*.
- [12] A. Spadaccini, M. Di Pierro, P. Nadalutti, L. Cestari, G. Pellegrini. (2018). Data- driven prediction models at Acciaierie bertoli safau meltshop. ICS 2018 - 7th International Congress on Science and Technology of Steelmaking: The Challenge of Industry 4.0.
- [13] Y. Xiao, B. Li, B. Hou, G. Shi, T. Lin, C. Yang. (2016). Planning and scheduling technology review of supply chain management in smart manufacturing cloud. 2016 Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS.
- [14] J. Van Eck, L. Waltman. (2020). Manual for VOSviewer version 1.6.15. Universiteit Leiden.
- [15] B.D. Deebak, F. AL-Turjman, (2021) Privacy-preserving in smart contracts using blockchain and artificial intelligence for cyber risk measurements. *Journal of Information Security and Applications*, 58, art. no. 102749, .
- [16] Sanchez, M., Exposito, E., Aguilar, J. (2020) Autonomic computing in manufacturing process coordination in industry 4.0 context(Article) *Journal of Industrial Information Integration*. Volume 19.

Artificial Intelligence Based Optimization Approach for Container Loading Problem

Konteyner Yükleme Problemine Yapay Zeka Bazlı Optimizasyon Yaklaşımı

Aykut ŞEN^{*,1}, Müzeyyen Göksel², Hasan Şahin³

*aykutsn@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2716-5863

¹CITS Bilişim Hizmetleri ve Yazılım San.Tic.A.Ş., Bursa, Turkey

²Küçükçalık Tekstil A.Ş., Bursa, Turkey

³Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey

Abstract In this day and age reducing logistics costs effectively has become an increasingly important issue for both customers and suppliers. For this, studies are carried out in various fields, and one of them is the more efficient use of existing containers. More efficient loading layout is also aimed as an extension of this. These problems are also known as container loading problems which are included in the literature as a sub-branch of cutting and packaging problems and are accepted as an NP-Hard problem. Even if an NP-Hard problem is NP-Complete, it may not be in our calculation skills. In such a case, we need algorithms that can enable us to be as close as possible to the optimum result and develop it step by step. At this point, heuristic and metaheuristic (artificial intelligence-based) optimization algorithms provide us with proven solutions in this regard. Based on this, the study pointed out in this paper includes a C++ application of a genetic algorithm-based solution to the container loading problem. The genetic algorithm is one of the highly effective and well-known artificial intelligence optimization algorithms and directed search algorithms which is created by taking inspiration from the evolutionary development process in nature. With the genetic algorithm, boxes of various sizes are placed in the container with a local and global bounding box approach. However, the ability of the boxes to be rotated is not used while placing. Also, the center of gravity control is not made especially for stacking. It is foreseen that the algorithm can be used to increase efficiency by filling these gaps in the future with a hybrid structure where the study will be developed. At this stage, for the applicability of the solution in such a situation, external supports are put to eliminate the handicap caused by overflowing in the overlapping placements. The results obtained are compared with some other algorithms and studies that solved the same test problems in the literature and examined as a result.

Keywords: Genetic algorithm; Artificial intelligence; Optimization; NP-Hard; Container Loading

Özet: Lojistik maliyetlerini etkin bir biçimde düşürmek günümüzde hem müşteriler, hem de tedarikçiler açısından giderek daha önemli bir konu olmaya başlamıştır. Bunun için çeşitli alanlarda çalışmalar sürdürülmektedir ve bunlardan biri de mevcut konteynırların daha verimli kullanılması üzerine olan çalışmalardır. Daha verimli yerleşim düzeni ve böylece sağlanacak hacim avantajı da bunun bir uzantısı olarak amaçlanmaktadır. Konteyner yükleme problemi olarak

isimlendirilen bu problemler; kesme ve paketleme problemlerinin alt dalı olarak literatürde yer almaktadır ve NP-Hard bir problem türü olarak kabul edilmektedir. NP-Hard bir problem NP-Complete olsa dahi bizim hesaplama yetimizin içerisinde olmayabilir. Böyle bir durumda optimum sonuca olabildiğince yakın olmamızı sağlayabilecek ve bunu adım adım geliştirebilecek algoritmalara ihtiyaç duymaktayız. Bu noktada sezgisel ve metasezgisel (yapay zeka tabanlı) optimizasyon algoritmaları bize bu konuda etkinliği kanıtlanmış çözümler sunarlar. Buna istinaden bu çalışma da NP - hard bir problem olan konteyner yerleştirme probleminin genetik algoritma tabanlı bir çözümünün C++ ile yapılmış bir uygulamasını içermektedir. Genetik algoritma, doğada evrimsel gelişim sürecinden ilham alınarak oluşturulan oldukça etkili ve bilinir yapay zeka optimizasyon ve yönlendirilmiş araştırma algoritmalarından biridir. Genetik algoritma ile konteyner içerisine çeşitli boyutlardaki kutular yerel ve genel sınırlayıcı hacim kutu yaklaşımı ile yerleştirilmiştir. Fakat yerleştirme yaparken kutuların döndürülebilme özellikleri kullanılmamıştır. Üst üste konulmada da ağırlık merkezi kontrolü özellikle yapılmamıştır. Bu boşlukların; çalışmanın geliştirileceği hybrid bir yapı ile ileride dolurulmasıyla algoritmanın etkinliği arttırmak için kullanılabilirliği öngörülmektedir. Şu aşamada böyle bir durumda çözümün uygulanabilirliği için üst üste koymadaki ağırlık merkezi taşamasının yaratacağı handikapı gidermek için destek konulacağı ön görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürde aynı test problemlerini çözmüş bazı diğer algoritma ve çalışmalarla karşılaştırılmış ve sonuç olarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma; Yapay zeka; Optimizasyon; NP-Zor; Konteyner Yükleme

GİRİŞ

KONTEYNİR kullanımı dünyada uluslararası taşımacılık alanında çok büyük bir kullanım alanına sahiptir. Bu sebeple de doğrudan ya da dolaylı olarak dünya ve yerel ekonomi üzerinde büyük etkilere neden olmaktadır. Ulusal ve uluslararası alanda bu etkiler çerçevesinde her müşteri veya tedarikçi ürününün en uygun maliyetlerle ulaştırılmasını bekler ya da hedefler. [1] Maliyeti düşürmenin yollarından biri de konteyner hacmini en iyi şekilde doldurmaktan geçer. Bunu yapmanın yolu da optimizasyon araçlarını kullanmaktan geçmektedir.

A. Optimizasyon ve Konteyner Yükleme Problemi

Optimizasyon, istenen çıktıyı elde edebilmek amacıyla, sistem girdilerinin ve / veya bu girdilerin değerlerinin ne olacağının belirlenmesi sürecidir[2]. Daha basit bir tanımlama ile verilen kısıtlar altında en iyi çözümün bulunması denebilir. Bu süreçte kullanılan teknikler problemin yapısını göre farklılık gösterebilir. Problemler karmaşıkları seviyesinde çeşitli şekilde sınıflandırılırlar [3]:

- **P:**Eğer polinomial zamanda çözülebiliniyorsa (Deterministic Polinomial)
- **NP:**Yapısal olarak polinomial zamanda çözülebilirliği ortaya konamasa da doğrulanabilirliği polinomial olan (Non-Deterministic Polinomial)
- **NP-Hard:**En az NP'deki en zor problem kadar zor olan ve herhangi bir polinomial özelliği olma zorunluluğu olmayan problemler
- **NP-Complete:** NP-Hard olmasına rağmen NP olarak indirgenebilen; NP kümesinin en zor

problemleri

Bu çerçevede kullanılan optimizasyon tekniklerini sınıflandırmak mümkündür [2]:

- Analitik yöntemler (matematiksel modelleme, dal-sınır algoritması, benzetim metodu gibi matematiksel programlama ve süreç teknikleri): Verilen tolerans dahilinde problem çözüme kavuşturulur. NP-Complete veya NP-Hard gibi büyük problemlerde çözüme ulaşmak çok uzun sürer veya çözüme ulaşamaz.
- Sezgisel yöntemler: Probleme özgü çözüm yöntemlerini içeren ve hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vermek amacı ile oluşturulan algoritmalar. Büyük problemlerde problemin yapısı gereği analitik yöntemlere göre problemi daha hızlı çözüme ulaştırırlar ancak genellikle ortaya çıkan sonuç optimuma yakın bir sonuçtur.
- Yapay zeka tabanlı (meta-sezgisel) yöntemler: NP-Complete ve NP-Hard gibi büyük problemlere bir çözüm çerçevesi sunan; girdileri çıktıları ve kendini parametrik ve davranışsal olarak dönüştürülebilen yaklaşımlardır. Kendi içinde interaktif iteratif yapı sayesinde optimum bulabilme olanağı sezgiselden ayrılır ve genel olarak problem bağımsız çözüm olarak ortaya koyulabilmektedirler. Kısacası sezgiseller gibi bir problem özelinde ortaya konmazlar.

Konteyner yükleme, kesme ve paketleme problemlerinin alt dalı olarak literatürde yer almaktadır.[4] NP-Hard bir problem türü olarak kabul edilmektedir. çözüme ulaşmak çok uzun sürer veya çözüme ulaşamaz.

Konteyner yükleme probleminin temel amacı; yükseklik, boy ve en bilgileri verilen n adet kutunun, ölçüleri belli bir konteynerın içerisine yerleştirmek ve yerleşimin ardından konteyner içerisindeki boş alanı en aza indirmek ve konteyner hacmini maksimize etmektir.[4] Ağırlıklandırma, kutu özelliklerine bağlı üçüncül kısıtlandırma / amaçlarla özelleştirmeler yapılabilir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmaya da karşılaştırma referansı olabilmesi için bu bölümde benzer problemler üzerine literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Yiğit ve Aydemir [1] tarafından ortaya konan çalışmada genetik algoritma kullanarak hazırlanan programda taşıma maliyetini düşürmek amacıyla konteyner içi boş alanın minimizasyonu ve yüklenen kutu sayısının maksimizasyonu amaçlanmıştır. Yapılan çalışma literatürdeki diğer genetik algoritmalar ve diğer sezgisel algoritmalarla karşılaştırıldığında önerilen yöntemin sonuçlarının diğer algoritmaların altında kaldığı gözlemlenmiştir

Dereli ve Daş [4], üç boyutlu konteyner yükleme probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu algoritmaları kullanılarak çözülmesi üzerine bir çalışma yapmış ve u çalışmada sunulan karınca kolonisi optimizasyonu algoritmalarının tasarımında, kutuların konteynere yerleştirilirken hangi sırayla yerleştirilecekleri üzerinde durulmuş, fakat kutuların farklı eksenlerde dönebilme/döndürülebilme özelliklerinden faydalanılmamıştır. Bu özellikten de yararlanacak şekilde farklı komşuluk yapıları tasarlanabilir, kullanılabilir ve bu yeni yapıların algoritmaların performansları üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Gehring ve Bortfeldt [5] yaptıkları çalışmada konteyner yükleme problemi için genetik algoritma sunmuştur. Konteyner yükleme problemi birbirinden farklı kısıtlar içerebilir. Sunulan algoritmanın performansı, sayısal bir testle gösterilmiştir.

Pembe [6] tarafından konteyner yükleme problemine tabu arama algoritması tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Sezgisel sonuçları ve model sonuçları amaç fonksiyon değeri ve çözüm süresi kriterleri yönünden mukayese edilmiştir. Amaç fonksiyon değerleri açısından, sezgiselin model ile ulaşılan optimal sonuçlara ulaşabildiği, modelin verilen süre kısıtı altında çözüm bulamadığı büyük problemler için sezgiselin kısa sürede uygun çözümler bulabildiği görülmüştür.

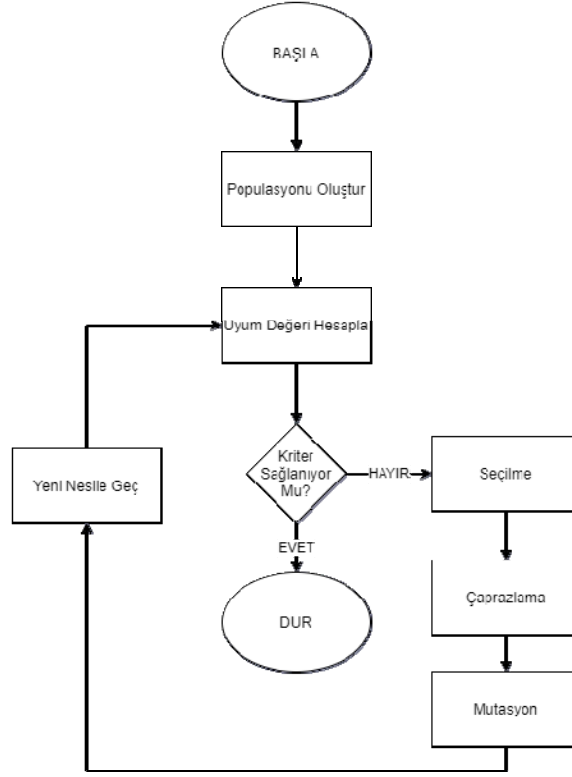
Özsüt [7] tarafından yapılan çalışmada literatürde yer alan hacim kaybının enküçüklenmesinden farklı olarak, seçilen konteyner çeşit sayısının da en küçüklenmesi amaçlanmıştır ve tavlama benzetimi aracılığıyla sezgisel yöntemle elde edilen başlangıç çözümler iyileştirilmiştir.

Erdem [8] yaptığı çalışma ile konteyner yükleme problemini içeren bir uygulamayı genetik algoritma kullanarak çözmektedir. Çalışma genetik algoritma kullanarak, en iyi sağ kalanlar yaklaşımında yeni nesiller üreterek bunların uyum değerlerinde en uygun çözüm araştırmıştır.

III. YÖNTEM

Genetik algoritma (GA) doğada evrimsel gelişim sürecinden ilham alınarak oluşturulan oldukça etkili ve bilinir bir yapay zeka optimizasyon algoritmasıdır. İlk olarak J. Holland tarafından 1975 yılında basit bit dizileri kullanılarak karmaşık yapıların kodlanabileceği gösterilerek ortaya konmuştur [9].

Genetik algoritma, bireylerden oluşan bir popülasyona seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin uygulanmasını kapsar. Bu işlemlerin uygulanmasının ardından yeni bir popülasyon meydana gelir. Her bireyin kendine ait bir uyum değeri vardır. Yeni oluşan popülasyon bu uyum değerine göre seçilir. Her yeni oluşturulan popülasyonda daha uyumlu popülasyonlar meydana getirilmeye çalışılır.



Şekil 1- Genetik algoritma akış

Genetik algoritmayı da bu kadar etkin ve göreceli olarak hayran verici kılan da bu evrimsel simülasyona benzeyen yapısıdır. Bununla birlikte algoritmanın seçilme nedenlerini şu şekilde ifade edebiliriz:

- Literatür incelendiğinde konteyner yükleme problemlerinin matematiksel programlama ile bir çözümü olmadığı için metasezgisel yöntemlerle çözümler üretildiği görülmektedir.
- GA, literatürde etkinliği bir çok problem için kanıtlamış yaygın ve güçlü bir metasezgisel optimizasyon yöntemidir.
- GA, tek noktaya bağlı kalarak arama yapmaz, yığının veya popülasyonun tamamında arama yapar. Yerel maksimumlara takılma olasılığı düşüktür.
- GA, önceden elde edilmiş bilgiyi değil, amaç/uygunluk fonksiyonundan elde edilmiş bilgiyi kullanır.
- Geleneksel bazı yapay zeka yaklaşımların aksine inputlardaki küçük değişikliklerde ve gürültüsel bir veri ortamında kırılımsal bir yapı göstermez.

Genetik algoritmayı oluşturan temel yapılar gen, kromozon ve popülasyondur. Gen; kendi başına anlamı olan ve probleme ait en küçük bilgiyi taşıyan genetik yapıdır. Bir bit olabilir; bit dizisi, indeks, harf, ağaç, graph, koordinat veya sembol bile olabilir. Kromozon; bir ya da birden fazla genin bir araya gelerek problemin bir çözümünü temsil ettiği yapıdır. Birey ise algoritmanın temelinde aslında kromozondur ancak biyolojik evrimsel yaklaşıma paralel bu kromozomun temsil

ettiği yapıyı (chromosome representation) , yani fenotipi de ifade edebilecek şekilde kullanılabilir. Populasyon; probleme ait çözümlerin kromozonlarını içeren bireylerin bir araya gelmesiyle oluşan topluluğa denir. Populasyon büyüklüğü problemin çözüm süresini ve etkinliğini oldukça etkilemektedir.

Genetik algoritmada genlerin ifade edilişi genetik kodlamadır. Çeşitli yollarla bu kodlama yapılabilir. İkili kodlama olarak genler 0 -1 olarak belirtilirler. Permutasyon kodlama ise genlerin indeks belirttiği kodlama şeklidir. Değer kodlamada ise her kromozon bir değerler kümesidir. Ağaç kodlama ise kromozon olarak bir hesaplama veya programlama yapısını ifade eden kodlamadır.

Genetik algoritmada daha iyi özelliklere sahip nesiller üretmek amaçlı belli başlı işlemleri gerçekleştirip çözüm uzayını genişleten yapılara genetik operatörler denir. Genetik algoritmada kullanılan temel operatörler şu şekilde sıralanabilir:

- Seçilme Operatörü
- Çaprazlama Operatörü
- Mutasyon Operatörü

Seçim işlemi bir sonraki nesil için birey üretmek amacıyla hangi ebeveynlerin seçilmesi gerektiğine karar verir. Seçim işlemi için kullanılan yöntemlerden biri rulet yöntemidir. Bu yöntemde her birey uyum değeriyle orantılı bir olasılık değeri ile seçilmektedir. Rulet tekerleğinin yüzeyi bireylerin uyum değerleriyle orantılı olarak işaretlenir. Turnuva yönteminde de rastgele seçilen iki bireyden uyum değeri yüksek olan bir sonraki popülasyona aktarılır. Bir diğeri de sıralama seçim yöntemidir. Bu yöntemde popülasyon, uygunluk değerine göre tersten sıralanır ve birey kendi indisine göre bir sonraki nesile aktarılma şansı elde eder. Çözümler arası uçurumlar yaratmadığından bu lokal optimumlara karşı rulete göre daha iyi bir yaklaşımdır.

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 2- Sıralama seçim yöntemi şans dağılımı

Çaprazlama, iki bireyin birbirleri arasında gen alışverişinde bulunup yeni birey ya da bireyler oluşturmasıdır. Kullanılan yöntemlerden bazıları:

- Tek Noktalı Çaprazlama Yöntemi: Seçilen iki birey çifti için ilk ve son gen dışındaki genlerden bir nokta rastgele seçilir. Seçilen noktadan sonra gelen genler her iki bireyde karşılıklı olarak yer değiştirir.
- Çift Noktalı Çaprazlama Yöntemi: Seçilen iki birey çifti için ilk ve son gen dışındaki genlerden iki nokta rastgele seçilir ve bu noktalar arasındaki genler yer değiştirilir.
- PMX (Partially Mapped Crossover) Çaprazlama Yöntemi: Seçilen iki birey çifti için ilk ve son gen dışındaki genlerden iki nokta rastgele seçilir ve bu noktalar arasındaki genler yer değiştirilir.

Herhangi bir bireydeki bir genin -sebepl olmadan- rasgele değiştirilmesidir. Burada amaç mevcut bireyin genlerinin bir veya birkaçını değiştirilerek yeni bireyler elde etmek ve popülasyona çeşitlilik kazandırmaktır. Bazı uygulama yöntemleri şunlardır:

- Değer Değiştirme: Herhangi bir gendeki değer genotipin yapısına uygun şekilde yine rassal bir şekilde değiştirilir.
- Değer Kaydırma / Yerleştirme: Kromozon içindeki gen grubu rasgele başka bir noktaya taşınır.
- Karşılıklı Değişim: Kromozon içerisinde seçilen iki gen bir birleriyle yer değiştirir.

Genetik algoritmada problemin yapısına ve amaca göre bir kaç farklı durdurma kriteri olabilir. Bunlardan basılar:

- Hedeflenen Nesil Kriteri: Belirli bir nesil sayısı sonunda algoritma durdurulur. Bizim çalışmamızda sonlandırma bu şekilde belirlenmiştir.
- Optimizasyon Hedefi Kriteri: Mevcut bir hedef değeri varsa buna ulaşana kadar çalıştırılması bu durdurma kriterini tanımlamaktadır.
- Minimum İyileşme Kriteri: Bulunan değerlerdeki iyileşme hızının azalması, daha fazla iyileşme beklenmemesi gerektiğini gösterdiği düşünülerek sonlandırma yapılır.

IV. UYGULAMA

Uygulama native C++ dili ile programlanmıştır. C++ seçilmesinin nedenlerini şu şekilde maddelendirebiliriz:

- Native C++ , modern versiyonları ile bir çok high level özelliği de barındıran low-mid-level bir dil olduğu için uzun sürebilecek algoritmalar için bir çok diğer programlama diline göre daha verimli ve kısa sürede sonuç verebilecek yapıdadır.
- C ve C++ GPU Accelerated Computing konusunda etkin diller olduğu için gerekirse ileride algoritmada GPU hesaplama gücünü de katabilme avantajı da bize katabilmektedir.
- C++ cross-platform olarak bir çok environment içerisinde kolaylıkla ve etkinliğini muhafaza edecek yapılar ortaya koyabilir.

Genetik algoritmanın çalıştırılmasında literatürde yer almış açık kaynak kodlu openGA [10] motoru özelleştirilerek kullanılmıştır.

A. Genotip & Fenotip

Her bir kutunun sırası (index) gen olarak tanımlanmış ve bu sıra dizisi de kromozon olarak ortaya konumuştur. Şu şekilde bir dizi (C++'da std::vector kullanılmıştır) tanımlanmıştır:

$$[0,1,2,3,4,5, \dots n] \quad (1)$$

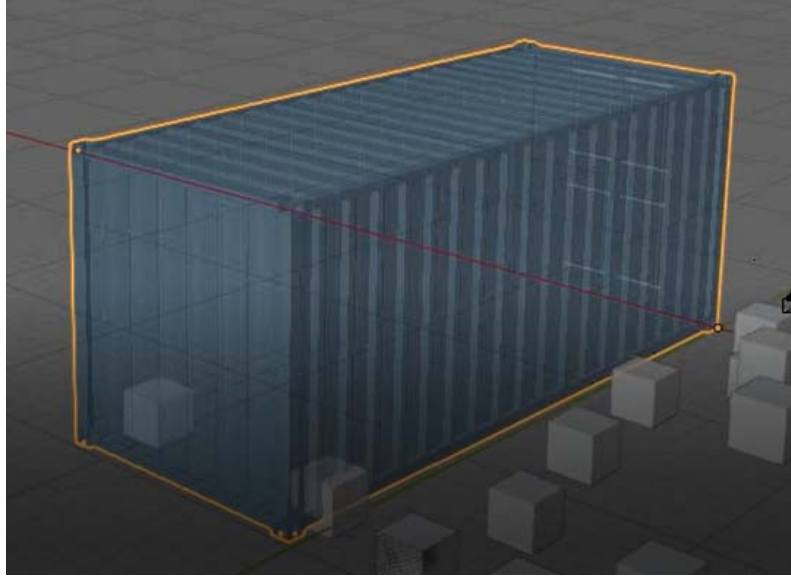
Kutuların yerleştirilmesinde “duvar örme” (wall-building) yaklaşımı ve kule oluşturma yaklaşımları temel alınmıştır. İlk kez George ve Robinson [11] tarafından 1980 yılında önerilen katmanlı duvar örme literatürde en sık kullanılan ve yüksek kalitesi nedeniyle en çok yer verilen doldurma yaklaşımlardan birisidir.

Çalışma fenotip yani kromozon reprezentasyonu olarak genotipinde yer alan kutu indislerini kullanmaktadır. Çalışmada bu yaklaşımdaki katmanlı yapıyı global kapsayıcı kutu ve lokal

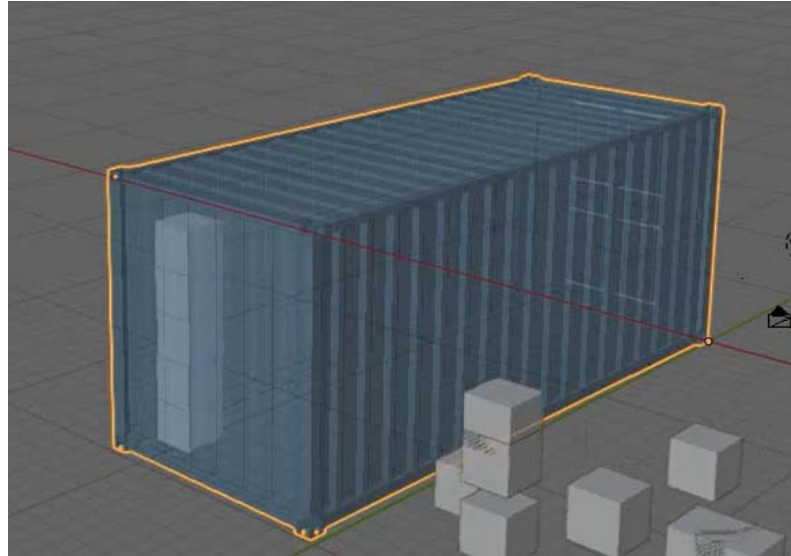
kapsayıcı kutu yaklaşımıyla farklılaştırarak ortaya konulmuştur.

Önce başlangıç noktasına ilk kutu konarak algoritma başlar ve sonrasında gelen kutular üst bu kutunun üstüne konarak yerel bir kapsayıcı kutu hesaplanır. Sonra yeni kutu bu yerel kapsayıcı kutuya göre tekrar yerleştirilmeye çalışılır eğer mümkün olmazsa yan tarafa geçer ve yeni bir yerel kapsayıcı hesaplanır. Sağ tarafında da gidecek yer kalmayınca genel kapsayıcı kutuya göre ileriye doğru algoritma tekrar edilir.

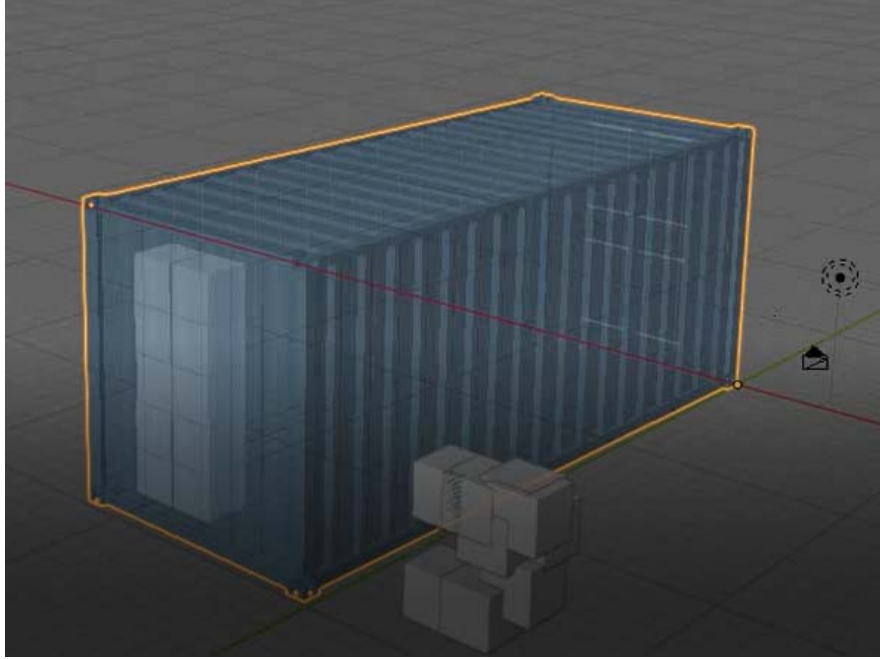
Şekil 3, Şekil 4 , Şekil 5 ve Şekil 6 'da üç boyutlu görsel olarak ve Şekil 7'de de yerleştirme yaklaşımının akış yapısı gösterilmiştir.



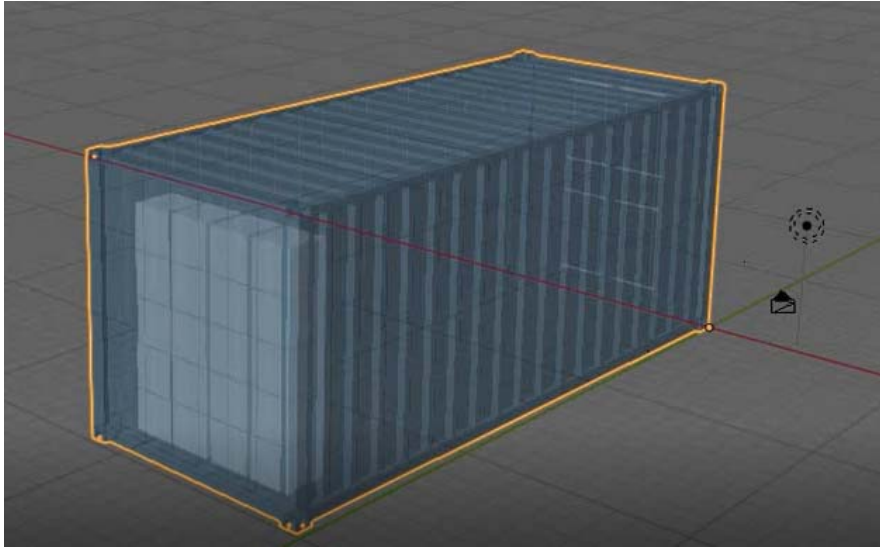
Şekil 3- İlk kutunun konulması



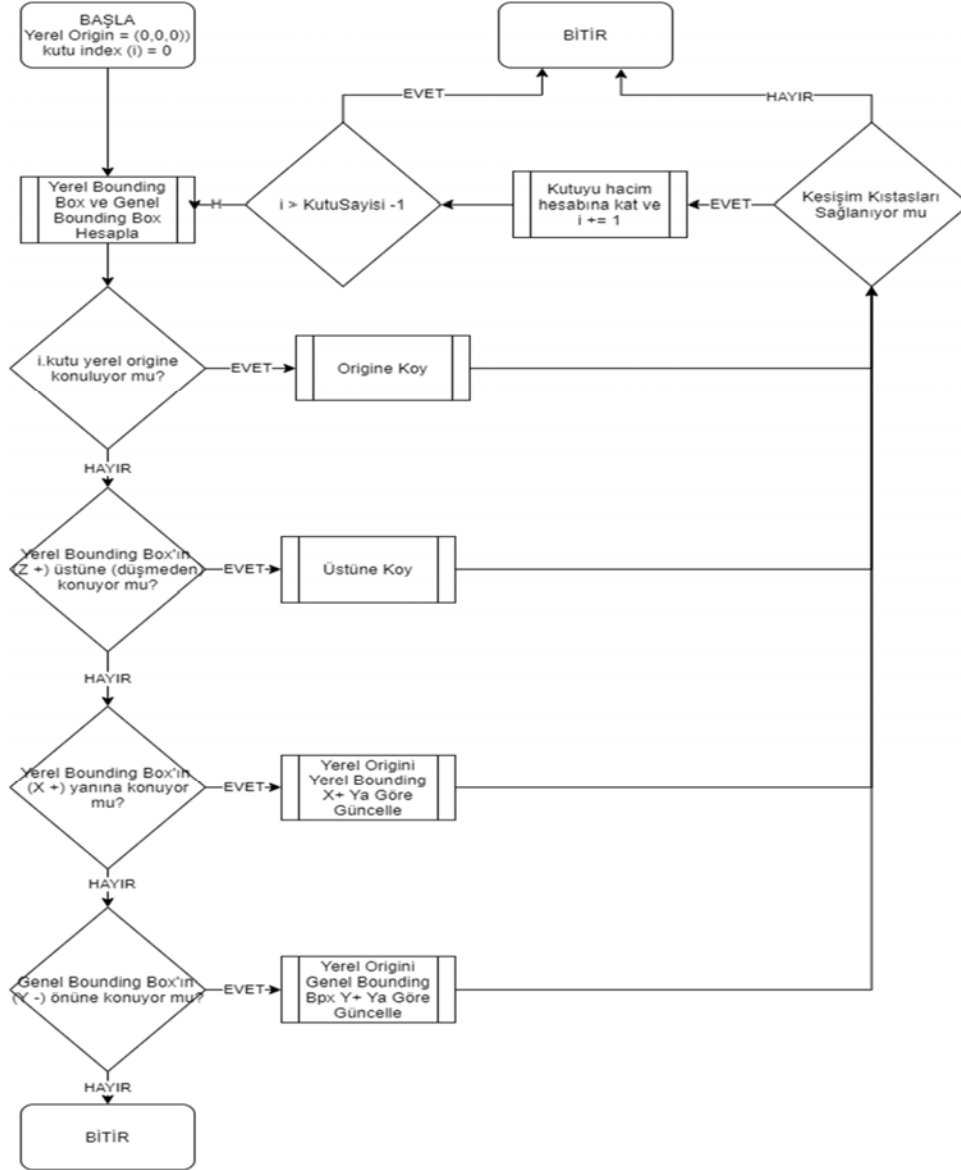
Şekil 4- İlk sütunun konulması



Şekil 5- Yeni lokal kapsayıcı kutunun doldurulması



Şekil 6- İlk sıranın konulması



Şekil 7- Kutu yerleştirme algoritma akış diyagramı

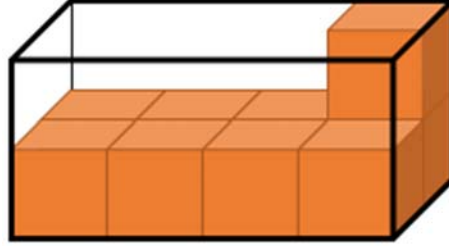
Çalışmada yerleştirme yaparken kutuların döndürülebilme özellikleri kullanılmamıştır. Üst üste konulmada da ağırlık merkezi kontrolü özellikli yapılmamıştır. Bunun nedeni sonuç bölümünde de belirtileceği gibi hibrit bir çalışmaya dönüştürüldüğünde bu özelliği kullanmaktır.

Uygulamada kullanılan operatorler:

- Seçim: Sıralama Seçim Yöntemi elitizm stratejisi ile birlikte kullanılmıştır. Elit birey sayısı parametrik olarak değiştirilebilir.
- Çaprazlama: PMX çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.
- Mutasyon: Modelimizdeki permutasyon yapısının zarar görmemesi için “Karşılıklı Değişim” yöntemi kullanılmıştır.

V. DENEY VE TESTLER

A. Fonksiyonel Testler



Şekil 8- Basit fonksiyonel test konteynırı

Basit fonksiyonel test olarak 16 adet en,boy, yükseklik olarak 10,10,10 ölçülerinde kutuyu, 40,20,20 ölçülerinde konteynıra yerleştirmesi için algoritma çalıştırıldı. Problem çok basit olduğu için değer beklenildiği gibi optimum sonuç olan 1 olmuştur. 15 kutu için de aynı test yapılmış ve yine beklenildiği gibi 0,9375 olmuştur. 17 kutu için de davranış testi yapılmış ve 1 değerini aşmadığı görülmüştür.

B. Karşılaştırma Testleri

Konteyner yükleme problemleri karşılaştırması için Bischoff ve Ratcliff'in (BR) 1995 yılında yayınladıkları makalede ki BR test verileri [12] kullanılmıştır. Çalışma veri setindeki 7 gruptan rassal olarak 10 set için yapılmıştır. Populasyon 200, iterasyon (jenerasyon) 200 ve mutasyon oranı 0.1 olarak belirlenmiştir.

Tablo 1- İncelenen mevcut yöntemin karşılaştırılması

	GB_GA	YA_GA	DD_KKS2	Mevcut
BR1	85.80	76.86	77.75	73.0
BR2	87.26	76.80	79.41	69.1
BR3	88.10	75.86	80.41	71.3
BR4	88.04	75.23	80.40	76.2
BR5	87.86	74.71	79.94	83.3
BR6	87.85	75.28	79.87	71.8
BR7	87.68	74.66	79.23	72.6
Ortalama	87.51	75.59	79.57	73.9

Gehring ve Bortfeldt'in genetik algoritması (GB_GA) [5] , Yiğit ve Aydemir'in genetik algoritma çalışması (YA_GA) [1], Dereli ve Daş 'ın karınca koloni algoritması (DD_KK2) [4] Tablo – 1'de karşılaştırmalı olarak mevcut çalışma ile birlikte ortaya konmuştur.

VI. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma ile konteyner doluluk hacmini maksimize etme amacıyla genetik algoritma tabanlı bir çözüm ortaya konmuştur. Genetik algoritma ile konteyner içerisine çeşitli boyutlardaki kutular yerel ve genel kapsayıcı kutu yaklaşımı ile yerleştirilmiştir. Çalışmada yerleştirme sırasında kutuların döndürülebilme özellikleri kullanılmamıştır. Üst üste konulmada da ağırlık merkezi

kontrolü özellikle yapılmamıştır. Bu noktada bir desteğin olduğu varsayılmıştır. Bu özelliklerden yararlanacak şekilde farklı yapılar tasarlanabilir ve bu yeni yapıların algoritmaların performansları üzerindeki etkileri araştırılabilir. Çalışmanın gelecekte vardırılabileceği hibrit yapıyla bu destek boşlukları da doluluk hacminin artırılması konusunda kullanılabilir.

Çalışmanın testleri özellikle çalışmanın ilerletilebilmesi için anlamlı bir sonuç verip vermeyeceği amacıyla değerlendirilmiştir. Literatürde karşılaştırılan yöntemlerin altında kalmasına rağmen çalışmanın hibrit bir şekilde ilerletilmesi ve döndürme özelliğinin katılması durumunda daha iyi sonuçlara varabileceği sonucuna varılmaktadır.. Geliştirilmiş veya mevcut hali ile BR'deki tüm veri setleriyle ; ayrıca Loh ve Nee (LN) [13] test problemleriyle deneyler yapılabilir ve sonrasında çalışma buradak davranışlarına göre ilerletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Yiğit, M. Aydemir, “Paket Döndürmeksinizin Genetik Algoritma Kullanarak Konteyner Yükleme Problemi Optimizasyonu”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,2018, pp. 21-28
- [2] E.G. Ermutaf , ” Çok Amaçlı Konteyner Yükleme Ve Araç Rotalama Problemlerinin Çözümü İçin Genetik Algoritma Yaklaşımı: Porselen Sektöründe Karar Destek Sistemi Önerisi” , Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019
- [3] A. Schrijver, “Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency”, Volume A, Springer, Germany, 2003.
- [4] T. Dereli, G.S. Daş, “Konteyner Yükleme Problemleri için Karınca Koloni Optimizasyonu Yaklaşımı.” Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(4), 2010,881-894.
- [5] H. Gehring, A. Bortfeldt, “A genetic algorithm for solving the container loading problem”. International Transactions in Operational Research, 1997,pp 401-418.
- [6] O. Pembe, “Üç Boyutlu Konteyner Yükleme Karışık Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi İçin Matematiksel Model Önerisi Ve Sezgisel Tabanlı Bir Çözüm Yaklaşımı.”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2014.
- [7] Z. Özsüt, “Konteyner Yükleme Problemleri İçin Matematiksel Modeller Ve Çözüm Yöntemleri.”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2015.
- [8] H.A. Erdem, “Solving Container Loading Problem with Genetic Algorithm.”, 15th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics,2014,pp. 391-396
- [9] D.Karaboğa, "Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları", Altıncı baskı, Nobel, Ankara, 2018
- [10] A. Mohammadi, H. Asadi, S. Mohamed, K. Nelson, S. Nahavandi.”openGA, a C++ Genetic Algorithm library”, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics,2017, pp. 2051-2056
- [11] J.A. George, D.F. Robinson, “A heuristic for packing boxes into a container.” Computers and Operations Research,1980,pp 147-156.
- [12] E.E. Bischoff, M.S.W. Ratcliff, “Issues in the development of approaches to container loading”. Omega – International Journal of Management Science, 1995,pp 337-390.
- [13] H. T. Loh, A. Y. C. Nee, “A packing algorithm for hexahedral boxes”. Proceedings of the Industrial Automation Conference, Singapore, 1992, pp 115-126.

Evaluation of Link Prediction Methods on Temporal Networks

Merve Işıl Peten^{*,1}, Zerrin Işık²

^{*}: misilpeten@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7076-6007

¹The Graduate School of Natural of Applied Sciences, Dokuz Eylul University, İzmir, Turkey

²Department of Computer Engineering, Dokuz Eylul University, İzmir, Turkey

Abstract Link prediction is used to forecast link evolution over time in networks. It has been used in several areas such as bioinformatics, online recommendation systems, e-commerce sites, collaboration networks and social networks. Predicting user behavior has become crucial with the expansion of multiuser online systems. This study aims to provide an insight to performance characteristics, both in terms of effectiveness and efficiency, for several link prediction methods. Four fundamental link prediction methods (i.e., common neighborhood, Adamic-Adar, preferential attachment, and Jaccard coefficient) that have been reported in the literature, and a novel metric have been evaluated. The proposed metric makes predictions on the premise that a newly joined member tends to make connections with available nodes that are popular amongst the network. Real-life data sets obtained from the Stanford Large Network Dataset Collection. Common neighborhood, Adamic-Adar and preferential attachment metrics provided more successful results than the others in all networks. In terms of running time, preferential attachment, common neighborhood and the novel metric of this study are the fast-running ones. The highest F1-score is 0.12 in the email-Eu-core and Reddit networks achieved by the Adamic-Adar metric. This study presents and discusses the performance of several link prediction methods on temporal networks. It provides some insights for practical usage of link prediction metrics.

Keywords: *Link Prediction, Structure Based Metrics, Temporal Network*

I. INTRODUCTION

Link predictions is connected to real life problems thus it is a popular research area. It can be used for recommender systems, socialization, finding potential collaborators, and online shopping [1]. To find out which entities may generate new links in the near future is a very important and challenging problem [2]. For instance, accurate identification of product sets that would appeal to individual users in a large e-commerce system is becoming a greater challenge everyday as the number of available products and the size of userbases increase steadily. Tackling with such problems has opened way for ramifications in the approaches used for link prediction and several different strategies have been devised for this purpose.

Link prediction techniques consist of node-based metrics, topology-based metrics, social-theory-based metrics and machine learning based methods. Feature selection is the essential part of feature-based classification. Link prediction problems has six categories as temporal link prediction, link prediction in heterogeneous networks, link prediction with active and unactive links, link prediction in bipartite networks, link prediction for unfollow or disappearing links and

link prediction scalability [1]. In this study, topology-based metrics and a novel metric have been used for temporal link prediction. In temporal networks entities are represented by nodes and relationships between them are represented by links. These entities and relationships appear and disappear over time. Temporal link prediction is a task of predicting the links in a network that would appear in a near future at the $t+1$ time, by looking at the snapshots of the network from a period 1 to t time [3].

An academic dataset is built using IEEE Xplore online library consists 29,432 papers. Two version of networks have been created using different time spans and tested separately for two different strengthened versions of the bipartite network using $\alpha = 10$ and $\alpha = 14$ threshold values. The proposed model is compared to classical node based proximity measure algorithms. The proposed model gives highest precision value very closer to 1[4]. Twitch dataset, which is a network of gamers that consists of 7.126 nodes and 35.324 edges collected from the Stanford Large Network Dataset Collection. After random sampling applied to missing edges and edges that are already exist in the network are classified as positive and negative, 10 features used. The highest value of precision, recall, F1-Score and accuracy achieved using XGBoost algorithm, the accuracy value is 97.72% [5]. Coauthor ship networks astro-ph, cond-mat, gr-qc, hep-ph, hep-th are used from ArXiv. Eight methods including Common Neighborhood, Jaccard Coefficient, Adamic-Adar and Preferential Attachment are applied. The results compared to random predictor that predicts correctly between 0.15% and 0.48% probability. The majority of the methods pass the random predictor, however, the best (Katz clustering on gr-qc) correctly predict about only 16% [6]. The paper proposes of active factor usage on two datasets, Citation Network and Cooperation Network collected from ArXiv. Preferential Attachment, Common Neighborhood, Jaccard Coefficient and Adamic-Adar methods are used with and without active factor. As a result, the AUC value of Preferential Attachment method increases 0.1 and becomes 0.9 with active factor while others remain same [7]. A novel testing method proposed and applied on the datasets DBLP and astro-ph. Normalized Discounted Cumulative Gain and Average Normalized Rank methods are defined, even though the score of the first method is similar, Preferential Attachment is better than the second method. The best precision score achieved by the random classifier on astro-ph data set is 8.56% [8].

This paper includes four sections. Section 2 presents details of the datasets, metric definitions, and evaluation; Section 3 presents experimental results and comparison of datasets and metrics. Section 4 concludes the paper.

II. METHOD: DATA PROCESSING, METRIC DEFINITIONS, EVALUATION

Temporal link prediction is a time related activity; therefore, datasets with timestamps have been used, the entire data was separated as training and test sets. A small example for construction steps of training and test sets is given in the Fig. 1 and Fig. 2. The metrics predict the potential links that will be added from time t to a given future time t' [9]. Based on this time interval operation, Fig.1 shows the separation of initial training set (on the left) and test set (on the right). The final training set is constructed by focusing the giant component, which is the largest cluster of connected nodes. The giant component can be seen in Fig.2 (on the left). The nodes that are in the

test set but not in the train set have been eliminated and then final test set is obtained (the right panel of Fig.2).

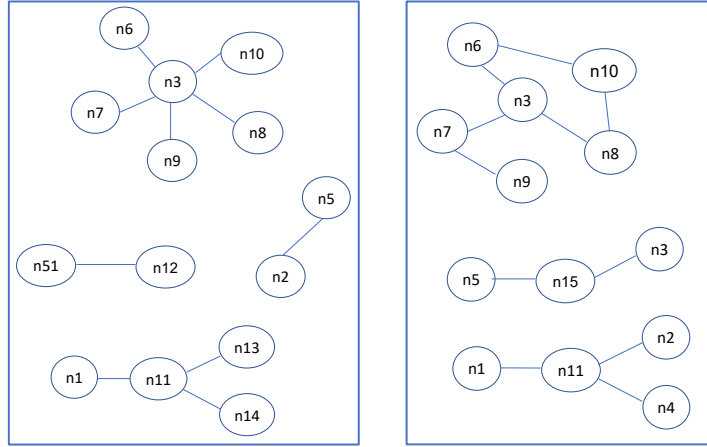


Fig. 1. Initial training set (on the left) and test set (on the right)

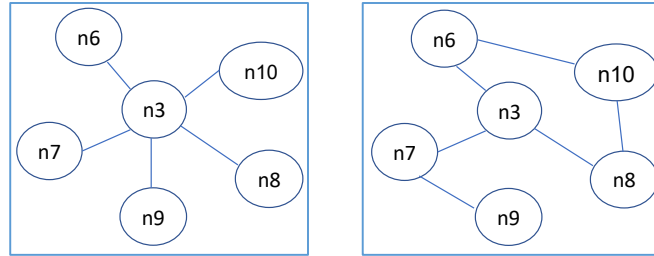


Fig. 2. The final training set with giant component (on the left) and final test set (on the right)

A. Data Processing

The study has been conducted on six different temporal networks, downloaded from Stanford Large Network Dataset Collection [10]. The first one is Reddit Hyperlink Network; it represents the connections between two users. It has 55.863 nodes and 858.490 edges. The attributes of the dataset are the source subreddit, target subreddit, post id, timestamp, link sentiment and properties. This network is directed, signed, temporal and attributed. Each post has a title and a body, therefore there are two networks, and the network with hyperlinks extracted from body of the posts has been used [11]. The second one is Stack Overflow temporal network; it consists of the interactions on the stack exchange web site. This is the biggest data set with 2.601.977 nodes and 63.497.050 temporal edges. Dataset has the source user, target user and timestamp information. The third one is Math Overflow temporal network, like Stack Overflow it includes the interactions on the stack exchange web site Math Overflow. It has 24.818 nodes and 506.550 temporal edges. The fourth one is another stack exchange interaction network named Super User. The dataset has 94.548 nodes and 479.067 temporal edges. Next dataset is named email-Eu-core temporal network, an

email data from a large research institution. A directed edge is created to save the information about sender, receiver, and the receipt time of the e-mail. For each recipient of the email, a separate edge is created. This data has 986 nodes and 332.334 temporal edges [12]. The last one is Bitcoin Alpha trust weighted signed network, each member rate other members in a scale of -10 to 10 for trust. The network includes 3.783 nodes and 24.186 edges. The attributes of the network are source id, target id, rating, and time [13]. All the datasets are divided half as a train set and half as a test set, the node and edge numbers are given in the Table I.

TABLE I
NODES AND EDGES IN TRAIN AND TEST SETS

Dataset	Train set		Test set	
	# of Nodes	# of Edges	# of Nodes	# of Edges
Reddit	14.584	60.030	14.584	59.475
Stack Overflow	7.263	68.585	7.263	38.978
Math Overflow	4.444	76.521	4.444	36.983
Super User	10.903	52.860	10.903	23.055
Email-Eu-core	793	10.705	793	10.589
Bitcoin Alpha	582	582	2839	1561

B. Metric Definitions

Link prediction techniques can be classified as node-based, topology based and social theory [1]. This study focuses on neighbor-based metrics that take place under the topology-based techniques. Networks have been modelled as graph $G = \langle V, E \rangle$, where V is the set of nodes and E is the set of edges. We will shortly summarize the applied metrics in this study in the following paragraphs.

Common Neighbors. Assumption of this method is if two nodes have lots of common neighbors the probability that they will be connected in the future is also high. If m is the average degree in a network, the running time complexity of this method is $O(Nm^2)$.

$$CN(x, y) = |\Gamma(x) \cap \Gamma(y)| \quad (1)$$

Symbols x, y denote nodes, N denotes number of nodes in the network. $\Gamma(x)$ and $\Gamma(y)$ denote the neighboring nodes of x and y , respectively [9].

Jaccard Coefficient. It supposes if neighbors of two nodes include lots of common neighbors, they are more likely to connect in the future. The running time complexity of this method is $O(Nm^2)$.

$$JC(x, y) = \frac{|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{|\Gamma(x) \cup \Gamma(y)|} \quad (2)$$

Adamic-Adar Index. This method assigns higher importance to node pairs with fewer common nodes. The running time complexity is also $O(Nm^2)$.

$$AA(x, y) = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{\log |\Gamma(z)|} \quad (3)$$

Z is a common neighbor of node x and y .

Preferential Attachment. This method gives higher scores to node pairs that have high degree. The running time complexity of this metrics is $O(N^2m^2)$.

$$PA(x, y) = |\Gamma(x) * \Gamma(y)| \quad (4)$$

Popularity Method. The motivation behind this novel metric comes from daily used applications. Nowadays, most of the people sign up for social media and they more frequently make online shopping. When a new user signing up to a social media such as Twitter or Instagram, accounts of celebrities or popular people who have lots of followers already are directly suggested to follow. When a new user looks something to watch, YouTube suggests the most popular videos. On the other hand, the best seller items are listed on e-commerce web sites like Amazon. As a result of such content suggestions, the chance of a link occurrence between these two nodes in a network become higher.

The Popularity Method is conducted on the idea that a new node with fewer neighbors has a higher probability to connect nodes with many connections. The idea behind this method is similar to Preferential Attachment with an opposite side, in Preferential Attachment both nodes should have high degree. The popularity method finds the degree values of all nodes than it sorts them, it gives a higher matching chance to low and high ones by looking at absolute value of their degree differences.

$$PM(x, y) = abs(|\Gamma(x) - \Gamma(y)|) \quad (5)$$

C. Evaluation

All the experiments conducted on a computer with CPU Intel® Core™ i7-8750H, 16GB RAM and Windows 10 Home operating system. Datasets are divided 50% - 50% for training and test sets. For every dataset, a k threshold value is set, which is 10% of all of edges covered in the test set. Predictions are labeled as positive and negative; link prediction is regarded as a binary classification problem, the class label is specified by the existence of links [2]. If two nodes have a connection in the final test set, we label them as positive, if there is no connection occurred between two nodes the edge label will be negative. If there is a link between two nodes in the training set (giant component) and the connection still remains in the final test set, the edge label will be positive, and negative otherwise. True positive reflects the number of node pairs that links are correctly identified as positive. False positive shows the number of node pairs that are incorrectly classified as positive. False negative shows the number of node pairs that links are incorrectly recognized as negative. True negative reflects the number of node pairs that are negative and truly predicted as negative [2].

Precision, Recall and F1-Score have been used to measure the performance of each neighbor-based metric. The calculation of these measures are made by the following equations.

$$Precision = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives}$$

$$Recall = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Negatives}$$

$$F1.Score = \frac{2 * (Precision * Recall)}{Precision + Recall}$$

III. RESULTS

We conducted experiments by using five metrics on the six different social networks. Fig.3 presents the performance of each metric in terms of F1-score. The predictions are evaluated based on 10% of available connections in each test network, hence the x axis has a varying range from 134 to 5249 connections. Email-Eu-core and Reddit networks have the highest F1-scores 0,1315 and 0,1179 respectively. These values are achieved by Adamic-Adar metric in both networks. Table II presents the highest values of precision for all metrics. The most successful metrics are Common Neighborhood, Adamic-Adar and Preferential Attachment. These three metrics got the precision value 1 in both Math overflow and Reddit datasets. Table III presents the highest values of recall for all methods. In the email-Eu-core dataset, the highest value of 0.7 achieved by Adamic-Adar. In the Reddit dataset, it is 0.65. Table IV represents the total completion time of all methods on all data sets. Popularity method is the fastest one for Bitcoin Alpha and Super user datasets; Common Neighborhood is the fastest method for Math overflow and email-Eu-core datasets; Preferential Attachment is the fastest for Reddit and Stack overflow datasets.

The results on the datasets Reddit and email-Eu-core are better than the other datasets although these networks differ by size, they represent information that can get quick response. When a reddit user posts something, the user specifies the group who will read and answer by choosing a topic. Other users who have already following these topics have a higher probability to answer this post. The email-Eu-core network represents email transactions and for each recipient of the email a separate connection is created, hence the probability of getting an answer in a short time is high. The Common Neighborhood and Adamic-Adar metrics are quite successful in the Reddit and email-Eu-core networks. These metrics focus on the number of common neighbors between two given nodes. So, their better performance on these networks show that the future connections are accumulated on specific nodes which have triangle relationship with each other.

TABLE II
THE HIGHEST PRECISION VALUES

	Common Neighborhood	Jaccard Coefficient	Adamic/Adar Index	Preferential Attachment	Popularity Method
Reddit	1	0,0417	1	1	0,0217
Stack Overflow	0,5	0,0060	0,5	0,1667	0,0190
Math Overflow	1	0,4816	1	1	0,0833
Super User	0,5	0	0,5	0,5	0,1065
Email-Eu-core	0,8235	0,7072	0,8571	0,7164	0,3109
Bitcoin Alpha	0,3636	0,0263	0,3043	0,3333	0,5

TABLE III
THE HIGHEST RECALL VALUES

	Common Neighborhood	Jaccard Coefficient	Adamic/Adar Index	Preferential Attachment	Popularity Method
Reddit	0,0620	0,0003	0,0648	0,0509	0,0018
Stack Overflow	0,0061	0,00005	0,0067	0,0073	0,0012
Math Overflow	0,0352	0,0029	0,0360	0,0351	0,0066
Super User	0,0082	0	0,0081	0,0116	0,0104
Email-Eu-core	0,0697	0,0649	0,0719	0,0566	0,0229
Bitcoin Alpha	0,0173	0,0006	0,0185	0,0172	0,0038

TABLE IV
TOTAL COMPLETION TIME (IN SECONDS) OF ALL METHODS

	Common Neighborhood	Jaccard Coefficient	Adamic/Adar Index	Preferential Attachment	Popularity Method
Reddit	16052.35	33244.03	15400.69	15349.98	30809.00
Stack Overflow	9055.46	10591.01	9096.49	8452.78	9121.55
Math Overflow	5904.55	8412.74	6359.45	8724.07	8924.60
Super User	2211.78	2675.75	2226.40	1523.56	1484.36
Email-Eu-core	99.35	123.96	100.77	102.79	141.72
Bitcoin Alpha	2.58	3.25	2.83	0.83	0.53

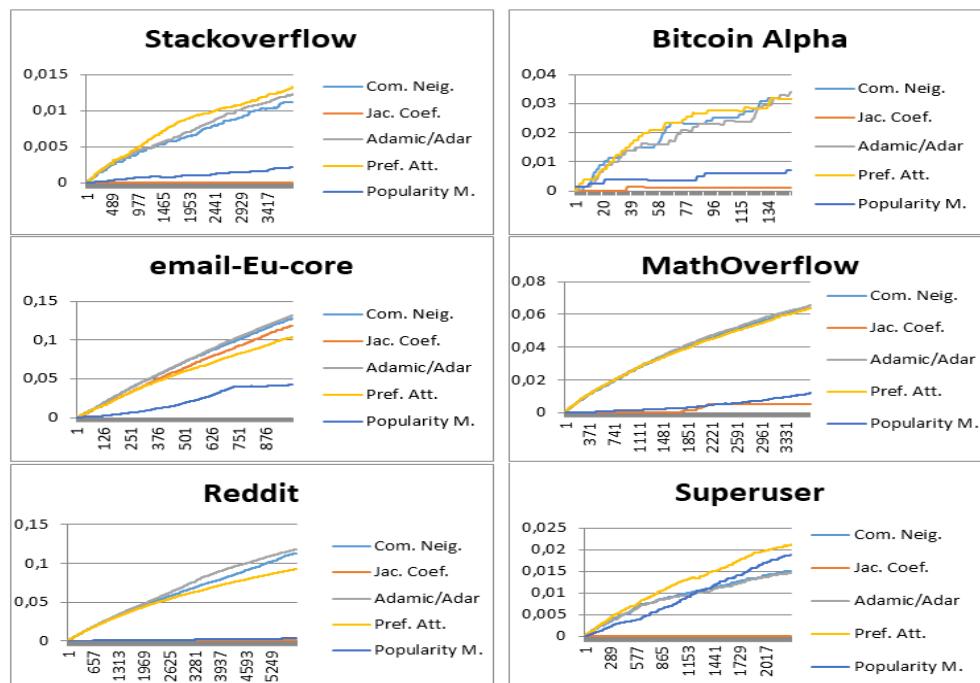


Fig. 3. F1-score performance of networks.

IV. CONCLUSION

In this study, link prediction problem on temporal networks has been addressed. Six real-world datasets that have timestamps information are used in experiments. The datasets are divided as training and test sets, the important points for predicting new links have been explained. Five topology-based methods and a new method (popularity method) applied on the datasets. The results compared in terms of precision, recall and F1-score values and the completion time. Although, the most successful method can change in different datasets; the performance of Common Neighborhood, Adamic-Adar and Preferential Attachment have been better than the others. The new metric, Popularity Method, was the fast running one on two of the data sets.

As a future work, other link prediction methods such as node-based and social-theory-based can be explored and compared with the topological ones. Machine learning and deep learning techniques can be examined and altered to get faster and better performing scores.

REFERENCES

- [1] P. Wang, B. Xu, Y. Wu, X. Zhou, "Link Prediction in Social Networks: The State-Of-The-Art," *Science China Information Sciences*, vol. 58, pp. 1-38, January 2015.
- [2] N. Shan, L. Li, Y. Zhang, S. Bai, X. Chen, "Supervised Link Prediction in Multiplex Networks," *Knowledge-Based Systems*, vol. 203: 106168, September 2020.
- [3] Divakaran, A. Mohan, "Temporal Link Prediction: A Survey," *New Generating Computing*, vol. 38, pp. 213-258, March 2020.
- [4] S. Aslan, B. Kaya, M. Kaya, "Predicting Potential Links by Using Strengthened Projections in Evolving Bipartite Networks," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, vol. 525, pp. 998-1011, July 2019.
- [5] R. Bv, N. S. Varma, R. Indra, "Recommendations in Social Network using Link Prediction Technique," 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), pp. 782-786, September 2020.
- [6] D. Liben-Nowell, J. Kleinberg, "The Link Prediction Problem for Social Networks," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 58, pp. 1019- 1031, March 2007.
- [8] H.Xu, L. Zhang, "Application of Link Prediction in Temporal Networks," *Advanced Materials Research*, vol. 756-759, pp. 2231-2236, September 2013.
- [9] T. Tylenda, R. Angelova, Ralitsa & S. Bedathur, "Towards Time-aware Link Prediction in Evolving Social Networks," *Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Social Network Mining and Analysis (SNA-KDD '09)*, pp. 1-10, June 2009.
- [10] F. Gao, K. Musial, C. Cooper, S. Tsoka, "Link Prediction Methods and Their Accuracy For Different Social Networks And Network Metrics," *Scientific Programming*, vol. 2015, pp. 1, January 2015.
- [11] J. Leskovec, A. Krevl, "SNAP Datasets: Stanford Large Network Dataset Collection," <http://snap.stanford.edu/data>, 2021.
- [12] S. Kumar, W.L. Hamilton, J. Leskovec, D. Jurafsky, "Community Interaction and Conflict on the Web," *International World Wide Web Conference Committee*, pp. 933-943, April 2018.

- [13] A. Paranjape, A. R. Benson, J. Leskovec, "Motifs in Temporal Networks," In Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining, pp. 601-610, February 2017.
- [14] S. Kumar, F. Spezzano, V.S. Subrahmanian, C. Faloutsos, "Edge Weight Prediction in Weighted Signed Networks," IEEE 16th International Conference on Data Mining (ICDM), pp. 221-230, December 2016.

Investigation of Absorption Performance of Frequency Selective Surfaces in Simulation Programs

Hacı Mehmet Işık¹, Tülay Yıldırım²

1: hacimehmetisik@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2352-7820

1: Department of Electronics and Communication Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey

2: Department of Electronics and Communication Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey

Abstract Frequency selective surfaces (FSS) consist of periodic element arrays in which their absorption, reflection or transmission properties can be adjusted with different design solutions. We should not consider FSSs different from filter circuits consisting of normal passive elements such as resistors, coils or capacitors. However, there are FSSs, which are called active FSS and contain active circuit elements. With the FSS design created, we use it as filter circuits that filter electromagnetic waves according to the desired band. These filters can sometimes be like low-pass filters and sometimes they can be like band-pass filters. When filtering in FSSs, its features such as bandwidth or absorption value are thanks to the FSS physical design. As the dimensions of the FSS change, the capacitance, coil and resistance value in the electrical equivalent circuit also change, and hence the values such as bandwidth of the created filter change. In this work, the absorption feature of FSS is used since it reduces radar visibility. For the absorption process, designs in the form of band-stopping filter are suitable. It is possible to perform the radar cross section reduction in several ways. However, when we compare the weight of the absorber structure created, FSSs attract more attention than other competitors in many sectors due to their lightweight solutions to their competitors. It is also possible to reduce the radar cross section with commercially available absorbers. In this study, FSS was designed to absorb more than 10dB at approximately 10GHz frequency in Ansys HFSS environment. Comparisons of FSS developed using other commercial software have been made. The programs used in comparison were ALTAIR FEKO 2019.3 and CST STUDIO SUITE 2019. It has been shown that an absorption of more than 10dB is achieved with all software.

Keywords: *Frequency Selective Surface; FSS; Absorber; Periodic Structures; Spatial Filters; Filtering;*

I. INTRODUCTION

Frequency-selective surfaces have attracted the attention of many researchers and are in an important position for projects in different fields. Structures created by repeating itself in a certain period of a unit cell have been studied by many researchers in the field of electromagnetics for over 30 years. When electromagnetic waves are sent on these structures, which are generally called metamaterials, they exhibit extraordinary behaviors. FSSs, which are formed by periodic

gathering of different unit cells in the form of cavities or metallic patches on a thin conductive layer, can also be designed as low-pass, high-pass, band-pass or band-stopping electromagnetic filters for certain frequencies. The unit cell geometry and sequence used in the design of FSS can be designed to reflect or transmit the incoming electromagnetic wave. FSSs are widely used in wireless communication, microwave and radar systems recently [1]. When the studies on FSS are examined, it is seen that the majority of the studies focus on planar designs obtained by repeating itself in one or two dimensions of the unit cell, there are few 3-dimensional studies and the comparison of analysis programs is very little. There may be many reasons why the research here is scarce.

In this research, FSS analyzes will be carried out to provide maximum absorption in the 2-20 GHz band, especially this study is based on the 10 GHz frequency, which is at the center of the X band, which is mostly used for military purpose [2]. In this study, comparisons were made with 3 electromagnetic analysis software, namely Computer Simulation Technology (CST), ANSYS HFSS and ALTAIR FEKO. The absorption performances of the same FSS design were compared in these analysis programs.

II. BAND-STOPPING FILTER DESIGN

FSS patches create resistance (R) and inductance (L), while gaps between FSS elements create capacitance (C). The simple electrostatic principle applies to manipulating the physical significance of these passive values for different FSS elements, for example the L of two parallel wires and C formed by a parallel plate capacitor [3]. Therefore, the desired filter output is created by combining these capacitive and inductive elements in different ways. However, any change in the dimensions of the FSSs results in a change in the L and C equivalent circuitry [4].

First of all, it is planned to design a FSS consisting of a combination of low pass and high pass filter circuit in order to design a band stop circuit [5]. For this desired result, FSS was designed in an ANSYS HFSS with a cross carved middle in the FSS design. The simple FSS visual that provides the desired band-stopping filter feature is as follows.

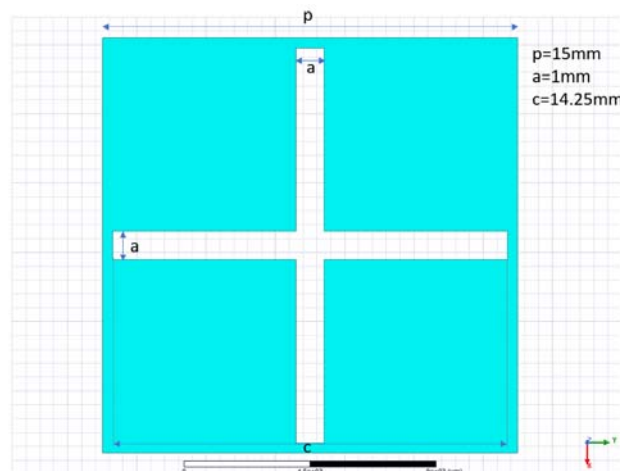


Fig. 1. Band-stopping FSS unit cell geometry

The graph representing the S11 parameters of this basic FSS designed is as follows.

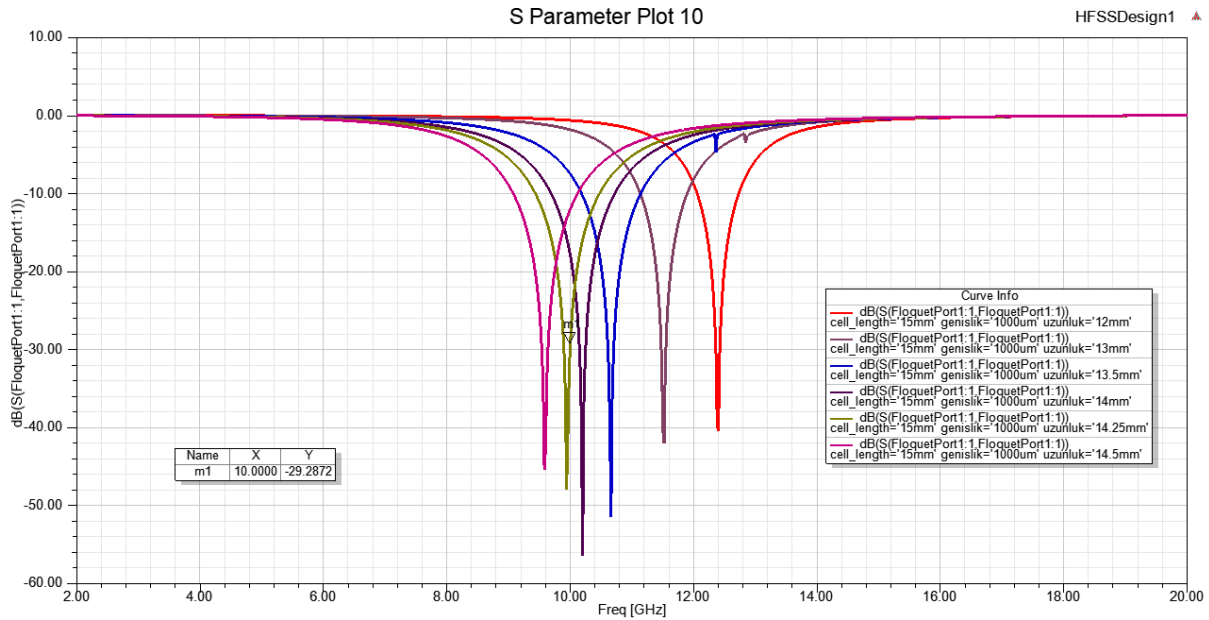


Fig. 2. S11 chart with parametric length analysis of FSS

As can be understood from the length optimization result of the cross-shaped hollow structure made in order to provide maximum absorption at 10 GHz, when the length of the two intersecting rectangles is 14.25 mm, maximum absorption at 10 GHz is obtained. The absorption at 10GHz is approximately 29.28 dB. A better result is obtained by rounding the dimensions of this FSS design a few corners to achieve greater absorption. Below is the FSS design that has been improved by rounding the corners.

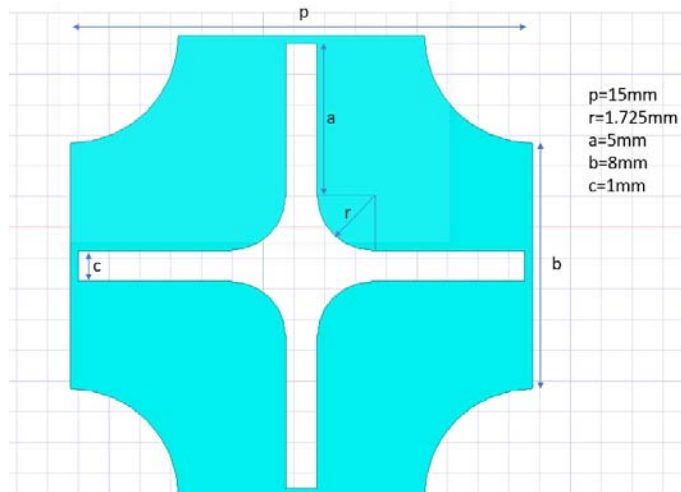


Fig. 3. Improved FSS Design

III. INVESTIGATION OF OTHER PROGRAMS TO BE DEVELOPED IN THE FSS

The FSS design, whose dimensions are specified in figure 3, was also analyzed in ALTAIR FEKO and CST programs. Analyzes in ALTAIR FEKO and ANSYS HFSS programs were made between 2-20 GHz and were done in 20 MHz steps with a total sampling frequency of 901. In CST, it was made with FSS tool between 2- 20 GHz. CST does not allow adjustment of the sampling frequency.

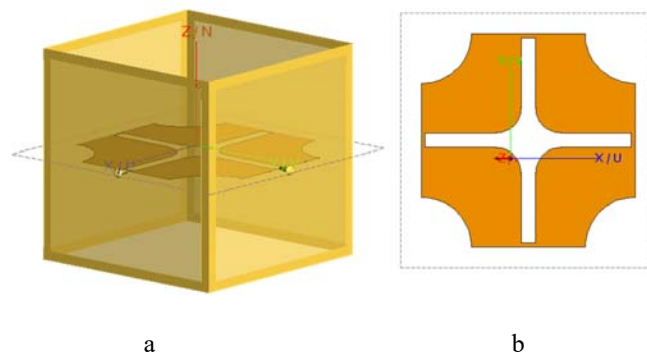


Fig. 4. FSS Design in ALTAIR FEKO program

The FSS specified in fig 4 is implemented in ALTAIR FEKO. Perfect conductor was chosen as the material as in ANSYS HFSS.

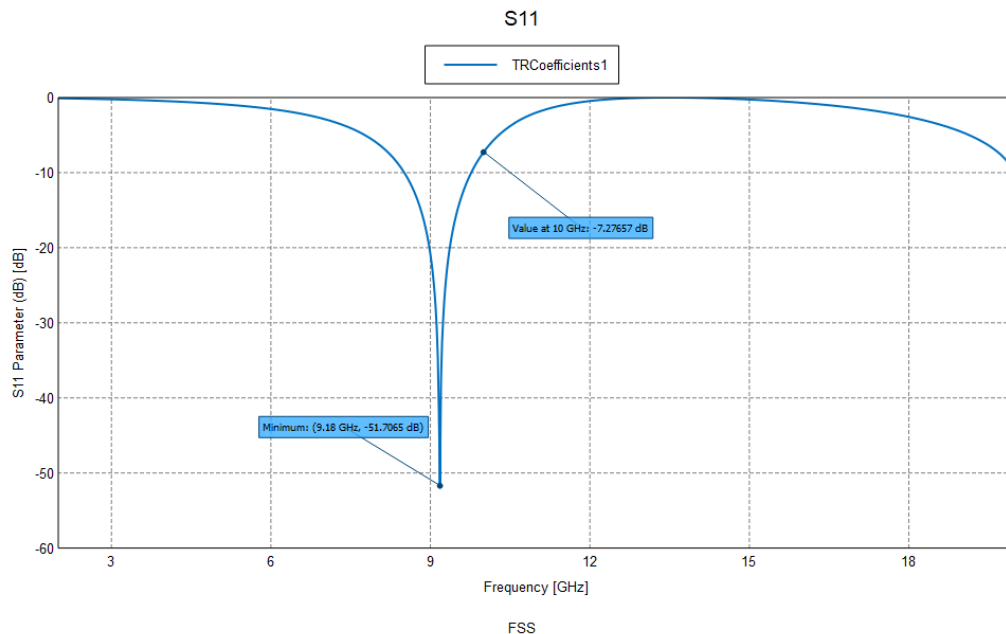


Fig. 5. The result of FSS developed in HFSS environment in ALTAIR FEKO.

While both programs exhibit similar characteristics, some difference was observed in the

10GHz frequency. This difference may have many different reasons. The comparison of both program results is given in fig. 6 below.

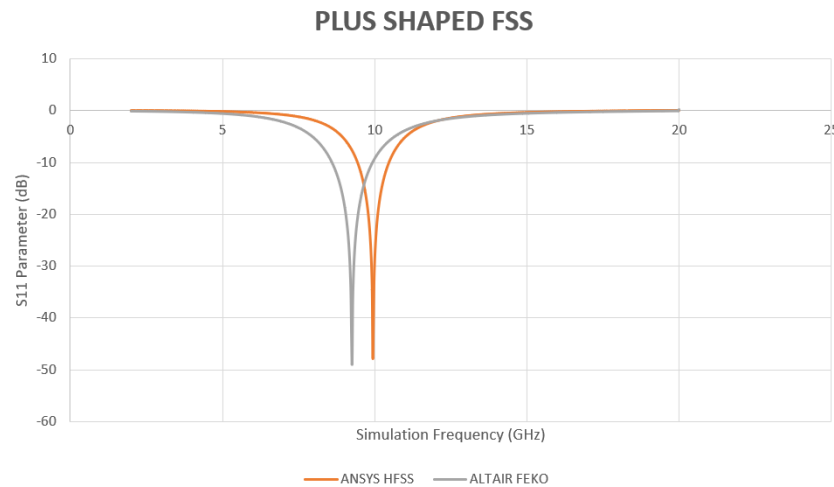


Fig. 6. Comparison of FSS S11 parameter in ANSYS HFSS and ALTAIR FEKO

In fact, the desired value to be designed is to provide 10dB absorption around 10GHz.

ANSYS HFSS provides 10 dB value between 9.44 GHz and 10.46 GHz. 10dB absorption can be achieved at approximately 1 GHz bandwidth.

ALTAIR FEKO provides 10 dB value between 8.51 GHz and 9.765 GHz. 10dB absorption can be achieved at approximately 1.25 GHz bandwidth.

We will analyze the same design in a third electromagnetic analysis program and see if we can obtain similar characteristics. Our third analysis program is CST. CST is a commercially used electromagnetic software, like other programs.

Figure 7 below contains the image indicated with the dimensions of the FSS design in the CST program.

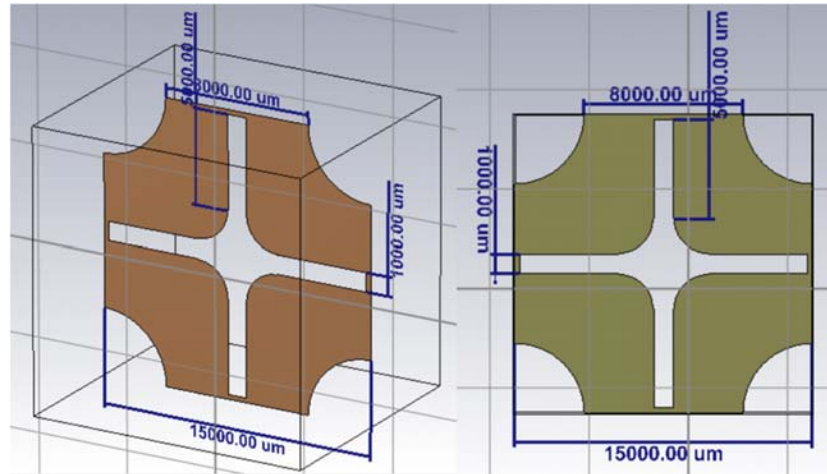


Fig. 7. The visual of the developed FSS design in the CST program

Figure 8 below shows the result of the analysis made in the CST program. In figure 8 all values that are important to the result are plotted on. Over 10 dB of absorption was achieved between points 3 and 4. In other words, more than 10 dB absorption was achieved between 9.82 GHz and 10.84 GHz. This means that the bandwidth that absorbs more than 10 dB is approximately 1 GHz. The absorption value at 10 GHz, which is also an important point, is marked with the number 1 and an absorption of approximately 13.187 dB has been observed. Finally, the point where maximum absorption was observed is shown as number 2 and reached a value of approximately 45 dB.

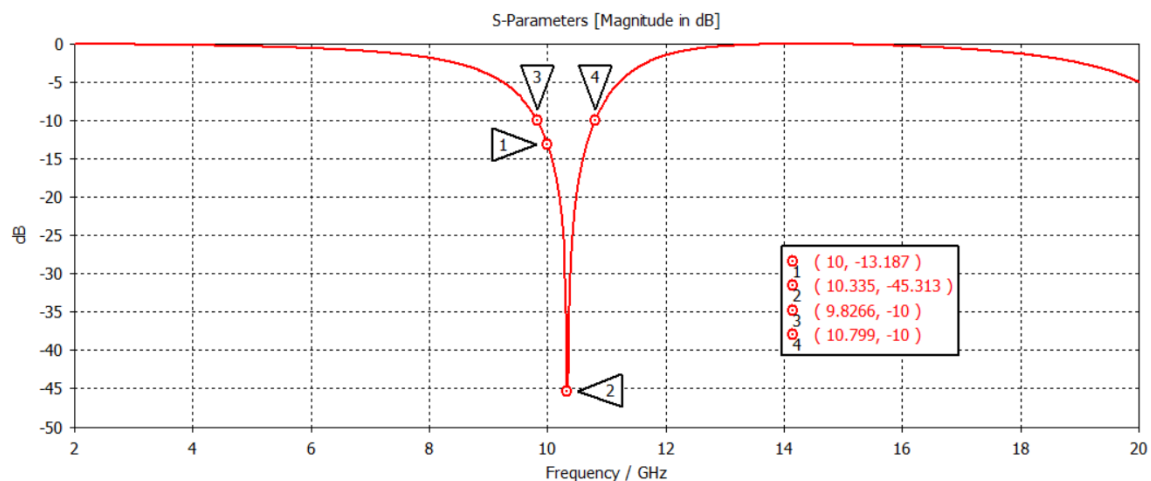


Fig. 8. The result of parameter S11 in the CST program

IV. CONCLUSION

In this study, FSS developed in ANSYS HFSS environment was compared with ALTAIR FEKO and CST programs. It has been shown that without real measurements of the desired absorption characteristic, an absorption of more than 10dB can be achieved in approximately 1 GHz bandwidth with all 3 programs.

The analysis results obtained are summarized in Table 1 below.

TABLE I
SUMMARY OF FSS ANALYSIS PERFORMED WITH 3 DIFFERENT PROGRAMS

	ANSYS HFSS	ALTAIR FEKO	CST
Absorption higher than 10db Minimum Frequency (GHz)	9,44	8,51	9,8266
Absorption higher than 10db Maximum Frequency (GHz)	10,46	9,76	10,799
Maximum absorption frequency (GHz)	9,94	9,18	10,335
Maximum absorption value (dB)	47,82	51,7065	45,313
Absorption value at 10GHz (dB)	29,2872	7,2767	13,187

GHz=Gigahertz, dB=Desibel

As a result, although the data in all programs are slightly different from each other, a bandwidth of approximately 1 GHz has been obtained, which absorbs more than 10dB in all of them.

REFERENCES

- [1] Hu, Dehua and A. Tennant. "3D saw-tooth frequency selective surfaces." 2012 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC) (2012): 1-4.
- [2] S. Ünalı, S. Çimen, G. Çakır and U. E. Ayten, "A Novel Dual-Band Ultrathin FSS With Closely Settled Frequency Response," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 1381-1384, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2016.2637080.
- [3] Munk, B.A. Frequency Selective Surfaces: Theory and Design; Wiley Online Library: Hoboken, NJ, USA, 2000; Volume 29.
- [4] L. Fernandez-Martinez, E. Garcia, D. de Castro-Galan and D. Segovia-Vargas, "Equivalent Circuit Model Proposal Applied to Frequency Selective Surfaces," 2005 18th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, 2005, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICECOM.2005.205024.
- [5] Ahmed, Fahad & Tamoor, Tania & Hassan, Tayyab & Shah, Syed Muhammad Qasim & Shoaib, Noshewan. (2020). An FSS Based Stop Band Filter for EM Shielding Application. 10.1109/EMCEUROPE48519.2020.9245881.

Experimental Study of a Hydraulic Jump Controlled by A Thin Sill in A Non-Rectangular Channel with Triangular Convergent

Bouthaina Debabeche¹, Sonia Cherhabil²

¹bouthaina.debabeche.doc@uliege.be, bouthainadebabeche@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1463-6558

²sonia.cherhabil@univ-biskra.dz, ORCID: 0000-0002-1225-5348

¹Hydraulics Department, University Mohamed Khider, Biskra, Algeria and Department of Applied Sciences, University of Liège, Belgium

²Hydraulics Department, University Mohamed Khider, Biskra, Algeria

Abstract Hydraulic jumps cause significant flow energy dissipation and generally occur in association with hydraulic structures. Nevertheless, the dissipative mechanisms occurring with this hydraulic phenomenon still require investigation. There are no systematic studies analysing the hydraulic jump energy dissipation for a large range of hydraulic and geometric conditions. Hydraulic jumps in non-rectangular channels have received some attention, mainly in trapezoidal and circular cross-sections, including the triangular, and the U-shaped profiles. As may be demonstrated by the conventional momentum approach, hydraulic jumps in such channels are more efficient than in the rectangular channel of equal values $F1$ and $h1$. This paper presents an experimental study of a hydraulics jump controlled by thin sills in a non-rectangular channel with triangular convergence. A wide range of measurements was studied. Several sills with different surfaces were placed in different positions on the non-rectangular channel. The first objective of this work is to find general functional relationships expressing the surface profile of this type of hydraulic jump. The results showed that for all sills, the dimensionless quantity of the long profile increases with increasing ratio of abscissa to roll length. The second objective of the work is to find general functional relations in function of Froude, expressing the characteristic lengths of hydraulic jumps. The measurements were taken only on the deeper side of the channel. The equations obtained are represented in dimensionless terms, in order to give them a general validity.

Keywords: *Open channels, hydraulic jump, no rectangular channel, thin sill, surface profile, relative lengths, ratio of conjugate heights, triangular convergent.*

INTRODUCTION

ENERGIE dissipation downstream of spillways, weirs, chutes, and gates, is necessary to prevent erosion and cavitation; it is an important task of hydraulic engineers [1, 2]. Hydraulic jumps cause significant flow energy dissipation and generally occur in association with hydraulic structures. Nevertheless, the dissipative mechanisms occurring with this hydraulic phenomenon still require investigation. There are no systematic studies analysing the hydraulic jump energy dissipation for a large range of hydraulic and geometric conditions [3]. The hydraulic jump formed in a stilling basin (with a smooth bed) has been widely investigated by many researchers and their results have been reported. A jump occurred in a horizontal, rectangular, and smooth channel, which is classified based on the incoming Froude number (F_1). Four different types of jumps are generally defined, which includes weak jump ($1.7 < F_1 \leq 2.5$), transition or oscillating jump ($2.5 < F_1 \leq 4.5$), steady jump ($4.5 < F_1 \leq 9$), and strong or choppy jump ($F_1 > 9$) [4]. The formation and stabilization of hydraulic jumps in stilling basins depend on the tailwater level. In cases where the tailwater level is low, an expansion section can be used to ensure jump formation [5-7].

On the one hand, for the CHJ, the free surface profile and the velocity distribution have been widely studied. One of the first experimental studies regarding the hydraulic jump free surface profile was performed by Bakhmeteff and Matzke [8]. More recently, experimental research was conducted by Wang and Chanson [9] on the fluctuating characteristics of the free surface, whereas Chachereau and Chanson [10] and Zhang et al. [11] focused on the influence of velocity and pressure fluctuations on the hydraulic jump shape. In addition, Montano et al. applied innovative experimental techniques to measure the free surface characteristics of the phenomenon [12,13].

To determine the jump location, computed the water surface profiles were computed for supercritical flow starting from the upstream end and the subcritical flow starting from the downstream end, and the jump is formed at a location where the specific forces on both sides of the jump are equal [14]. The formation and stabilization of hydraulic jumps in stilling basins depend on the tailwater level. In cases where the tailwater level is low, an expansion section can be used to ensure jump formation [15-17].

Hydraulic jumps in non-rectangular channels have received some attention, mainly in trapezoidal and circular cross-sections, including the triangular, and the U-shaped profiles. As may be demonstrated by the conventional momentum approach, hydraulic jumps in such channels are more efficient than in the rectangular channel of equal values F_1 and h_1 [18]. According to Chanson's study (2018), a hydraulic jump evolving in a non-rectangular channel is more efficient than a hydraulic jump evolving in a rectangular channel [19]. According to Alberto José and Rodriguez Diaz (1954), the width of the canal can be divided into three sides: shallow side, center and deeper side. In the shallow side, there is no formation of hydraulic jumps. In the center, small breaking waves are observed. On the other hand, on the deeper side, there is a complete formation of the hydraulic jump [20]. This type of hydraulic jump evolving in a non-rectangular canal has not been of much interest to researchers. For this reason, we are interested in the experimental study of the surface profile of a hydraulic jump controlled by a thin sill in a non-rectangular channel, with triangular convergent.

The first objective of our experimental study is to determine, in the dimensionless form, the surface profile of the hydraulic jump $f = (h - h_x)/(h_2 - h_1)$ as a function of the ratio x/L_r [21].

The second objective of our experimental study is to determine, the general functional relationships expressing the characteristic length of this type of hydraulic jump L_r/h_1 and L_r/h_2 as a function of the number of the incident Froude.

The measurements were taken on the deeper side of the channel, because in a non-rectangular channel, the hydraulic jump is formed only on the deeper side.

MANUSCRIPT CONTENT

A. Description of the model

The physical model is located at the laboratory LARGHYDE of civil and hydraulic department of university of Biskra. It is mainly composed of a non-rectangular channel of $L=7\text{m}$ 'long', and $l=26.5\text{ cm}$ 'wide'. The side walls of this channel are parallel, but its bottom is transversally inclined at an angle of $m=1/3$ with respect to the horizon. A feed basin is connected to the channel by means of a circular pipe.



Fig 1 : Experimental model of the non-rectangular channel



Fig 2: Photograph of the non-rectangular channel



Fig3 : Thin sills tested

B. Methodology

The complete formation of the jump was conditioned by the setting up of sill. For this purpose, 4 sills have been made and tested, the surface of each sill is as follows: $A_1=175\text{cm}^2$, $A_2=197\text{cm}^2$, $A_3=215\text{cm}^2$ and $A_4=227\text{cm}^2$. These sills have been positioned on 3m.

In the case, the opening of the valve in the deeper side is $h_v=0.08\text{m}$, so: $h_1=0.85.h_v=0.068\text{ m}$. To measure the height of water along the length of the canal, we placed the limnimeter on several abscissae, depending on the position of the weir (Table 1). For each abscissa, we took measurements only on the deeper side of the channel.

Table 1. Limnimeter positions along the non-rectangular channel

Sill position (m)	Limnimeter position (cm)			
3	5	25	75	25

As soon as the complete shape of the overflow is obtained, we will carry out the following steps for each weir A and position a of the beginning of the hydraulic jump: measurement of the volume flow Q; measurement of the height of the free surface on the non-rectangular channel; and finally, the calculation of the Froude number F_1 of the incident flow, by applying the relation: $F_1 = \sqrt{\frac{4Q^2}{gb^2h^3}}$ [22]

C. Results

Variation of the surface profile of the jump in a non-rectangular channel

Sill position $a=3$ m ; For : $2.99 < F_1 < 3.70$

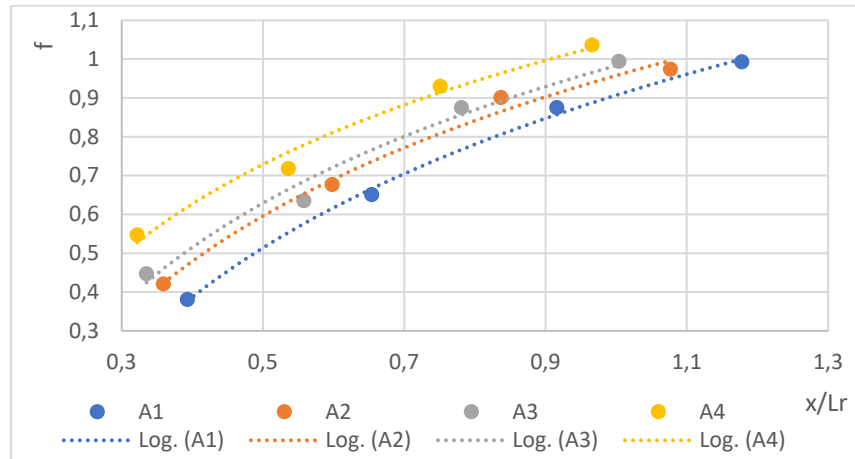


Fig4: Variation of the surface profile $f=f(x/Lr)$ of the jump for the four sills

Figure 4 represents four point clouds corresponding to the variation of the surface profile $f=f(x/Lr)$ of the jump, each for a given surface of the sill. The adjustment of the experimental points led to the following four logarithmic equation relationships:

$$A_1=175 \text{ cm}^2 ; f= 0.4555 \ln (x/Lr) + 1.044 ; R^2 = 0.9824 \quad (1)$$

$$A_2= 197 \text{ cm}^2 ; f= 0.5102 \ln (x/Lr) + 0.9827 ; R^2 = 0.981 \quad (2)$$

$$A_3= 215 \text{ cm}^2 ; f= 0.5221 \ln (x/Lr) + 0.9577 ; R^2 = 0.9895 \quad (3)$$

$$A_4= 227 \text{ cm}^2 ; f= 0.5667 \ln (x/Lr) + 0.9068 ; R^2 = 0.9972 \quad (4)$$

We notice that for all thresholds, the dimensionless quantity $f=(h-h_x)/(h_2-h_1)$ increases with the growth of the ratio x/Lr .

However, it can be seen that for an equal value of the Froude number F_1 , $f=(h-h_x)/(h_2-h_1)$ increases with the growth of the surface area of the sills.

The experimental results used to draw figure (4) are shown in table (2):

Table 2: Experimental Measures Used to Plot Figure (3)

x/Lr (A ₁)	f(A ₁)	x/Lr (A ₂)	f(A ₂)	x/Lr (A ₃)	f(A ₃)	x/Lr (A ₄)	f(A ₄)
0.393	0.381	0.359	0.421	0.335	0.447	0.322	0.547
0.654	0.651	0.598	0.677	0.558	0.635	0.536	0.718
0.916	0.875	0.837	0.901	0.781	0.875	0.751	0.930
1.178	0.993	1.077	0.974	1.004	0.994	0.966	1.036

Table 3: Coefficients of the linear experimental relations resulting from the adjustment of the relations linking Y a x/Lr for the different sills tested.

Sill area (cm ²)	Coefficient a	Coefficient b	Correlation coefficient R ²
A ₁ =175	0.5667	0.9068	0.997
A ₂ =197	0.5221	0.9577	0.9895
A ₃ =215	0.5102	0.9827	0.981
A ₄ =227	0.4555	1.044	0.9824

Figure 5 shows that the experimental points fit around a linear curve of the form:

$$a = -0.002A + 0.9133 \quad R^2 = 0.9141 \quad (5)$$

Figure 6 shows that the experimental points fit around a linear curve of the form :

$$b = 0.0025A + 0.4666 \quad R^2 = 0.9442 \quad (6)$$

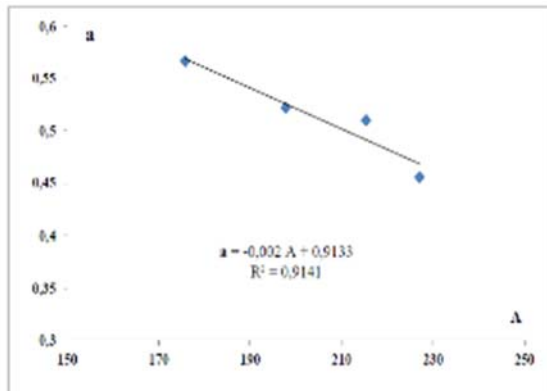


Fig 5 : Variation of the coefficient (a) as a function of the area of the sill (A)

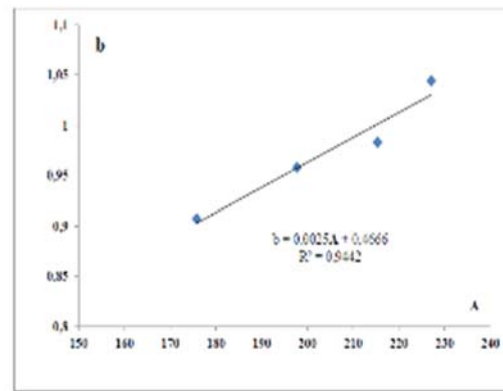


Fig6 : Variation of the coefficient (b) as a function of the area of the sill (A)

The linear relation reflecting the variation of f as a function of x/Lr and the area of the sill is as follows: $\Phi = (-0.002 A + 0.9133) \ln(x/Lr) + (0.0025 A + 0.4666)$ (7)

The graphical representation of f_{exp} as a function of $\Phi = (f)_{appr}$ is shown in figure (7).

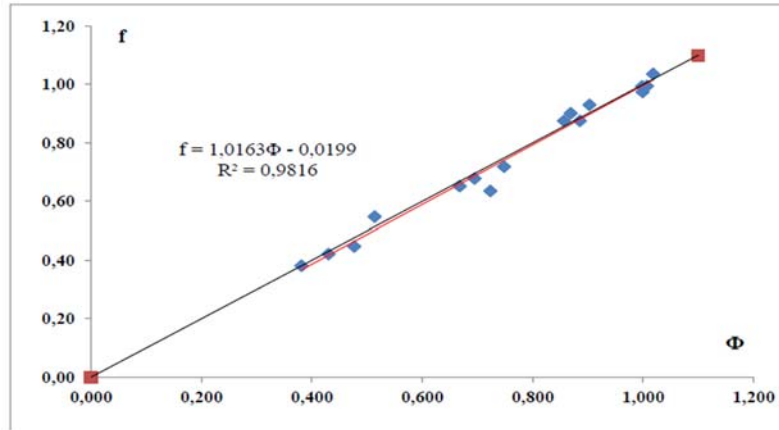


Fig 7 : Variation of f_{exp} according to
 $\Phi = (f)_{appr} = (-0.002 A + 0.9133) \ln(x/Lr) + (0.0025 A + 0.4666)$
 Equation adjustment line $Y = 1.0163\Phi - 0.0199$

From Figure 7 we notice that the scatterplot representing the variation of $(f)_{exp}$ as a function of $\Phi = f_{appr}$ rotates around the first bisector, which confirms the validity of the generalized relation : $f_{appr} = \Phi = (-0.002 A + 0.9133) \ln(x/Lr) + (0.0025 A + 0.4666)$

The error Δf between the experimental results of $(f)_{exp}$ and the function Φ is given by the following table:

Table 4 : The error Δf between the experimental results of the $(f)_{exp}$ ratio and the function Φ

x/Lr	f	Φ	$\Delta f = (f - \Phi)/f(\%)$
0.393	0.381	0.381	0.001
0.654	0.651	0.668	0.026
0.916	0.875	0.857	0.021
1.178	0.993	0.998	0.005
0.359	0.421	0.430	0.023
0.598	0.677	0.695	0.026
0.837	0.901	0.869	0.036
1.077	0.974	0.999	0.026
0.335	0.447	0.477	0.067
0.558	0.635	0.723	0.139
0.781	0.875	0.886	0.013
1.004	0.994	1.007	0.013
0.322	0.547	0.514	0.060
0.536	0.718	0.748	0.043
0.751	0.930	0.903	0.029

0.966 1.036 1.018 0.017

Variation of the relative length Lr/h_1 as a function of the number of Froude F_1 incidents

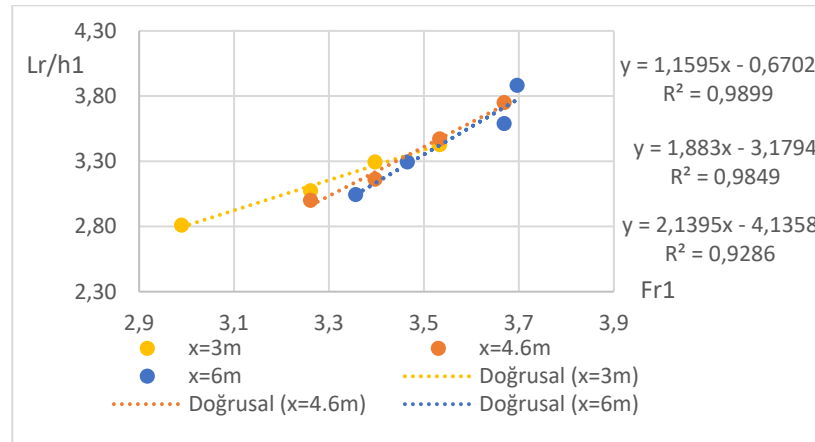


Fig 8: Variation of Lr/h_1 ratio as a function of the number of Froude F_1 on the deeper side of the channel.

Figure (8) represents four graphs each corresponding to a position (x) of the sill. The adjustment of the experimental points led to three linear relations of the following linear equations :

$$\begin{aligned} x=3m ; Lr/h_1 &= 1.1595 F_{r1} - 0.6702 ; R^2 = 0.9899 ; & \text{pour } 2,99 \leq F_{r1} \leq 3.53 & (8) \\ x=4.6m ; Lr/h_1 &= 1.883 F_{r1} - 3.1794 ; R^2 = 0.9849 ; & \text{pour } 3.26 \leq F_{r1} \leq 3.67 & (9) \\ x=6m ; Lr/h_1 &= 2.1395 F_{r1} - 4.1358 ; R^2 = 0.9286 ; & \text{pour } 3.36 \leq F_{r1} \leq 3.70 & (10) \end{aligned}$$

It can be seen that for all the tested positions of the sill, the ratio of the relative length of the roll Lr/h_1 increases proportionally with the number of Froude F_1 .

We also notice that for the same number of Froude, the value of the relative length of the jump Lr/h_1 increases as the value of the sill position increases, or with the distance of the sill from the beginning of the hydraulic jump.

The experimental results that were used to construct Figure (8) are shown in Table (5):

Table 5: Experimental Measures Used to Plot the Figure (12)					
F_1	$Lr/h_1 (x=3m)$	F_1	$Lr/h_1 (x=4.6m)$	F_1	$Lr/h_1 (x=6m)$
2.99	2.81	3.26	3.00	3.36	3.04
3.26	3.07	3.40	3.16	3.47	3.29
3.40	3.29	3.53	3.47	3.67	3.59
3.53	3.43	3.67	3.75	3.70	3.88

Table 6: Coefficients of the linear-type experimental relations, resulting from the adjustment of the relationship linking Lr/h_1 to the number of Froude F_1 for different x-positions of the sill.

Sill positions (m)	Coefficient a	Coefficient b	Coefficient of correlation R^2
3	1.16	-0.67	0.9899
4.6	1.88	-3.18	0.9849
6	2.14	-4.14	0.9286

Figure (9) shows that the experimental points fit around a linear curve of the form :

$$a = 0.3296x + 0.233; R^2 = 0.948; \text{ pour } 3 \leq x \leq 6 \quad (11)$$

Figure (10) shows that the experimental points fit around a linear curve of the following shape:

$$b = -1.165x + 2.6194; R^2 = 0.9546; \text{ pour } 3 \leq x \leq 6 \quad (12)$$

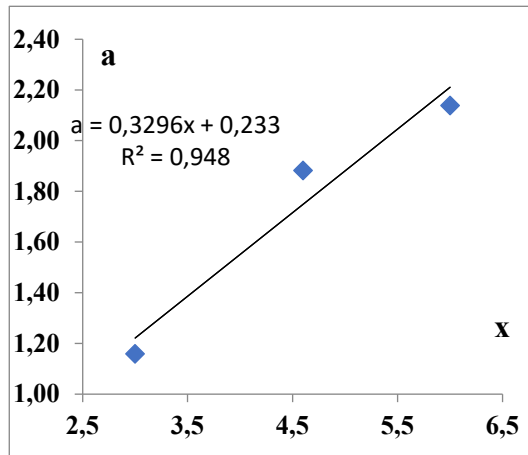


Fig 9 : Variation of the coefficient (a) as a function of the x position of the sill

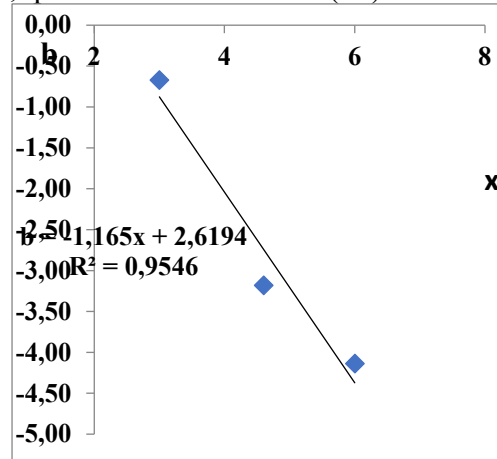


Fig 10 : Variation of the coefficient (a) as a function of the x position of the sill

The linear relation translating the variation of $(Lr/h_1)_{appr}$ as a function of F_1 and the position x of the sill, is the following:

$$(Lr/h_1)_{appr} = (0.3296x + 0.233)Fr_1 + (-1.165x + 2.6194) \quad (13)$$

For a range of Froude number $2.99 \leq Fr_1 \leq 3.70$. The graphical representation of the report $(Lr/h_1)_{exp}$ versus $(Lr/h_1)_{appr}$ is shown in figure (11).

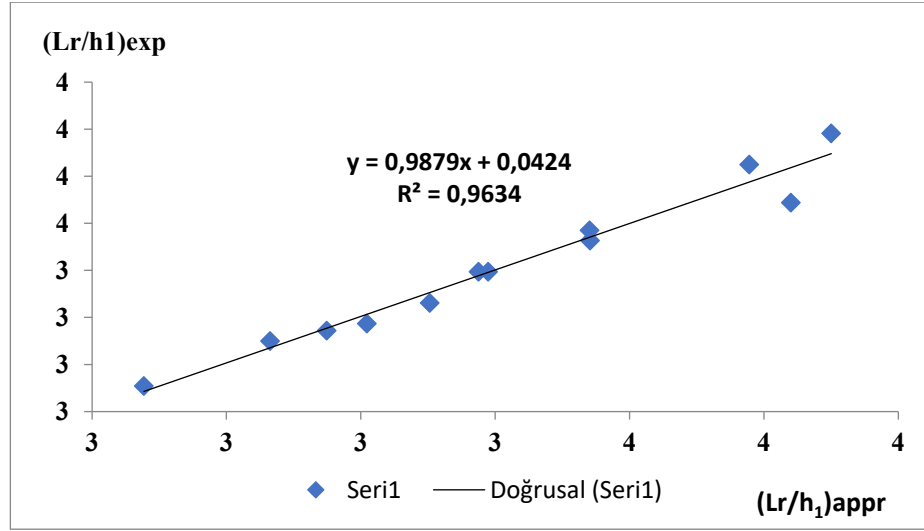


Fig 11 : Ratio variation $\lambda r = (Lr/h_1)_{exp}$ as a function of $(Lr/h_1)_{appr}$

According to figure (11), we notice that the scatterplot representing the variation of the ratio $(Lr/h_1)_{exp}$ as a function of $(Lr/h_1)_{appr}$ turns around the first bisector which confirms the validity of the generalized relation : $(Lr/h_1)_{appr} = (0.3296x + 0.0233)Fr_1 + (-1.165x + 2.6194)$

The error $\Delta(Lr/h_1)$ between the experimental results of the report $(Lr/h_1)_{exp}$ and the function $(Lr/h_1)_{appr}$ is given by the table (7):

Table 7: The error $\Delta(Lr/h_1)$ between the experimental results of the report $(Lr/h_1)_{exp}$ and the function

x (m)	F ₁	$(Lr/h_1)_{appr}$		$\Delta(Lr/h_1) = (Lr/h_1)_{exp} - (Lr/h_1)_{appr}$ / $(Lr/h_1)_{exp}$ (%)
		$(Lr/h_1)_{exp}$	$(Lr/h_1)_{appr}$	
3	2.99	2.809	2.777	1.131
	3.26	3.074	3.109	1.158
	3.40	3.294	3.275	0.576
	3.53	3.426	3.441	0.429
4.6	3.26	3.000	2.965	1.166
	3.40	3.162	3.203	1.295
	3.53	3.471	3.440	0.870
	3.67	3.750	3.678	1.917
6	3.36	3.044	3.049	0.168
	3.47	3.294	3.290	0.139
	3.67	3.588	3.740	4.233
	3.70	3.882	3.800	2.116

Variation of the relative length Lr/h_2 as a function of the number of Froude Fr_1 incidents

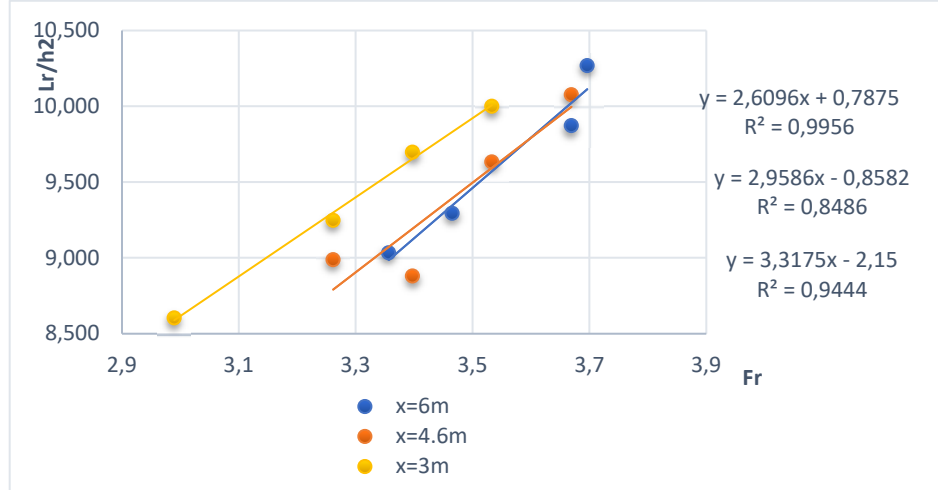


Fig12: Variation of Lr/h_2 ratio as a function of the number of Froude Fr_1 on the deeper side of the channel.

Figure (12) represents four graphs each corresponding to a position (x) of the sill. The adjustment of the experimental points led to three linear relations of the following linear equations :

$$x=3m ; Lr/h_2 = 2.6096 Fr_1 + 0.7875; R^2 = 0.9956; \quad \text{pour } 2.99 \leq Fr_1 \leq 3.53 \quad (14)$$

$$x=4.6m; Lr/h_2 = 2.9586 Fr_1 - 0.8582; R^2 = 0.8486 ; \quad \text{pour } 3.26 \leq Fr_1 \leq 3.67 \quad (15)$$

$$x=6m ; Lr/h_2 = 3.3175 Fr_1 - 2.15 ; R^2 = 0.9444; \quad \text{pour } 3.36 \leq Fr_1 \leq 3.70 \quad (16)$$

It can be seen that for all the tested positions of the sill, the ratio of the relative length of the roll Lr/h_2 increases proportionally with the number of Froude Fr_1 .

We also notice that for the same number of Froude, the value of the relative length of the jump Lr/h_2 increases as the value of the sill position increases, or with the distance of the sill from the beginning of the hydraulic jump.

The experimental results that were used to construct Figure (12) are shown in Table (8):

Fr_1	Lr/h_2 ($x=3m$)	Fr_1	Lr/h_2 ($x=4.6m$)	Fr_1	Lr/h_2 ($x=6m$)
2.99	8.60	3.26	8.99	3.36	9.03
3.26	9.25	3.40	8.88	3.47	9.29
3.40	9.70	3.53	9.63	3.67	9.87
3.53	10.00	3.67	10.08	3.70	10.27

Table 8: Coefficients of the linear-type experimental relations, resulting from the adjustment of the relationship linking Lr/h_2 to the number of Froude F_1 for different x-positions of the sill.

Sill positions (m)	Coefficient a	Coefficient b	Coefficient of correlation R^2
3	2.61	0.79	0.996
4.6	2.96	-0.86	0.849
6	3.32	-2.15	0.944

Figure (13) shows that the experimental points fit around a linear curve of the form :

$$a = 0.2355x + 1.8941 ; R^2 = 0.9978 ; \text{pour } 3 \leq x \leq 6 \quad (17)$$

Figure (14) shows that the experimental points fit around a linear curve of the following shape:

$$b = -0.9803x + 3.704 ; R^2 = 0.999 ; \text{pour } 3 \leq x \leq 6 \quad (18)$$

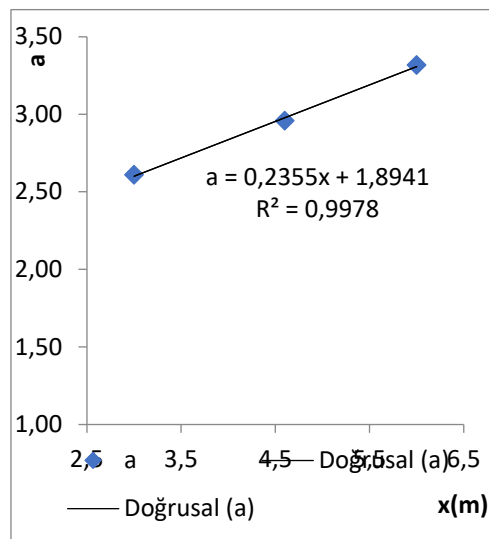


Fig 13 : Variation of the coefficient (a) as a function of the x position of the sill

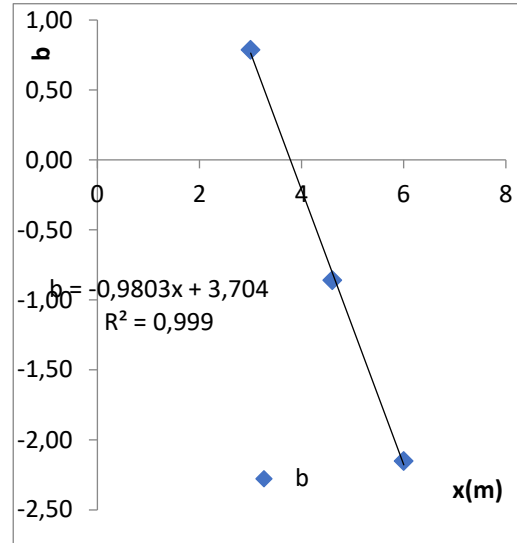


Fig14 : Variation of the coefficient (a) as a function of the x position of the sill

The linear relation translating the variation of $(Lr/h_2)_{appr}$ as a function of F_1 and the position x of the sill, is the following:

$$(Lr/h_2)_{appr} = (0.2355x + 1.8941) F_{r1} + (-0.9803x + 3.704) \quad (19)$$

For a range of Froude number $2.99 \leq F_{r1} \leq 3.70$. The graphical representation of the report $(Lr/h_2)_{exp}$ versus $(Lr/h_2)_{appr}$ is shown in figure (15).

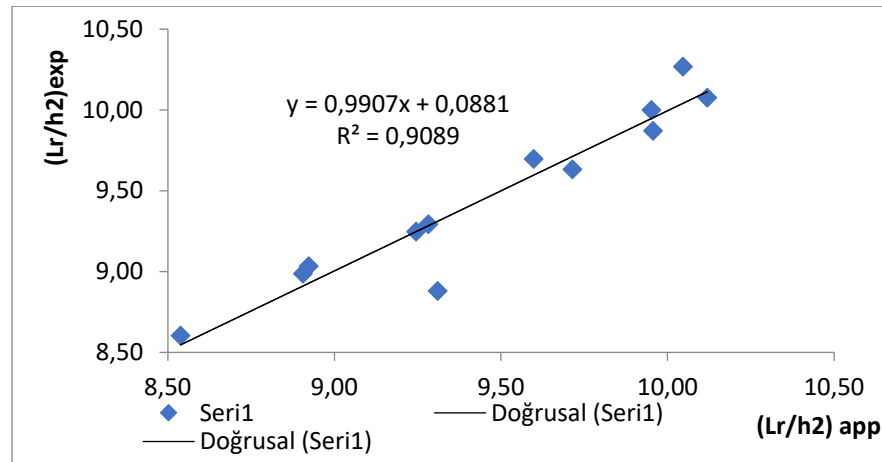


Fig 15: Ratio variation $\lambda_r=(Lr/h_2)_{exp}$ as a function of $(Lr/h_2)_{appr}$

According to figure (15), we notice that the scatterplot representing the variation of the ratio $(Lr/h_2)_{exp}$ as a function of $(Lr/h_2)_{appr}$ turns around the first bisector which confirms the validity of the generalized relation : $(Lr/h_2)_{appr} = (0.2355x + 1.8941) Fr_1 + (-0.9803x + 3.704)$

The error $\Delta(Lr/h_2)$ between the experimental results of the report $(Lr/h_2)_{exp}$ and the function $(Lr/h_2)_{appr}$ is given by the table (9):

Table 9: The error $\Delta(Lr/h_2)$ between the experimental results of the report $(Lr/h_2)_{exp}$ and the function

x (m)	F ₁	$(Lr/h_2)_{appr}$		$\Delta(Lr/h_2) = (Lr/h_2)_{exp} - (Lr/h_2)_{appr} / (Lr/h_2)_{exp} (\%)$
		$(Lr/h_2)_{exp}$	$(Lr/h_2)_{appr}$	
3	2.99	8.60	8.54	0.77
	3.26	9.25	9.24	0.03
	3.40	9.70	9.60	1.02
	3.53	10.00	9.95	0.49
4.6	3.26	8.99	8.90	0.91
	3.40	8.88	9.31	4.84
	3.53	9.63	9.71	0.85
	3.67	10.08	10.12	0.43
6	3.36	9.03	8.92	1.22
	3.47	9.29	9.28	0.12
	3.67	9.87	9.96	0.86
	3.70	10.27	10.05	2.16

CONCLUSION

In this paper, an experimental study was done on the hydraulic jump controlled by a thin sill in a non-rectangular channel with triangular convergence. The measurements were made only on the deeper side of the channel, because the hydraulic jump is formed only on the deeper side.

Experimental results showed that for all sills, the dimensionless quantity $f = (h - h_x)/(h_2 - h_1)$ increases with the growth of the x/L_r ratio. These results were presented by logarithmic fitting curves of the form: $a \cdot \ln(x/L_r) + b$ for the interval of the Froude number tested. Moreover, the generalized relations are of the form :

$$\text{For } x=3m : f_{\text{appr}} = (-0.002 A + 0.9133) \ln(x/L_r) + (0.0025 A + 0.4666)$$

However, it can be seen that for an equal value of the inflow Froude number F_1 , $f = (h - h_x)/(h_2 - h_1)$ increases with the growth of the surface area of the sills.

Experimental results also showed that the variation of the ratio of the characteristic hydraulic jump lengths L_r/h_1 and L_r/h_2 as a function of the Froude number F_1 , et for different values of the position of the sill x , results in linear type fitting curves of the form: $a \cdot F_1 + b$ for the interval of the tested Froude number. Moreover, the generalized relations are of the form :

$$\begin{aligned} (L_r/h_1)_{\text{appr}} &= (0.3296x + 0.233)F_1 + (-1.165x + 2.6194) \\ (L_r/h_2)_{\text{appr}} &= (0.2355x + 1.8941)F_1 + (-0.9803x + 3.704) \end{aligned}$$

From the graphical representation it can be seen that the ratios L_r/h_1 and L_r/h_2 increases proportionally with the number of Froude F_1 .

Abbreviations

L Channel width [m]

l Channel length [m]

m Transverse inclination of the channel bottom with respect to the horizon [%]

F_1 Inflow Froude number [-]

g Acceleration of gravity [$m \cdot s^{-2}$]

h_1 Upstream sequent depth [m]

h_2 Downstream sequent depth γ [m]

h_x Water depth at distance x from the start of the jump [m]

L_r Length of roller [m]

Q Flow discharge [$m^3 \cdot s^{-1}$]

A Sill area [cm^2]

a Sill position [m]

x Longitudinal coordinate with origin at the beginning of the hydraulic jump [m]

x/L_r Ratio between the measuring position and the length of the roll [-]

$f = (h - h_x)/(h_2 - h_1)$ Adimensionnal quantity that marks the surface profile [-]

REFERENCES

- [1] B. Nayebzadeh, M.a. Lotfollahi-yaghin, R. Daneshfaraz, Experimental study of Energy Dissipation at a Vertical Drop Equipped with Vertical Screen with Gradually Expanding at the Downstream, Amirkabir Journal of Civil Engineering, (2019) -.
- [2] R. Daneshfaraz, M. Majediasl, R. Mirzaee, P. Parsamehr, Experimental study of the roughness bed with non-continuous trapezoidal elements on S-jump characteristics in the non-prismatic rectangular channel, Sharif Journal of Civil Engineering, (2020) (in Persian)
- [3] Michele Palermo, Stefano Pagliara, Semi-theoretical approach for energy dissipation estimation at hydraulic jumps in rough sloped channels, 2018.
- [4] Negm, A.M. Optimal roughened length of prismatic stilling basins. In Proceedings of the 5th International Conference on Hydro Science and Engineering Conference, Warsaw, Poland, 18–21 September 2002.
- [5] K. Herbrand, The spatial hydraulic jump, Journal of Hydraulic Research, 11(3) (1973) 205-218
- [6] R. Daneshfaraz, M. Majedi Asl, R. Mirzaee, Experimental Study of Expanding Effect and Sand-Roughened Bed on Hydraulic Jump Characteristics, Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4) (2019) 885-896 (in Persian).
- [7] R. Daneshfaraz, R. Mirzaee, a. Ghaderi, M. MajediAsl, The S-jump's Characteristics in the Rough Sudden Expanding Stilling Basin, AUT Journal of Civil Engineering, (2019) -.
- [8] Bakhmeteff, B.A.; Matzke, A.E. The Hydraulic Jump In Terms of Dynamic Similarity. Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 1935, 101, 630–647.
- [9] Wang, H.; Chanson, H. Experimental Study of Turbulent Fluctuations in Hydraulic Jumps. J. Hydraul. Eng. 2015, 141, 04015010. [CrossRef]
- [10] Chachereau, Y.; Chanson, H. Free-surface fluctuations and turbulence in hydraulic jumps. Exp. Therm. Fluid Sci. 2011, 35, 896–909. [CrossRef]
- [11] Zhang, G.; Wang, H.; Chanson, H. Turbulence and aeration in hydraulic jumps: Free-surface fluctuation and integral turbulent scale measurements. Environ. Fluid Mech. 2013, 13, 189–204. [CrossRef]
- [12] Montano, L.; Li, R.; Felder, S. Continuous measurements of time-varying free-surface profiles in aerated hydraulic jumps with a LIDAR. Exp. Therm. Fluid Sci. 2018, 93, 379–397. [CrossRef]
- [13] Montano, L.; Felder, S. LIDAR Observations of Free-Surface Time and Length Scales in Hydraulic Jumps. J. Hydraul. Eng. 2020, 146, 04020007. [CrossRef]
- [14] Chow VT 1959 Open Channel Hydraulics, McGraw Hills, XVIII (New York,USA)
- [15] K. Herbrand, The spatial hydraulic jump, Journal of Hydraulic Research, 11(3) (1973) 205-218.
- [16] R. Daneshfaraz, M. Majedi Asl, R. Mirzaee, Experimental Study of Expanding Effect and Sand-Roughened Bed on Hydraulic Jump Characteristics, Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4) (2019) 885-896 (in Persian).
- [17] R. Daneshfaraz, R. Mirzaee, a. Ghaderi, M. MajediAsl, The S-jump's Characteristics in the Rough Sudden Expanding Stilling Basin, AUT Journal of Civil Engineering, (2019) -.
- [18] Hager, W.H, and Nicola V.Bretz, Sill-Controlled stilling basin, the international symposium on hydraulics for high dams, 1988.
- [19] Chanson, H . Positive surge propagation in a non-rectangular asymmetrical channel, 2018.

- [20] Alberto José, Rodriguez Diaz, The hydraulic jump in non rectangular open chanel. Thesis of Master of Science in civil engineering. Faculty of the graduate division, Georgia institute of technology, 1954.
- [21] Bachir Achour and Mahmoud Debabeche, Control of hydraulic jump by sill in triangular channel, 2010.
- [22] Willie, H. Hager, Anton and J. Schleiss . Hydraulic construction, Stationary flow, New edition completely revised and enlarged, 1989, page 318,319.

New Generation Production Systems: Cobots

Perihan Bekdemir^{*1}, Seren Özmehmet Taşan²

^{*}perihan.9@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-9295-3727

¹Industrial Engineering, Dokuz Eylul University, Perihan BEKDEMİR, Izmir, Turkey

² Industrial Engineering, Dokuz Eylul University, Seren ÖZMEHMET TAŞAN, Izmir, Turkey

Abstract Although the role of automation in the manufacturing sector is increasing day by day, manufacturers cannot automate many tasks efficiently. Unfortunately, most of the added value is produced by handicraft using human workers. A number of different methodologies have emerged in recent years and this methodology is an evolving technology of human-robot collaboration. Collaborative robot (cobots) systems, which are established to realize the advantages of both manual and automatic production with low costs in a combined production system by establishing stations consisting of human workers and cobots, have many advantages, especially in sectoral terms and especially in production. Having the ability to do hundreds of times more work than an ordinary worker, cobots have become very popular. Cobots that can operate without causing mechanical malfunctions can be ready to work immediately. It is highly preferred due to its economical price and energy saving. Since the new generation robotic cobots have more physical hand skills, this is the service and maintenance integration of the product. The cooperation of humans and cobots is a very effective enterprise.

As it is known, workers are assigned to the stations in the assembly line balancing problem. However, an assembly line design problem was encountered in which workers and cobots work together in this study. Since assigning a worker or cobot and a worker to the same station causes different costs, the aim is to minimize the resulting cost. To solve this problem, a two-step solution methodology has been proposed. The first step addresses the assembly line balancing type 1 problem, which tries to minimize the number of stations opened for a line with a certain cycle time. In the second step, determines how human-cobot work sharing will be at workstations that need energy. In ergonomics science, which is based on many equations proposed regarding the energy expenditure of the worker in the workplace, a solution has been sought with the help of allocating cobots to workers for jobs that need to be done above a certain energy.

Keywords: *Assembly Line Balancing, Collaborative Robots, Human-Robots Integration*

I. INTRODUCTION

The role of automation in the manufacturing sector has increased significantly. Unfortunately, manufacturers are currently unable to automate many tasks efficiently. Therefore, much of the added value is produced by handicraft using human workers, characterized by flexibility and adaptability. In recent years, a number of different

methodologies have emerged to support manual manufacturing, and these methodologies are emerging technologies of human-robot collaboration. Collaborative robot (cobot) does not require external devices (e.g. security fences) as they are characterized by inherent safety mechanisms. By setting up stations consisting of human workers and cobots, the advantages of both manual and automatic production can be realized with low costs in a combined production system [1]. Fig.1. is an example of human cobot collaboration.



Fig.1. It is an example of human and cobot working at the same time

It can be seen from the figure that that human and cobot work together at the same time in a shared work environment, where human and cobot collaboration may also decrease the probability of ergonomic disease occurrence in human workers. Cobot systems have many advantages, especially in the sectoral sense for production. These cobots, which can perform the same human movements according to the system mechanics, have the ability to do hundreds of times more work than an ordinary worker. Cobots, which can work at any time of the day without causing mechanical failures, can be ready to work within the first two hours after their installation. Universal cobot systems, which can easily lift objects with very large weights and move these objects in all directions with their flexible structure, are preferred because of their economical price and energy saving [2]. This collaboration may also decrease the probability of ergonomic diseases occurrences in human workers.

Due to its increasing popularity a limited number of studies have been made focusing on the ergonomic benefits of the human-cobot collaboration [3], planning of shared human cobot assembly tasks [4], energy expenditure in the assembly line [5] and cobot usage in assembly lines [6]. In 2015, Maurice [3] focuses on the development of a methodology for quantitatively comparing the ergonomic benefits provided to a human worker by cobots while performing a specific task. In 2016, Battini, Delorme, Dolgui, Persona, & Sgarbossa [5] proposed a new multi-purpose approach to integrate ergonomic measures into an assembly line balancing (alb), problem predicted by the energy expenditure assessment of performing each task. In 2017, Maurice, Padois, Measson, & Bidaud [7] used ergonomic indicators (dynamic virtual human simulation) to efficiently design cobots and proposed an evolutionary algorithm to optimize their parameters. In 2018, Michalos, Spiliotopoulos, Makris, & Chrysosolouris [4] created a smart algorithm to perform the joint planning of assignments from task to source and cell layout design for the implementation of a multi-criteria methodologies for planning shared human cobot assembly tasks. In 2019, Dalle Mura and Dini [6] proposed

a genetic algorithm to approach to solve the alb problem in the case of human-cobot collaborative work, which is to minimize the cost of assembly line, the number of skilled workers on the line, and the variance of energy load between them. The studies in this field are very valuable but limited as it minimizes energy consumption while considering operational costs. As it can be seen literature that there is a grooving need for this kind of studies.

Our research aims to fill this gap in literature. This study proposes a two-step solution methodology for alb with human workers and cobots in cost-oriented approach under consideration of ergonomic. The remainder of this paper is organized as follows; the second section contains the detailed definition of the problem together with the assumptions, the third section includes the model formulation, the fourth section introduces the proposed solution methodology, and finally, the last section concludes with the future research directions.

II. PROBLEM DEFINITION: COBOT-HUMAN ASSEMBLY LINES

Human workers and cobots can work in the same working area and on the same product. Creating and examining detailed alternative cell layouts that can efficiently accommodate these task distributions by effectively allocating production tasks to humans and cobots, it is necessary to ensure that human-cobot task sharing applications are systematically designed and implemented [4]. The same perspective can be used for cobots and humans working together in an assembly station but without the need of a security fence. Fig.2. shows that workers and cobots cooperate on the same assembly line.

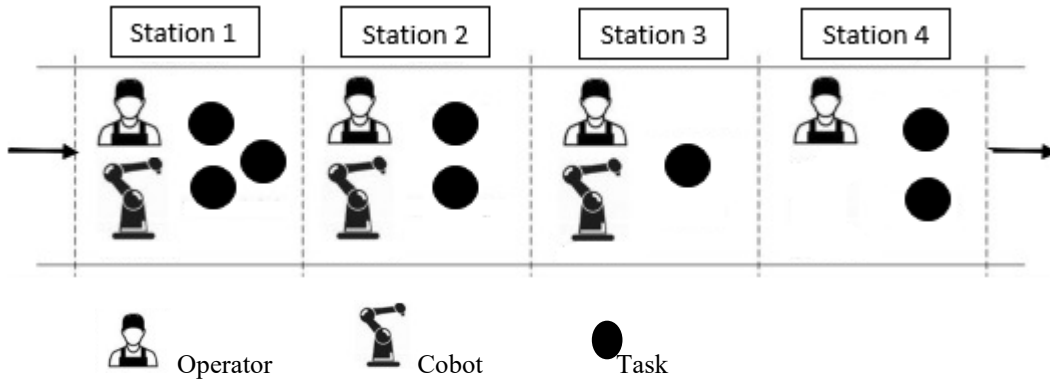


Fig.2. Workers–cobots in assembly line

As seen in figure, a worker can be assigned to a station alone, but since cobots cannot work without workers, a worker must be appointed to a station. A set of n tasks $i, i \in I$ have to be allocated among the stations of the system. A set $r \in R$ containing R resource types are available. Resources are assumed to be either a human worker ($r \in R^w \subseteq R$) or a cobot ($r \in R^c \subseteq R$). Since there are two types of resources available, $r = 1$ resource type is worker (R^w) whereas $r = 2$ resource type is cobot (R^c). Processing times t_{ir} (in min) are deterministic and constant for each task i and resource r . CM_{ir} is the capability matrix that indicate resource r is able to perform task i ($n \cdot R$ binaries). x_{ikr} tells us whether the job is assigned to station k and source r . y_{kr} indicates whether source r is assigned to station k or not.. The maximum

dimension of the line is constrained to K stations due to spatial restrictions. Due to the human and cobot sequential work, the necessity of task planning within the stations arises. The variables s_i are introduced to indicate the start time of the task i at the station to which the task is assigned, which $(i, j) \in E$ in relation to the priority relations of the tasks, ensuring that the i job in the station is done before the j job, so j can start at the earliest after the end j at the partner stations.

The combination of the parts that make up the product to form the permanent product is called assembly. The most important problem that arises when designing the assembly line is the alb. While creating the assembly line, attention should be paid to the priority relations of the tasks and the cycle times of the stations should not be exceeded. Line efficiency is an important factor and lines with 100% efficiency are ideal lines. The smoothness index of the line is also an important factor, and a value as small as possible is ideal. The problem of alb is particularly important for mass production [8].

In this problem, two different costs, C_k^S and C_r^R , are mentioned.

- Cost of stations C_k^S is the total cost of capital (i.e. depreciation and interests for the machinery and the transportation system for the length of one station) [9].
- Cost of resources C_r^R is divided into two. First cost is the payment of a worker. The other cost is cobot's price, accessories, installation, and interests.

A. Energy Requirements of Workstations

Since ergonomic related discomforts may occur in assembly line workers, it is very important to be taken into consideration in ergonomic evaluation and this situation has recently attracted attention [10]. In this study, sum of the concepts from ergonomics are adapted. This is because energy requirement overrun causes many problems for workers. Workers who exceed a certain energy expenditure experience extreme fatigue and occupational diseases. Energy consumption is the amount of energy required for the cobot on the line. Energy expenditure is the amount of energy required by the worker to do the job. Energy requirement is the sum of energy consumption and energy expenditure. The average work rate (MWR) of the employees is determined by the energy expenditure (a physical, non-financial measure) of the tasks performed. It determines the relaxation allowances (RA) required for the worker to get rid of the load exceeding AWL', taking into account the working level (AWL) and a relaxation rate (RR) [11]. Workers may maintain $AWL = 4.3 \text{ kcal/min}$ throughout their workday, while $RR = 1.86 \text{ kcal/min}$ are required while relaxing in standing position. Since $MWR = \frac{e_{ir}}{t_{ir}}$, where e_{ir} (in kcal) is the energy expenditure of human worker r conducting task i , RA calculates to

$$RA = \frac{MWR - AWL}{AWL - RR} = 0.41 \frac{1}{\text{kcal/min}} * \frac{e_{ir}}{t_{ir}} - 1.76 \quad (1)$$

When considering RA, the adjusted process time (n_{ir}) is calculated as

$$n_{ir} = t_{ir}(1 + RA) = \begin{cases} 0.41 \frac{1}{\text{kcal/min}} * e_{ir} - 0.76 * t_{ir} & \text{if } MWR > 4.3 \frac{\text{kcal}}{\text{min}} \\ t_{ir} & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

RA and n_{ir} are now calculated [11, 12]. (1) and (2) are do not apply for cobots. Please note that $n_{ir} > t_{ir}$ for any task with $MWR > AWL$. Processing times t_{ir} must not exceed c .

B. Adjusted Cycle Time

With the assignment of the cobot to the station, a new cycle time is now obtained at that station. Fig.3. shows that if the energy requirements of the jobs up to cycle time at this station are equal to or not reaching the human limit, we do not need a cobot.

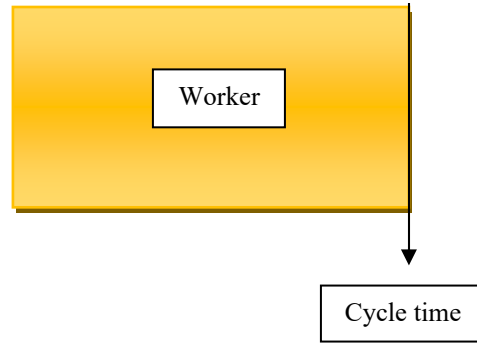


Fig.3. Only worker in station

As seen in figure, if a worker is assigned to a station alone; the cycle time of that station is the normal cycle time.

Fig.4. shows that if the total energy requirements of the jobs at that station assigned to a person are more than that of the human and exceeds the cycle time, the jobs that can be done by the person are assigned to the other jobs.

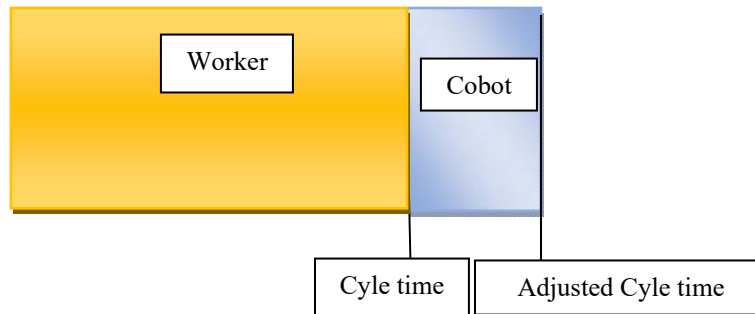


Fig.4. Worker and cobot in station

As seen in figure, if a cobot is being assigned to a station; the cycle time there increases by 15% at the most. The new cycle time is now expressed as C_{cobot} , which is

$$C_{\text{cobot}} = C^*(1+0.15) \quad (3)$$

Equation 3 is given the cycle time formula. Adjusted cycle time is now calculated.

C. Assumptions

The following assumptions have been made to allow the definition of the problem in this study:

- All of the task operation times are known and deterministic.
- Precedence diagrams are known.
- The parallel working of a cobot and a human worker is not considered. Namely, a cobot and a human worker cannot perform different tasks on the same station simultaneously.
- Task division is not permitted
- The material transportation and set-up times are negligible.
- Only one worker or one cobot can be assigned to each station consequently, they neglect parallel execution multiple resources and the resulting necessity of scheduling tasks within stations.
- Cycle time is known.
- Human and cobot work sequentially

III. PROBLEM FORMULATION

This problem introduce in section is formulated together with notations .Then the problem is modeled mathematically and the objective function and the explanation of the constraints are given.

A. Notations

TABLE I
DESCRIPTION OF THE NOTATION

Notation	Definitions
$i, j \in I \equiv \{1, \dots, n\}$	Set of assembly tasks.
$k, h \in K \equiv \{1, \dots, K\}$	Set of stations.
$r \in R \equiv \{1, \dots, R\}$	Set of resource types, where $R = R^w \cup R^c$, with R^w set of worker resource types, and R^c set of cobot resource types.
$(i, j) \in E$	Set of direct precedence relations (i, j) . i task must be done before j task.
Z_{kij}	1, if task i precedes task j in station k 0, otherwise
c	Cycle time in minute
C_{cobot}	Cobot assigned station's adjusted cycle time

C_k^S	Costs per station per minute (in EUR), if k stations are utilized in Euro.
C_r^R	Costs of resource r per entity per minute (in EUR) in Euro.
CM_{ir}	Capability matrix (1, if r is capable of performing i).
t_{ir}	Processing time of task i on resource r in minute.
e_{ir}	Energy expenditure of task i on resource r in kcal
n_{ir}	Adjusted processing time of task i on resource r in minute.
x_{ikr}	Binary variable. 1, if task i is assigned to station k and resource r 0, otherwise
y_{kr}	Binary variable. 1, if resource r is assigned to station k . 0, otherwise
s_i	Start time of task i in its respective station
M	A very large positive number

B. Mathematical Model

The main objective (4) is to minimize costs per cycle, taking into consideration costs of stations and resources per minute, and the cycle time. This objective function consists of two parts. The first part of the objective function represents to minimize total cost of capital (i.e., depreciation and interests for the machinery and the transportation system for the length of one station) and the second part represents to minimize cost of resource (human and cobot)

Objective function

$$\text{Minimize } Z(x, y) = c * \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} C_k^S * x_{nkr} * k + c * \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} y_{kr} + 0.15c * \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} y_{kr} \quad (4)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R} C_k^S * x_{ikr} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{r \in R} y_{kr} = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{k \in K} y_{kr} \leq K \quad (7)$$

$$s_i + \sum_{i \in I} x_{ik1} * n_{ir} \leq c \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ik1} * n_{i1} + \sum_{i \in I} x_{ik2} * t_{i2} \leq 1.15c + M(1 - y_{k2}) \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ik2} * t_{i2} \leq C_{\text{cobot}} \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{r \in R} x_{jkr} \leq \sum_{h=1}^k \sum_{r \in R} x_{thr} \quad \forall (i, j) \in E, k \in K \quad (11)$$

$$s_i + \sum_{r \in R} t_{ir} * x_{ikr} \leq s_j + M(1 - z_{kij}) \quad \forall (i, j) \in L, k \in K \quad (12)$$

$$z_{kij} \geq 1 - M(1 - \sum_{r \in R} x_{ikr}) - M(1 - \sum_{r \in R} x_{jkr}) \quad \forall (i, j) \in E, k \in K \quad (13)$$

$$z_{kij} + z_{kji} \geq 1 - M(1 - x_{ikr}) - M(1 - x_{jkr}) \quad \forall (i, j) \in L, i \neq j, k \in K, r \in R \quad (14)$$

$$z_{kij} \leq \frac{1}{2} * (\sum_{r \in R} x_{ikr} + \sum_{r \in R} x_{jkr}) \quad \forall (i, j) \in L, k \in K \quad (15)$$

$$x_{jkr} \leq y_{kr} * CM_{ir} \quad \forall i \in L, k \in K, r \in R \quad (16)$$

$$x_{ikr} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in L, k \in K, r \in R \quad (17)$$

$$y_{kr} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, r \in R \quad (18)$$

$$z_{kij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in L, k \in K \quad (19)$$

$$s_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (20)$$

Equation (5) ensure that each task is assigned to one station and resource. Equation (6) ensure that a worker will be assigned to each station. Equation (7) guarantees that the total number of cobots assigned can be as many as the number of stations opened. Equations (8)-(9)-(10) ensure that if a cobot is being assigned to a station; the cycle time there increases by 15% at the most. Equation (11) enforces that precedence relations between stations. Equation (12) ensures that job i takes precedence over job j at common stations. These cases are further specified by (12)–(15): i has to precede j , if i is a direct predecessor of j and both are assigned to the same station. If two tasks i and j are assigned to the same station and resource, one has to precede the other independent of precedence relations. If these tasks are allocated to different stations, however, neither has to precede the other. z_{kij} in (12)–(15), are able to limit the activation of computationally complex scheduling (11) to the relevant cases. Equation (16) ensure that if resource r is allocated to station k and it is capable of performing task i , task i is only assigned to resource r in station k . Finally, (17)–(20) indicate the decision variables. The model is a mixed-integer linear program.

IV. PROPOSED SOLUTION METHODOLOGY

In order to solve the human cobot assembly line design problem, a new solution methodology is proposed. The solution methodology exists a two-step solution methodology (see Fig.5.).

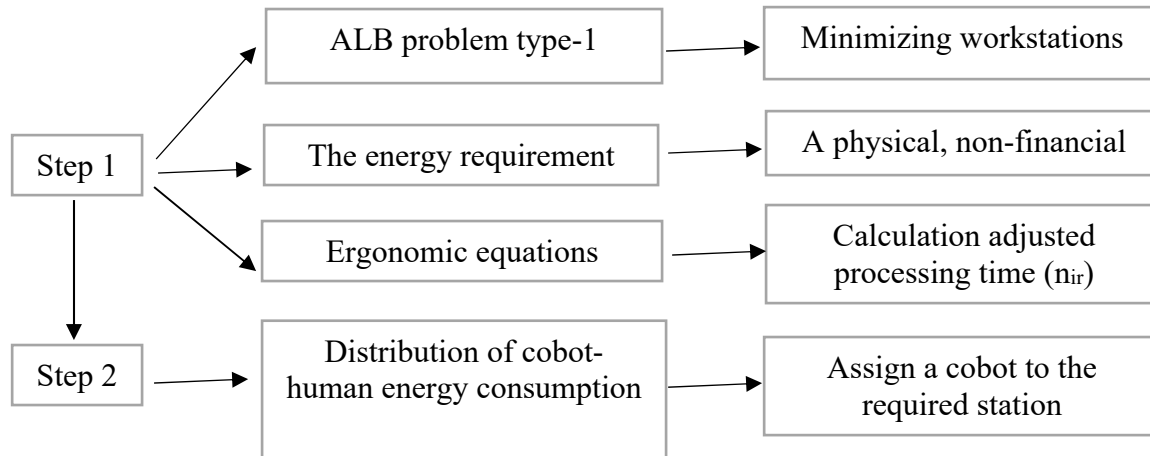


Fig.5. Human-cobot line balancing solution methodology

As seen in figure, while minimizing the cost in the first step, jobs are assigned to the stations. This step is thought to be a simple alb problem. In ergonomics science, there are many equations suggested about the energy expenditure of worker at work. In this way, the energy requirement of the workstations is determined. Second step; determines how human-cobot work sharing will be at workstations. If the workstations with calculated energy requirements exceed the cycle time, after assigning the cobot to that station, if the cycle time does not exceed the cobot will be assigned to that station. If the cycle time is still exceeding after the cobot is assigned, no cobots will be assigned to that station and the new station will be opened.

V. CONCLUSION

Popular human-working cobots were integrated into the assembly line to support traditional human labor recently. In this study, the problem of assembly line balancing is dealt with from different perspectives: i.e., economically and ergonomical. Previous studies have been examined, and it has been seen that there are few studies that deal with human and cobot together. In order for cobots, which are highly beneficial to humans in terms of ergonomics, to reduce occupational diseases, this issue needs further investigation. Unlike previous studies, this study also took into account ergonomic criteria while putting workers and cobots on the assembly line. A two-step model has been proposed and the aim is to minimize the total cost. In the proposed two-step methodology, workers and cobots can be shared the jobs assigned to the station in an ergonomic way. As future research, the propose methodology can be adopted to consider type 2 problem. Moreover, it can also be applied for different layout

configurations of assembly line (such as U-type, two-sided). Finally, different ergonomics concepts can be applied for calculation of energy.

REFERENCES

- [1] C. Weckenborg, T.S. Spengler, Assembly Line Balancing With Collaborative Robots Under Consideration Of Ergonomics: A Cost-Oriented Approach, IFAC-Papersonline 52(13) (2019) 1860-1865.
- [2] S.E. Hashemi-Petroodi, S. Thevenin, S. Kovalev, A. Dolgui, Operations Management Issues In Design And Control Of Hybrid Human-Robot Collaborative Manufacturing Systems: A Survey, Annual Reviews In Control (2020).
- [3] P. Maurice, Virtual Ergonomics For The Design Of Collaborative Robots, Université Pierre Et Marie Curie-Paris VI, 2015.
- [4] G. Michalos, J. Spiliotopoulos, S. Makris, G. Chrysosolouris, A Method For Planning Human Robot Shared Tasks, CIRP Journal Of Manufacturing Science And Technology 22 (2018) 76-90.
- [5] D. Battini, X. Delorme, A. Dolgui, A. Persona, F. Sgarbossa, Ergonomics In Assembly Line Balancing Based On Energy Expenditure: A Multi-Objective Model, International Journal Of Production Research 54(3) (2016) 824-845.
- [6] M. Dalle Mura, G. Dini, Designing Assembly Lines With Humans And Collaborative Robots: A Genetic Approach, CIRP Annals 68(1) (2019) 1-4.
- [7] P. Maurice, V. Padois, Y. Measson, P. Bidaud, Human-Oriented Design Of Collaborative Robots, International Journal Of Industrial Ergonomics 57 (2017) 88-102.
- [8] I. Kucukkoc, D.Z. Zhang, Simultaneous Balancing And Sequencing Of Mixed-Model Parallel Two-Sided Assembly Lines, International Journal Of Production Research 52(12) (2014) 3665-3687.
- [9] M. Amen, Cost-Oriented Assembly Line Balancing: Model Formulations, Solution Difficulty, Upper And Lower Bounds, European Journal Of Operational Research 168(3) (2006) 747-770.
- [10] A. Otto, A. Scholl, Incorporating Ergonomic Risks Into Assembly Line Balancing, European Journal Of Operational Research 212(2) (2011) 277-286.
- [11] A. Price, Calculating Relaxation Allowances For Construction Operatives—Part 2: Local Muscle Fatigue, Applied Ergonomics 21(4) (1990) 318-324.
- [12] W. Rohmert, Problems Of Determination Of Rest Allowances Part 2: Determining Rest Allowances In Different Human Tasks, Applied Ergonomics 4(3) (1973) 158-162.

Optimization for Insulation Thickness of Electric Combi Boiler Tank

EmrecaN TANKUT^{*,1}, Yalçın ÖTER¹, Murat AĞCA¹, Tolga VATANSEVER¹

^{*}emrecantankut@emas.com.tr, ORCID: 0000-0001-9417-1422

¹Araştırma ve Geliştirme Müdürlüğü EMAS Makina Ar-Ge Merkezi, EMAS MAKINA AS, Manisa, Turkey

Özet: Bu çalışma kapsamında; bir elektrik kombi ısıtıcının içerisinde yer alan ısıtma tankı üzerindeki yalıtım kalınlığının optimize edilmesi tartışılacaktır. Özellikle 2000'li yılların başından itibaren Dünya'daki karbondioksit ve diğer zehirli sera gazlarının oldukça artması sebebiyle hidrokarbon kaynaklı yakıtlı ısıtıcılar yerine yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan alternatif ısıtıcıların kullanılması planlanmaktadır. Bahsedilen alternatif yakıt kaynaklarından ilki hidrojen olmak ile birlikte, hidrojen gazının elde edilmesi ve nakliyesinde hala aşılması gereken noktalar olduğundan dolayı ideal bir çözüm olmamaktadır. Bu sebeple diğer bir alternatif olan elektrikli ısıtıcıların kullanımı bu dönemde daha makuldür. Bu çalışma yapılırken söz konusu yalıtım kalınlığı ilk olarak el hesaplamaları vasıtasıyla hesaplanacaktır. El ile yapılan hesaplamanın ardından ortaya çıkarılan sonuç, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz programı ile simüle edilecektir. El hesaplamasında ortaya çıkarılacak olan sonucun standart olarak üretilen yalıtım malzemesi kalınlığı ile tam olarak örtüşmeyeceği düşünülmektedir. Bu sebeple hesaplamalı akışlar dinamiği analiz programında, el ile hesaplamada ortaya çıkarılan yalıtım kalınlığına en yakın iki kalınlık dikkate alınacaktır. El hesaplamalarında boru içerisinde akışlarında kullanılan ısı transferi denklemlerinden faydalanacaktır. Ancak bahsedilen denklemler ile doğrudan hesaplama yapılması mümkün olmayacaktır. Bu sebeple hesaplamalar ısı transferi akısı üzerinden toplam dirence geçilmesi yöntemi ile gerçekleştirilecektir. Direnç değeri kendi içerisinde hem iletim hem de taşınım direnç değerlerini içereceği için bulunan değer ayrıştırılması gerekmektedir. Bu durum her ne kadar ilerleyen kısımda tartışılacak olsa da bahsedilen direnç 4 direnç değerinin toplanmasıyla oluşacaktır. Hesaplamalarda kullanılacak olan kısım yalıtım malzemesinin taşınım direnci ve yine aynı malzemenin iletim direncidir. Bu dirençler üzerinden yalıtım kalınlığının hesaplanması mümkün olacaktır. Son olarak elde edilen değerler maliyet unsuru da göz önüne alınarak, hangi yalıtım kalınlığının üründe kullanılacağına karar verilecektir. Böylece ideal yalıtım kalınlığının bulunması sağlanarak; yalıtım kalınlığı optimizasyonu sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli kombi, ısı analizi, yalıtım optimizasyonu

Abstract: In scope of this work; optimization of the insulation thickness on the heating tank inside an electric boiler heater will be discussed. It is planned to use alternative heaters operating with renewable energy sources instead of hydrocarbon-based fuel heaters, especially since the beginning of the 2000s, due to the increase in carbon dioxide and other toxic

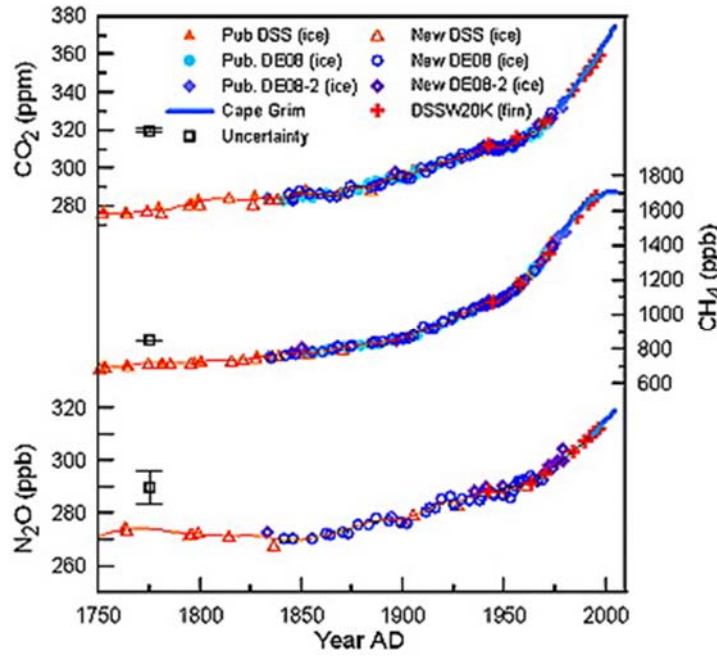
greenhouse gases in the world. Although the first of the mentioned alternative fuel sources is hydrogen, it is not an ideal solution since there are still points to be overcome in obtaining and transporting hydrogen gas. For this reason, the use of electrical heaters, which is another alternative, is more reasonable in this period. While doing this study, the said insulation thickness will first be calculated by hand calculations. The result obtained after manual calculation will be simulated with a computational fluid dynamics analysis program. Thought the result to be obtained in the hand calculation will not exactly match the thickness of the insulation material produced as a standard. For this reason, in the computational fluid dynamics analysis program, the two thicknesses closest to the insulation thickness revealed in manual calculation will be taken into account. Hand calculations will benefit from heat transfer equations used in flows inside the pipe. However, it will not be possible to calculate directly with the mentioned equations. For this reason, calculations will be performed by the method of passing the total resistance over the heat transfer flux. Since the resistance value will contain both conduction and convection resistance values within itself, the value found must be decomposed. Although this situation will be discussed in the following section, the said resistance will occur by adding 4 resistance values. The part to be used in the calculations is the conduction resistance of the insulation material and the conduction resistance of the same material. It will be possible to calculate the insulation thickness based on these resistances. Finally, it will be decided which insulation thickness will be used in the product, taking into account the cost factor of the values obtained. Thus, by providing the ideal insulation thickness; insulation thickness optimization will be provided.

Keywords: *Electric boiler, heat analysis, insulation optimization*

GİRİŞ

Bu çalışmada; elektrikli kombilerde kullanılan su kazanlarının üzerine yerleştirilen yalıtım malzemesinin kalınlığının belirlenmesi için yürütülen sayısal analiz çalışması ile ilgilidir.

Kombiler ev ya da ticari yapıların ısıtılmasını sağlayan cihazlardır. İlerleyen yıllar ile birlikte kombiler yakıt olarak; katı yakıtlardan sıvı yakıtlı sistemlere oradan da gaz yakıtlı sistemlere geçmiştir. Yaşanan bu yakıt türü değişimine bağlı olarak kombilerde genel bir verim artışı olduğu görülmüştür [1-3]. Her ne kadar verim yükselişi olsa da yanma sonucu ortaya çıkan ürünler atmosferi kirletmektedir. Ancak özellikle 1900'lü yılların ikinci yarısından itibaren, Şekil-1 [4] de olduğu gibi görülen atmosferdeki sera gazlarının değerinin hızlı artışı sonucunda bahsedilen ısınma ihtiyacını karşılayabilecek fakat daha temiz enerji ile çalışabilecek cihazların kullanılması ihtiyacı doğmuştur.



Şekil 1 – Kirlenici Gazların yıllara göre dağılımı

Özellikle 2000’li yılların başında sera gazı ve diğer kirlenici gazların artışının geri dönülemez bir boyuta geldiği anlaşılmış ve artış eğimini azaltmak adına çeşitli önlemlerin alınması gerektiği ön görülmüştür. Bu sebeple hali hazırda kullanılan ve hidrokarbon bazlı yakıcı gazlar yerine hidrojen gibi daha temiz gazların kullanılması düşünülmektedir. Ancak hidrojen gazının da depolanması ve aktarımındaki gerek maddi gerekse taşıma zorlukları nedeniyle başka alternatiflerin ortaya çıkması gerekmiştir [5].

Hidrojen gazı yanma sonrası ürünleri düşünüldüğünde temiz bir gaz olarak görülse de saf hidrojen gazının elde edilmesi ve taşınması zor bir proses olduğundan ısınma ihtiyacını karşılayacak cihazlara kaynak olarak başka kaynakların bulunması gerekmiştir [6-7]. İlerleyen teknoloji ve gelişen altyapılar düşünüldüğünde bahsedilen ısınma ihtiyacını karşılayabilecek ve enerji ihtiyacını elektrik enerjisinden sağlayacak kombi benzeri ısıtma cihazlarının geliştirilmesine başlanmıştır.

Elektrik enerjisini kullanan cihazlarında ısıtma suyu, kombi içerisinde yer alan bir tank içerisinde doğrudan ısıtıcılar tarafından ısıtılmaktadır [8]. Önceki sistemlerde olan yanmış gazın enerjisini aktaracağı bir ısı değiştirici bulunmamaktadır. Elektrik enerjisi kullanan kombilerde enerji transferi doğrudan yapıldığı için verimin bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir. Her ne kadar elektrikli kombiler ile gaz yakıcılı kombilerin verimlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmaya literatürde rastlanmış olmasa bile; gaz yakıcılı kombilerin farklı çeşitleri için yapılmış verim karşılaştırmalarına ait çalışmalara rastlanmıştır. Durkin tarafından yazılmış Kombi Sistem Verimliliği isimli çalışmada, konvansiyonel gaz yakıcılı sistemler ile yoğunlaşmalı gaz yakıcılı kombilerin verimleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda konvansiyonel kombiler için verim ortalama %49 civarında iken, yoğunlaşmalı kombilerde bu

oran ortalama %68 civarındadır [9].

Elektrik enerjisi kullanan kombilerde verim gaz yakıcılı ürünlere nazaran daha fazla olsa da bahsedilen elektrikli kombilerin tanklarından kombi içerisine dağılan ısıнын kontrol edilmesi de verimi etkilemektedir. Bahsedilen ısı kaybının azaltılması verimi olumlu yönde etkileyecektir. Yapılan bu çalışma ile tank üzerine yerleştirilecek yalıtım malzemesinin kalınlığı ile önce el ile hesaplanacak ardından hesap sonucu ortaya çıkan değere yakın iki değer hesaplamalı akışkan analiz programı ile simüle edilerek optimum yalıtım kalınlığı bulunmaya çalışılacaktır.

1. MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada; el hesaplamaları ile Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz programının bir karşılaştırılması yöntemi kullanılmıştır. El hesaplamalarında Isı transferi denklemleri kullanılarak bir yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Elde edilen yalıtım kalınlığı, hali hazırda piyasada bulunabilecek bir yalıtım kalınlığı olmayacağından dolayı; bahsedilen kalınlığa yakın 2 adet kalınlık ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz programı kullanılarak olası ısı kaçaklarının miktarı simüle edilecektir. Bulunan bu ısı kaçak değerleri, maliyetler de göz önünde bulunarak karşılaştırılacaktır. Sonuca göre üründe kullanılacak yalıtım kalınlığının hesaplanması sağlanacaktır.

1.1 Su Isıtma Tankının Özellikleri

Çalışmada kullanılacak olan tankın malzemesi ANSI 304L paslanmaz çelikten mamuldür. Tankın dış çapı 160 mm iken, çeper kalınlığı 1,2 mm olarak tasarlanmıştır. Bahsedilen tankın yüksekliği ise 392 mm'dir. Çalışmada kullanılan tank şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2 – Çalışmada kullanılan tanka ait resimdir.

Şekil 2 de belirtilen tank; 3 adet daldırma tipte ısıtıcı elemana sahiptir. Bunların ikisi yukarıdan sonuncusu ise aşağıdan sisteme alınmaktadır. Ayrıca sistemin girişi Şekil 2'den de

görülebileceği üzere aşağıdaki boşaltmadan yapılırken; çıkışı yukarıdaki 1 adet boşaltmadan yapılmaktadır. Şekil 3'te ANSI 304L malzemesinin, malzeme özellikleri belirtilmiştir.

Physical Properties

Density 0.285 lbs/in ³ 7.90 g/cm ³	Specific Heat 0.12 BTU/lb-°F (32–212°F) 500 J/kg-°K (0–100°C)
Modulus of Elasticity 29.0 x 10 ⁶ psi 200 GPa	Thermal Conductivity 212°F (100°C) 9.4 BTU/hr/ft ² /ft-°F 16.3 W/m-°K
Melting Range 2550–2590°F 1398–1421°C	Electrical Resistivity 29.1 Microhm-in at 68°F 74 Microhm-cm at 20°C

Şekil 3 – ANSI 304L malzemesinin özelliklerini belirtmektedir.

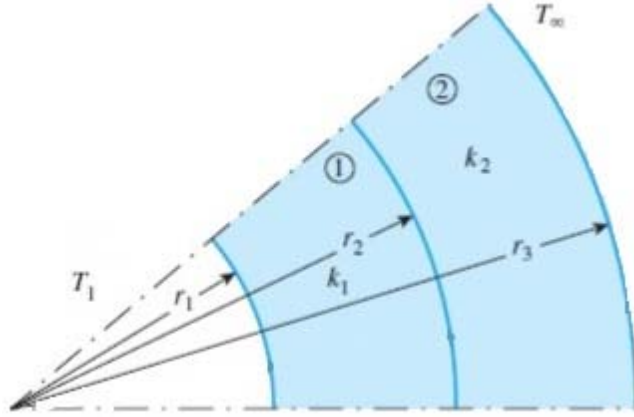
Şekil 2 de gösterilen tankın üzerine Melamin Sünger kaplanarak bahsedilen tankın üzerinden kaçan ısı miktarının azaltılması sağlanmaktadır. Melamin süngerin özellikleri Şekil 4 de belirtilmiştir.

SICAKLIK DİRENCİ (Temperature Resistance)	°C	-	-30 to +150 (MND CAPABILITY)
SICAKLIK DİRENCİ (Temperature Resistance)	°C	-	-200 to +240 (REF: BASF Document No: KTSMB 1201 BE)
YOĞUNLUK (Density)	kg/m ³	ISO 845	11 ± 2,0
KOPMA MUKAVEMETİ (Tensile Strenght)	N/mm ²	ISO 1798	> 0,12
KOPMA UZAMASI - t=10 mm için (Elongation at Break – for t=10mm)	%	ISO 1798	19 ± 3
BASINÇ ALTINDA GERİLME (CV%40) (Determination of Stress)(CV%40)	kPa	TS 4594 EN ISO 3386	14,0 ± 4,0
BASINÇ ALTINDA EZİLME (BAE%50;22h;70°C) (Determination of Comp. Set)(BAE %50;22h;70°C)	%	TS EN ISO 1856	< 20,0
YANMAZLIK SINIFI (Fire Behaviour)	mm/min	DIN 4102-1 UL94	B1 V 0 – HF-1 (REF: BASF Document No: TI G-KT/SM OCTOBER 2011)
TERMAL İLETKENLİĞİ – 10°C (Thermal Conductivity – 10°C)	W/mK	DIN EN 12667	≤ 0,035 (REF: BASF Document No: TI G-KT/SM OCTOBER 2011)

Şekil 4 – Melanin süngerin özelliklerini belirten resimdir.

1.2 El Hesaplamalarında Kullanılan Yöntem

El hesaplamalarında borularda akış problemlerinde kullanılan hesaplamalar kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan denklemler aşağıda belirtilecektir. Şekil 5'te el hesaplamalarında kullanılan mantığı belirten tankın temsili resimdir. Burada r_1 ile belirtilen iç kısım; boru içini, r_2 ile belirtilen orta kısım; tank çeperini, r_3 ile belirtilen dış kısım; yalıtım malzemesini belirtmektedir. T_1 ; boru içi akış sıcaklığını, T_∞ ; ise kombi içerisinde bulunan havanın sıcaklığını belirtmektedir. T_1 sıcaklığı 80°C iken; T_∞ sıcaklığı 20°C 'dir.



Şekil 5 – El hesaplamalarında kullanılan, tankın temsili gösterimidir.

TABLO I
ISI TRANSFERİ DENKELMERİNDE KULLANILAN BİRİMLER

Sm.	Nitelik	Birim
R	Direnç	$^\circ\text{C}/\text{W}$
A	Alan	m^2
\dot{Q}	Isı transferi akısı	Watt
l	Uzunluk	m
r	Yarı çap	m
h	Konvektif ısı transfer katsayısı	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
k	Isı transfer katsayısı	W/mK
T	Sıcaklık	$^\circ\text{C}$

$$A_2 = 2\pi r_2 l \quad (1)$$

$$A_3 = 2\pi r_2 l \quad (2)$$

Alan hesaplamaları yukarıdaki denklemlerden (1 ve 2) elde edilecektir. Ancak alanın bilinmesi hesaplama yapmak için yeterli olmayacaktır. Denklemlerde yalıtım çapı bulunmak istediğinden dolayı, belirli bir ısı transferi akısı üzerinden bir toplam direnç değeri elde edilmesi gerekmektedir. Isı transferi akısı üzerinden toplam direnç bulma; aşağıda yer alan denklem (3) ile elde edilecektir.

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{Top}} \quad (3)$$

$$R_{Top} = R_{yal_k} + R_{boru_k} + R_{yalıtım} + R_{boru} \quad (4)$$

Direnç hesaplamasında boru ve üzerindeki yalıtım elemanlarının hem konveksiyon ile çevreye verdiği ısı miktarı hem de borudan doğrudan taşınım ile çevreye yaydığı ısı miktarlarının toplanması gerekmektedir. Bu işlemler yukarıdaki denklemde (4) belirtilmiştir.

$$R_{boru} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 l} \quad (5)$$

$$R_{yalıtım} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 l} \quad (6)$$

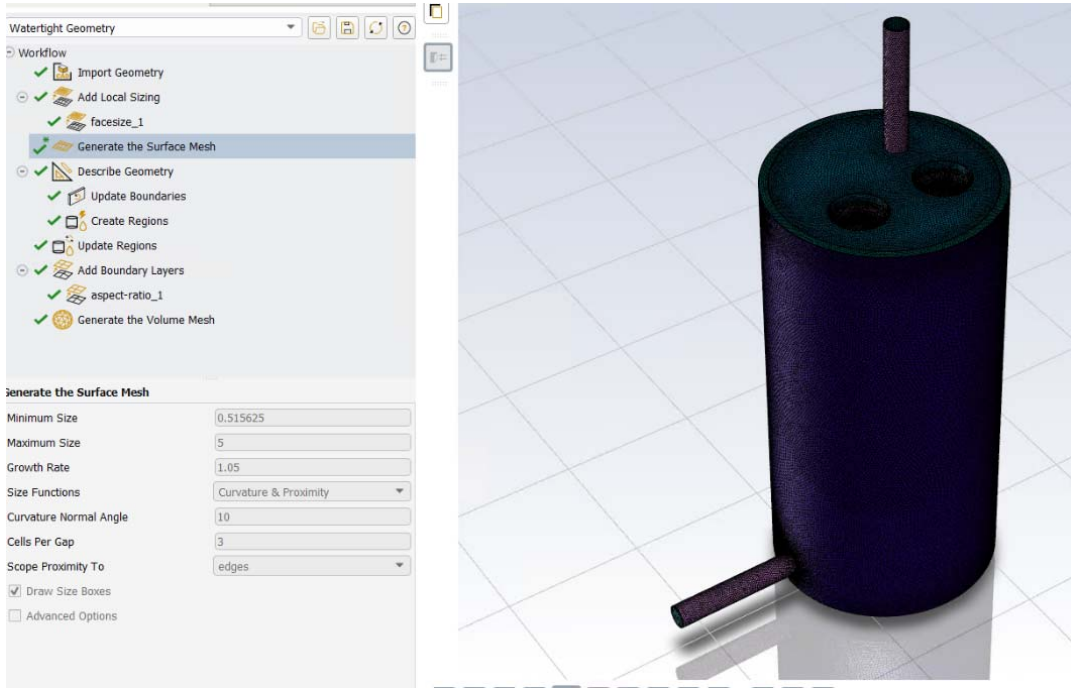
$$R_{yal_k} = \frac{1}{h_{yal} A_{yal}} \quad (7)$$

$$R_{boru_k} = \frac{1}{h_{boru} A_{boru}} \quad (8)$$

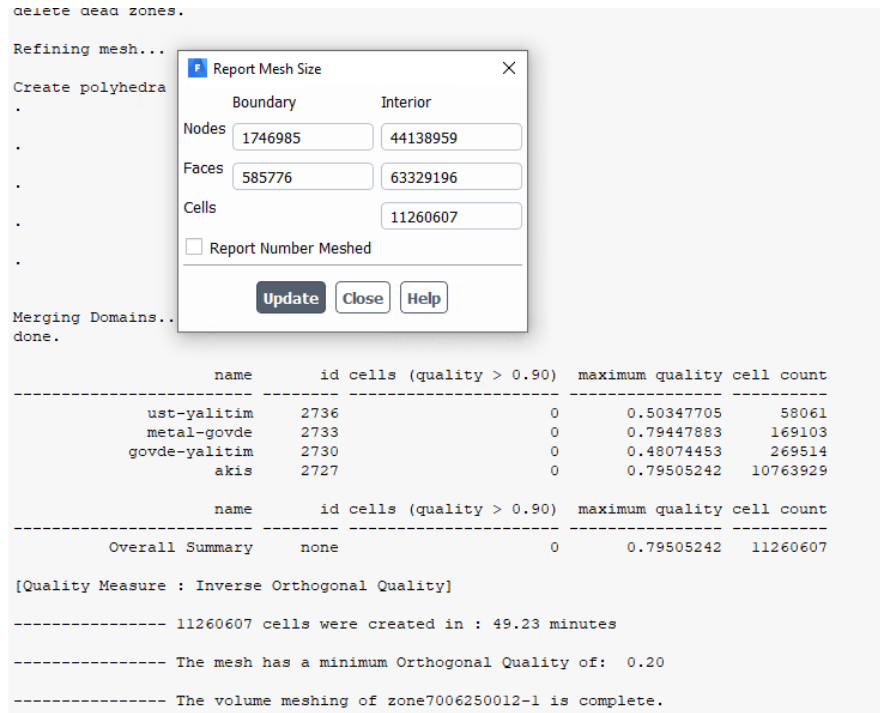
Boru ve yalıtımın dirençleri yukarıda belirtilen denklemlerden (5-8) hesaplanacaktır. Yukarıdaki hesaplamalar r3 bulunduktan sonra gerçekleştirilecektir.

1.3 Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği Analizlerinde Kullanılan Yöntem

Hesaplmalı akışkanlar dinamiği analizlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ağ yapısı (mesh) olduğundan dolayı, bu kısımda ağ yapısı ile ilgili detaylar gösterilecektir.



Şekil 6 – Mesh yapısının genel görünümüdür.



Şekil 7 – Analizde kullanılan toplam eleman sayısını ifade etmektedir.

Hesapları yapılacak olan kombinin ısıtıcıları toplam 24 kW ısıtma gücüne sahiptir. Ayrıca sisteme giren soğuk suyun 1 m³/h debide ve 20 °C de sisteme girdiği kabulü yapılmıştır.

Yukarıdaki verilerin ışığında hem el ile hesap yapılabileceği hem de hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile analiz yapılabileceği görülmektedir. Bir sonraki bölümde yapılan hesap ve analiz ile alakalı sonuçlar tartışılacaktır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

El Hesaplamalarında Elde Edilen Sonuçlar

El hesaplamalarında hesaplanabilen ilk büyüklükler borunun ve yalıtımın yüzey alanlarıdır. Bu hesaplamalar ilgili denklemlerden (1) hesaplanarak bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda A1 0,197 m² olarak bulunmuştur. A2 alanının hesap edilebilmesi için r₃ çapının bilinmesi gerekmektedir. Bunu yapabilmek için ısı transfer akısının 100 W olduğu durumda toplan direncin hesaplanması gerekmektedir.

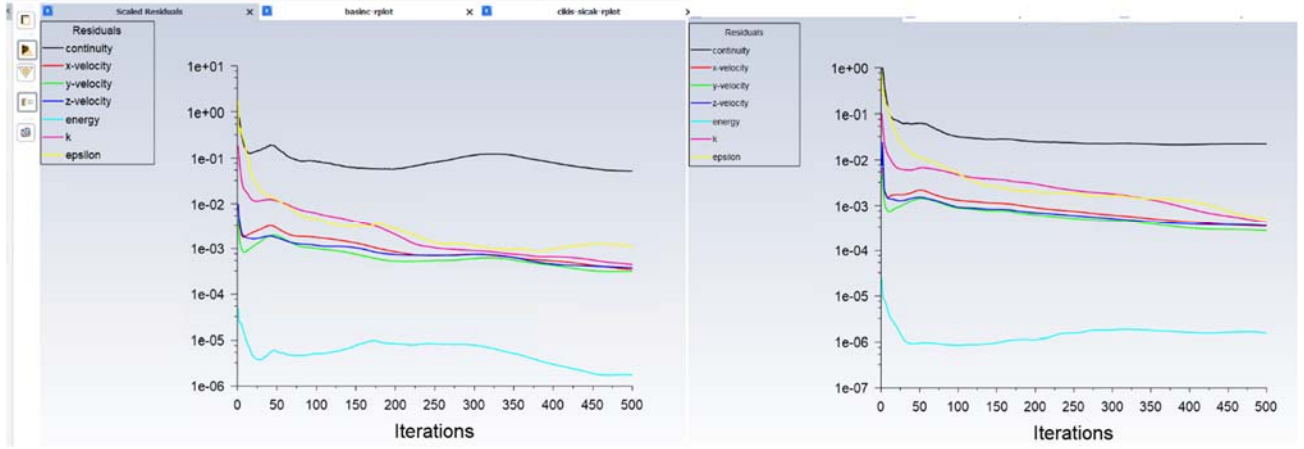
R_{Top} değeri denklemden (3) hesaplanarak; 0,55 °C/W olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer 4 numaralı denklemde belirtilen değer olacaktır. Denklemde (4) bulunabilecek değerler diğer denklemlerden (5-8) hesaplanmıştır. Bunun sonucunda r₃ hesaplanabileceği denklem (9) aşağıda belirtildiği gibi oluşturulmuştur.

$$0,4646 = \frac{\ln (r_3/0,08)}{2\pi*(0,03)*(0,392)} + \frac{1}{2\pi*(r_3)*(0,392)*20} \quad (9)$$

Denklem (9) üzerinde ilgili hesaplar gerçekleştirilerek r₃ değeri; 0,088 metre olarak hesaplanmıştır. Ancak bulunan bu değerde yalıtım malzemesi üretmek pek olanaklı değildir. Bu sebeple analiz programında 8 ve 9 milimetre kalınlığında yalıtım malzemesi ile hesaplar yapılarak hangi yalıtım malzemesinin seçilmesi gerektiği simüle edilmiştir.

Analiz Programından Elde Edilen Sonuçlar

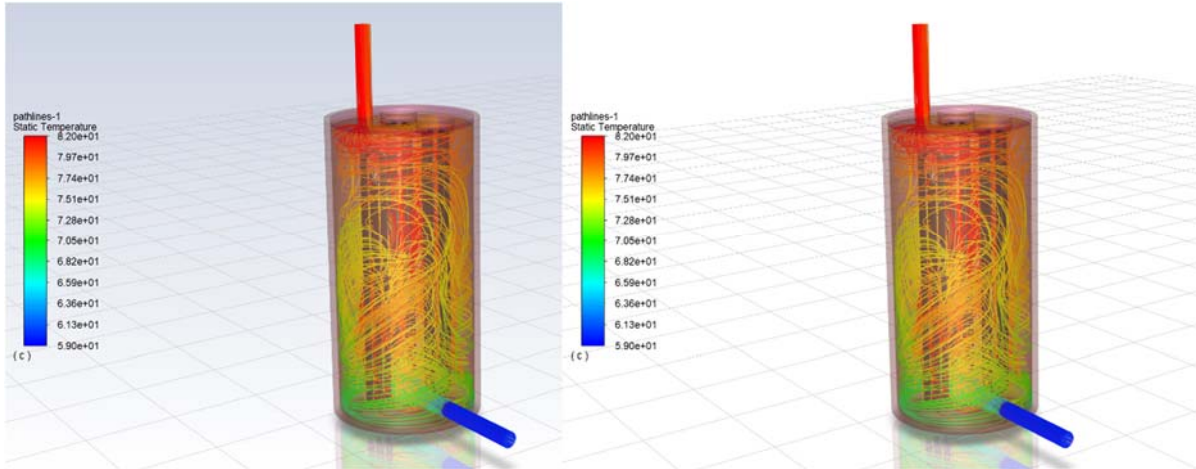
Bir önceki bölümde açıklandığı üzere elde edilen veriler ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapılması mümkündür. Bu bağlamda gerekli analiz simülasyonları hem 8 hem 9 mm'lik yalıtım kalınlıkları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz çalışmasında atılan mesh yapısının sistemin çözümü için uygun olduğu iterasyon grafiğinde her iki durum içinde makul seviyede bir grafik olduğu Şekil 8'den görülebilmektedir.



Şekil 8 – 8 ve 9 milimetre yalıtım kalınlıkları için yapılan analizlerin iterasyon grafiği karşılaştırması

Şekil 8 de görülen grafiklerden soldaki grafik 8 milimetre yalıtım kalınlığına sahip durum için, sağdaki yer alan grafik ise 9 milimetre yalıtım kalınlığına sahip durumu ifade etmektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere ilgili değerler makul değerlere yakınsamıştır. Bu sebeple analizlerin sağlıklı olduğu görülmektedir.

Analiz sonucunda tank içerisindeki sıcaklık değişimleri Şekil 9’ da belirtildiği gibi oluşmuştur. Solda yer alan şekil 8 milimetre kalınlıktaki yalıtım için iken sağdaki şekil 9 milimetre kalınlıktaki yalıtımı ifade etmektedir. Görüldüğü üzere sıcaklık arasında neredeyse hiçbir fark yoktur.



Şekil 9 – 8 ve 9 milimetrelik yalıtım kalınlıkları için tank içi sıvı sıcaklık değişimlerini gösteren şekildir.

Yapılan analizlerde; yalıtımdan kaçan toplam ısı güç miktarı da simüle edilmiştir. Yapılan bu simülasyon Resim 10'da belirtilmiştir. Solda yer alan resim 8 milimetre yalıtım için, sağda yer alan resim ise 9 milimetre yalıtım kalınlığını belirtmektedir. 8 milimetre kalınlık için kaçak güç miktarı yaklaşık 68 Watt kadar iken, 9 milimetrelik kalınlık için kaçak güç miktarı yaklaşık 63 Watt kadardır.

Total Heat Transfer Rate	(w)	Total Heat Transfer Rate	(w)
ısıtıcı	23999.844	ısıtıcı	24044.668
Net	23999.844	Net	24044.668
Total Heat Transfer Rate	(w)	Total Heat Transfer Rate	(w)
üst-yalıtım:1	-7.6012018	üst-yalıtım:1	-6.8682909
yalıtım-kacak	-60.280274	yalıtım-kacak	-56.117455
Net	-67.881476	Net	-62.985745

Şekil 10 – 8 ve 9 milimetre yalıtım kalınlıkları için bahsedilen yalıtım kalınlıklarından kaçan toplam güç miktarını gösteren resimdir.

Analiz çalışmalarında; 8 milimetre ile 9 milimetre yalıtım kalınlıkları arasındaki farklar göz önüne alındığında üründe kullanılacak olan yalıtımın 8 milimetre olmasına karar verilmiştir.

TARTIŞMA

Gerek analiz çalışmalarında gerekse el ile yapılan hesaplamalarda; yalıtım kalınlığının 8 ile 9 milimetre arasında olması gerektiği görülmüştür. Özellikle yapılan analiz çalışmalarında karşılaşılan kaçak ısı güç değerinin oldukça düşük olması sebebiyle her iki yalıtım kalınlığının da kullanılabilir olduğu görülmektedir. Ancak 8 milimetre kalınlıktaki yalıtımın 9 milimetre kalınlıktaki yalıtıma göre daha ucuz olduğu göz önüne alındığında; son üründe 8 milimetre kalınlıktaki yalıtım malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Sonraki çalışmalarda tank içerisinde kullanılan daldırma tipi ısıtıcıların birbirlerine göre konumları ve ısı güçleri hakkında bir çalışma yapılması planlanmaktadır. Isıtıcılar da optimize edildiğinde ürünün optimize edilmesi söz konusu olacaktır.

REFERANSLAR

[1] - Fialko, N. M., Presich, G. A., Gnedash, G. A., Shevchuk, S. I., & Dashkovska, I. L. (2018). INCREASE THE EFFICIENCY OF COMPLEX HEAT-RECOVERY SYSTEMS FOR HEATING AND HUMIDIFYING OF BLOWN AIR OF GAS-FIRED BOILERS. Thermophysics and Thermal Power Engineering, 40(3), 38-45. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.06>

- [2] - Miodrag Kovacevic, Miroslav Lambic, Ljiljana Radovanovic, Jasmina Pekez, Dragoljub Ilic, Nikola Nikolic & Istvan Kucora (2017) Increasing the efficiency by retrofitting gas boilers into a condensing heat exchanger, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12:5, 470-479, DOI: 10.1080/15567249.2016.1188182
- [3] - B.P. Breen, Combustion in large boilers: Design and operating effects on efficiency and emissions, *Symposium (International) on Combustion*, Volume 16, Issue 1, 1977, Pages 19-35, ISSN 0082-0784, [https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(77\)80311-1](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(77)80311-1).
- [4] - MacFarling Meure, C., Etheridge, D., Trudinger, C., Steele, P., Langenfelds, R., van Ommen, T., Smith, A., and Elkins, J. (2006), Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L14810, doi:10.1029/2006GL026152.
- [5] - Paul E. Dodds, Stéphanie Demoullin, Conversion of the UK gas system to transport hydrogen, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 38, Issue 18, 2013, Pages 7189-7200, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.070>.
- [6] – Sunita Sharma, Sib Krishna Ghoshal, Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 43, 2015, Pages 1151-1158, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.093>.
- [7] - Krishna Reddi, Amgad Elgowainy, Neha Rustagi, Erika Gupta, Techno-economic analysis of conventional and advanced high-pressure tube trailer configurations for compressed hydrogen gas transportation and refueling, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 43, Issue 9, 2018, Pages 4428-4438, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.049>.
- [8] – Cheng Ling, Qi Ge, Jin Lu, Zhong Ming and Song Deyu, "Research on control strategy of electric heat storage boiler based on multi-agent," 2016 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), 2016, pp. 508-512, doi: 10.1109/ICPRE.2016.7871128.
- [9] – Durkin, T.H.. (2006). Boiler system efficiency. 48. 51-57.

Impact of Supplier Selection Criteria on Final Product Quality: A Structural Equation Modeling Analysis

Şule Akin Karagöz¹, Meryem Uluskan^{*1}

^{*}muluskan@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1287-8286

¹Department of Industrial Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, TURKEY

Abstract The purpose of this study is to reveal the direct and indirect effects of supplier selection criteria on final product quality. In order to establish a model investigating the impact of supplier characteristics on the final product quality, a survey containing 52 expressions was applied to 219 participant companies that operate in various industries. Exploratory factor analysis was conducted and 6 underlying factors regarding supplier selection were obtained. In order to determine the effects of the obtained factors on the final product quality, a structural equation model has been proposed based on the literature. As a result of the structural equation modeling analysis, it was determined that the model proposed in the study is a suitable model according to the fit indices. Results revealed the fact, quality of supplier and delivery criteria, which are among the supplier selection criteria, have direct impact on the final product quality, while the pricing policy and the supplier's cooperation and responsibility have indirect impacts. In addition, significant supplier criteria that impact the final product quality, as well as, the significant relations between the supplier criteria are established. With this study, a framework is presented about the main criteria that buyer companies should focus on in their supplier selection. This study contributes to the literature by presenting scientific evidence and by establishing a model for significant supplier-related determinants of the final product quality. Finally, this study is unique in combining supplier selection, final product quality and structural equation modeling analysis, which have been discussed separately in the literature, and provides scientific contribution to the engineering discipline.

Keywords: Supply Chain, Supplier Selection Criteria, Structural Equation Modeling, Factor Analysis, Final Product Quality

I. INTRODUCTION

FIRMS must always have competitive power in order to survive in their sectors. Competitive power is developed by improving the criteria such as price, quality, customer satisfaction and company image. Quality has become the most important factor in today's conditions. Keeping the quality under control from the beginning and at a certain level saves cost and time. Supplier selection, one of the most fundamental steps in the supply chain, comes to the fore at this point.

In order to choose the right supplier and determine the performance of the suppliers, many criteria have been determined in the literature. The main criteria among these are price, quality, delivery, logistics, after-sales services and production quality. While these criteria are evaluated for candidate suppliers, they also provide a certain framework for monitoring the performance of suppliers. Although the advantages of supplier selection and performance to the company have

been covered many times in the literature, there is no distinct research on its direct or indirect effects on the final product quality.

Although these effects seem straightforward and obvious, this study will contribute to the literature by presenting scientific evidence and by establishing the significant supplier-related determinants of the final product quality. In addition, the structural equation model (SEM) analysis, which has been used extensively in the field of education, psychology and sociology, will be used in the field of engineering.

II. LITERATURE RESEARCH

A. Supplier Concept and Importance of Supplier Selection

Product procurement or supply means that the necessary raw material, semi-finished or finished product can be obtained from another company in the desired quantity and characteristics at the desired time so that the companies can make their final products ready [1]. The supplied product must meet the minimum standards that will help the company achieve the quality it should offer to its customer. At this point, supplier selection becomes important. The quality of the final product is impacted from the very beginning of the supply chain. The end consumer desires to have a level of satisfaction worth the cost [2]. Companies and their suppliers are perceived in the eyes of customers as a whole in the creation of the final product, not as separate parts. In case of a problem due to the supplier, the customer will hold the main company responsible, not the supplier [3]. Supplier selection is one of the issues to be considered in order to create competitive power. Therefore, quantitative analysis is required to select the most suitable suppliers [4].

Early studies on supplier selection were carried out by Dickson in 1966 according to [5]. After Dickson's work, many studies have been carried out on supplier selection and criteria. As an example, [6] used Analytical Network Process (ANP) and Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE) methodologies, which are among the multi-criteria decision-making methods, for the supplier selection problem of a refinery firm in Africa. Similarly, [7] discussed supplier selection in the automotive industry, where, [8] conducted a case study on selecting the best supplier for a distribution company. Also, [9] focused on agricultural product suppliers in their study. In the study, they analyzed supplier selection as a mathematical algorithm using Pythagoras fuzzy sets. Considering the recent related research, it is seen that supplier selection remains among the most important issues that are still discussed and examined today. Although there exists a great deal of research on supplier selection methods and criteria, there is no distinct quantitative research investigating the impact of supplier characteristics on the final product quality through a structural model. This study aims to fill this research gap.

III. METHOD

A. Survey Application

In this study, a survey form with a total of 52 questions on seven-point Likert scale was prepared. 43 of these questions were about directly selecting and evaluating the supplier company with which the buyer company, i.e. the participant company, work most frequently. The remaining nine questions were about the opinions of companies regarding their products and the feedback of their customers. The survey forms were sent to companies that operate in various industries and a total of 219 answer forms were collected. 39 of these forms were eliminated due to missing information. The analyzes were conducted with the data in the remaining 180 forms.

Initially factor analysis was conducted to determine the main supplier characteristics out of 43 criteria. Then the relations among as well as the impact of these characteristics on the final product quality are investigated through SEM analysis.

B. Factor Analysis

Factor analysis is a method used to determine and verify the underlying factors through measured variables. It allows for determination of the variables to be gathered under a common factor by examining the correlations or covariances between these measured variables [10]. There are certain assumptions that should be met prior to factor analysis. As in every analysis, sample size should be sufficient in order to get reliable results in factor analysis. In factor analysis, variables and all linear combinations of variables should follow normal distribution and the relationships between variables should be linear [11].

The steps in factor analysis are as follows [12].

- The adequacy of the sample size should be tested.
- The method to reveal the number of factors should be determined.
- For easier interpretation of factor analysis results, rotation method should be determined.
- The variables that need to be taken out of the analysis according to the values of the factor loadings are eliminated and the variables are collected under a smaller number of factors based on the factor loads of the remaining variables.
- Factors are named and the results are subject to necessary interpretations.

C. Structural Equation Modeling Analysis

Structural equation modeling (SEM) is a statistical analysis used in the testing and verification of a model that includes cause-effect relationships with a theoretical basis [13]. The development of regression analysis and confirmatory factor analysis has laid the foundations of SEM [14].

SEM is used to determine how much the theoretical model created by the researcher is supported by the sample data obtained [15]. SEM defines and tests the relationship between internal and external latent variables through observed variables [16]. SEM is a method based on a certain theory and has emerged as a result of the need to verify theories.

Analyzing the mathematical analyses for SEM through computer software makes the use of SEM easier. LISREL and AMOS are the best known of these programs. In the literature, it is stated that there are similarities as well as differences between the programs used for SEM, each program has its strengths and weaknesses compared to the other, and there are also studies on

this subject. Reference [17] concluded that fit indices calculated in AMOS, EQS, LISREL, OpenMx, RAMONA and SEPATH programs are substantially equivalent.

Structural equation modeling is a highly used analysis due to its practicality and superior gains. Since its establishment, many papers have been published on SEM applications. These studies include various context including ecological research, research on factors affecting phone addiction and students' attitudes towards mathematics [18], [19], [20]. Although SEM is mainly used in areas such as socio-economy, psychology, health, information technologies, banking, energy efficiency, the content and theory of SEM can actually be used for all studies that are thought to have latent variables.

IV. RESULTS

A. Respondents Background

The majority of the respondent companies operate in food industry (almost 16%) followed by electric and electronics (%10), telecommunications (%9,4) and metal industries (almost 9%) as seen in Fig. 1. The least number of participants were from the insurance and tourism industries. In addition, the average number of suppliers of each participant company is provided in Fig. 2. The majority of participants (almost 37%) stated that they have up to 50 suppliers. This is followed by an average number of over 1000 suppliers (almost 25%) and 100-300 suppliers (18%).

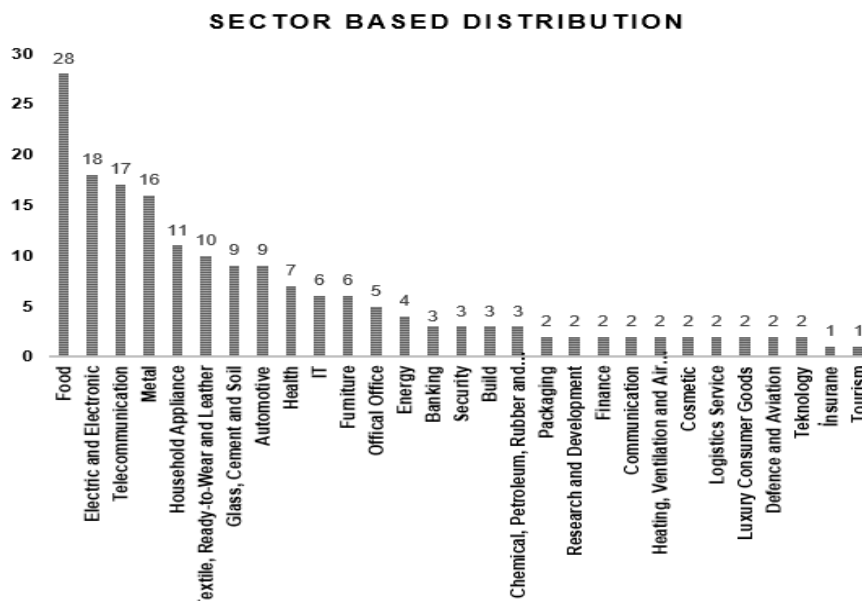


Fig. 1. Sector distribution of the survey participants

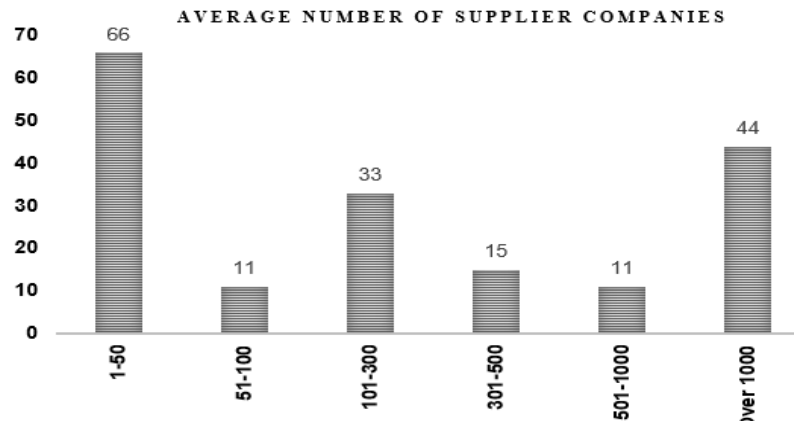


Fig. 2. Average number of suppliers of the survey participants

B. Factor Analysis

Exploratory factor analysis was applied to the data collected through face-to-face survey application. While 48 of the variables used in the survey constitute the supplier characteristics, 4 of them constitute the final product quality. Factor analyses were applied separately for both supplier characteristics and final product quality variables. Initially KMO and Bartlett test values are examined, to determine whether the sample is sufficient for analysis. The KMO value was 0.91 for the study, where closer values of KMO to 1 represents "perfection" for the data set.

Similarly, the chi-square value for Bartlett test was significant ($\chi^2_{(1326)} = 7414.374$; $p < 0.01$). Therefore, it is concluded that our sample was suitable for factor analysis according to KMO and Bartlett test results.

i. Factor Analysis for Supplier Characteristics, i.e. Supplier Selection, Variables

The varimax method, which is recommended by Kaiser, was used in this study. In the first iteration of the factor analysis, it was seen, with the help of a scree plot, that 9 factors could be created by taking eigenvalue into consideration, and the analysis was started with 9 factors. Since we had a sample size of 180 in our analysis, the cut-off values of the factors were determined according to the following rules:

- Due to the sample size, if a factor load above 0.50 cannot be obtained for a variable, the variable is removed from the analysis [21].
- There should be 0.10 difference between the highest two factor loadings of a particular variable [22].

According to these rules, in the factor analysis that was iterated 6 times, 17 variables in the first iteration, 3 variables in the second iteration, 1 variable in the third iteration, 2 variables in the fourth iteration, 1 variable in the fifth iteration were excluded from the analysis. The analyses were repeated with the remaining variables until no variable was required to be removed.

In the sixth iteration of the factor analysis, it was seen, with the help of a scree plot 6 factors could be created by the taking eigenvalue into consideration. Factor loadings, explanations of the variables and factor names are shown in Table I. It is seen that the factor loadings of the

variables are mostly in *perfect* (0.71 and above) degrees [23].

TABLE I
FACTOR LOADINGS AND EXPLANATIONS OF SUPPLIER SELECTION VARIABLES AND THEIR RELATED
FACTOR NAMES

Variable	Expression in Survey Form	Factor Loading	Factor Name
V3	The supplier is ready to make necessary investments to achieve and maintain high quality.	0.850	<i>Supplier's Participation and Responsibility to Cooperation</i>
V4	The supplier adapts to changing technology.	0.806	
V5	The supplier quickly finds an effective solution to your company's complaints.	0.817	
V6	The supplier takes responsibility for its products.	0.588	
V7	The supplier cooperates with your company for product improvement.	0.700	
V20	The supplier conducts periodic machine maintenance.	0.523	
V11	The supplier offers reasonable prices compared to competing suppliers.	-0.669	<i>Pricing Policy</i>
V12	The supplier provides maturity and payment convenience.	-0.786	
V13	The supplier has a suitable price policy for long-term business relationships.	-0.836	
V14	The supplier offers various discounts depending on ordering quantities.	-0.789	
V15	The supplier provides convenience in terms of delivery costs.	-0.576	
V24	The supplier provides flexibility in the delivery method (airline, highway, railway etc.) to be used.	0.750	<i>Logistics</i>
V25	The supplier conforms the packaging requirements of your company.	0.787	
V26	The supplier provides suitable transportation conditions for the relevant products.	0.712	
V27	The supplier's delivery speed is high.	-0.800	<i>Delivery</i>
V28	The supplier delivers within the specified time.	-0.761	
V34	The supplier offers warranty service for its products.	-0.688	<i>Quality of Supplier</i>
V35	The supplier receives confirmation from the customer after sales and keeps the necessary documents.	-0.601	
V37	The supplier company has incoming and final control applications.	-0.690	
V38	The supplier's reliance on the quality standards reduces the inspection cost of the delivered products.	-0.625	
V41	The supplier company implements an effective quality management system (such as lean, six sigma).	-0.612	
V43	The supplier company manufactures defect-free products.	-0.738	<i>Quality of Supplied Part</i>
V48	The common problem of the products returned by the end-customer is due the parts supplied.	-0.809	
V51	Parts which are supplied from domestic suppliers have higher quality than those of supplied from international suppliers.	-0.810	

TOTAL VARIANCE: % 71

ii. *Factor Analysis for Final Product Quality Variables*

When the scree plot for *Final Product Quality Variables* was examined, one factor was attained. Accordingly, all four variables were analyzed under a single factor. Analysis results, variable explanations and factor names are shown in Table II.

TABLE II
FACTOR LOADINGS AND EXPLANATIONS OF *FINAL PRODUCT QUALITY* VARIABLES AND THEIR RELATED FACTOR NAMES

Variable	Expression in Survey Form	Factor Loading	Factor Name
V44	The end-customer is satisfied with the final product.	0.847	<i>Final Product Quality</i>
V45	Based on end-customer feedback, the final product meets quality standards.	0.830	
V46	The number of products returned from the end-customer is at an acceptable level.	0.847	
V47	The end-customer finds the price of the final product affordable in the market.	0.626	

TOTAL VARIANCE: % 62.9

As a result of the factor analysis, *six* factors regarding *Supplier Characteristics* and *one* factor regarding *Final Product Quality* were obtained. Structural equation model analysis was performed by establishing an appropriate theoretical model with these seven factors.

C. Structural Equality Model Incorporating Supplier Characteristics and Final Product Quality

i. Hypotheses Development and Analysis Results

It is important that the supplier fulfills its responsibilities towards the buyer company fully and in a timely manner. In order to create relationships that will benefit both parties, supplier and buyer companies should support each other and cooperate accordingly, reducing conflicts [24].

By fulfilling their responsibilities, operating and improving themselves simultaneously with the buyer company, suppliers will be prepared for any quality threat and thus keep their performance at the highest level. When choosing a supplier, the buyer company should consider that the supplier should be ready to cooperate and take responsibility. Based on these, following hypotheses were proposed:

H₁: There is a positive relationship between *supplier's participation and responsibility to cooperation* and *quality of supplier*.

H₂: There is a positive relationship between *supplier's participation and responsibility to cooperation* and *quality of supplied part*.

According to the customer, the price can be defined as what is sacrificed for the product [25]. The price plays a significant role in the customer's choice during purchasing decision making. Therefore, customers tend to measure the fairness of the price by comparing the price determined for the product with alternatives [26]. On the other hand, because product quality is among the significant determinants of product success [27], customers seek to purchase quality products that are offered at affordable prices and tend to establish long-term business relationships with companies that provide these [28]. Regarding these, following hypotheses can be proposed.

H₃: There is a positive relationship between *pricing policy* and *quality of supplier*.

H₄: There is a positive relationship between *pricing policy* and *quality of supplied part*

For customer satisfaction, emphasis should be placed on the usability, reliability, flexibility and agility of the logistics system [29]. Logistics, the distribution strategy, ensures that the buyer company receives its goods at the right time and at the required quantity [30]. The flexibility of

the pricing policy of the supplier allows for more resources to be allocated to the logistics system, so more flexible decisions can be made regarding transportation. Thus, factors such as delivery speed and on-time delivery that determine the quality of delivery are improved. In addition, minimizing these uncertainties in delivery enables a more efficient production plan [31]. Accordingly, the supplier must also cooperate with the buyer company and take responsibility in order to minimize uncertainties in the delivery. In this way, significant cost reduction can be achieved for the buyer company as the inventory related cost are minimized [31]. Thus, the level of final product quality is increased. Based on these, following hypotheses are proposed:

H₅: There is a positive relationship between *pricing policy* and *logistics*.

H₆: There is a positive relationship between *logistics* and *delivery*.

H₇: There is a positive relationship between *supplier's participation and responsibility to cooperation* and *delivery*.

H₈: There is a positive relationship between *delivery* and *final product quality*.

The purpose of supplier selection is to determine supplier companies that can deliver services and products at an affordable price and at desired quality [32]. Companies want their suppliers to be companies that will not compromise on quality like them, in order to maintain the satisfaction of their customers and the quality of their products [33]. Therefore, we propose the following hypotheses.

H₉: There is a positive relationship between *quality of supplied part* and *quality of supplier*.

H₁₀: There is a positive relationship between *quality of supplier* and *final product quality*.

The proposed SEM model that is created based on the literature is shown in Fig. 3. The p-values obtained as a result of the analysis of the proposed model were examined and the p-value of the **H₄** hypothesis was found to be greater than 0.05. The p-value should be less than the 0.05 significance level in order for the relationship to be considered statistically significant. *According to the analysis result, the H₄ hypothesis could not be supported. Therefore, the H₄ hypothesis was removed from the model and the analysis was repeated.* The p-values of all the remaining hypotheses as a result of repeated analysis are less than 0.05. Therefore, all other hypotheses were supported and the related relationships between the factors in the model were proven to be statistically significant.

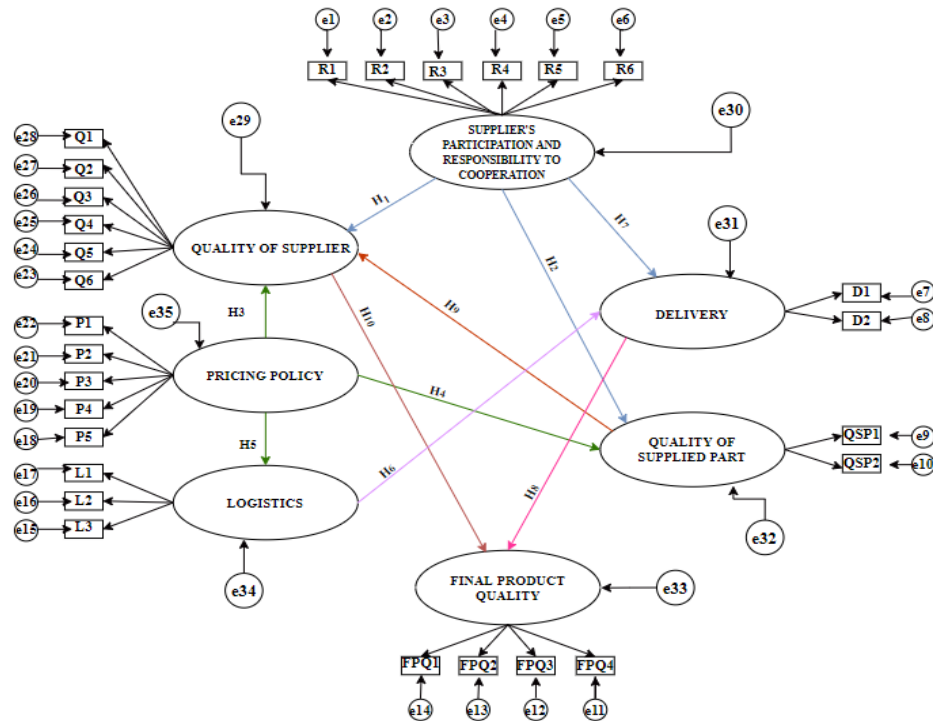


Fig. 3. Proposed model

ii. Modifications

When the modification indices of the model were examined, it was seen that the model needed improvement. Appropriate modifications, which were selected from the Modification Indices table in the Amos output, are shown in Table III.

TABLE III
MODIFICATION REQUIREMENTS

Variable	Path	Variable	Modification Indices	Par Change
e1	↔	e2	27.298	0.307
Pricing Policy	→	Supplier's Participation and Responsibility to Cooperation	47.064	0.566

A new relationship was obtained within the model according to the modification indices. Therefore, a new hypothesis (H_{11}) was added to our model.

H_{11} : There is a positive relationship between *pricing policy* and *supplier's participation and responsibility to cooperation*.

This hypothesis was also supported due to its small p-value (<0.0001) After the necessary relationships for modification were included in the model, the analysis was repeated. The final version of the model and the standardized estimates obtained as a result of the analysis are shown in Fig. 4.

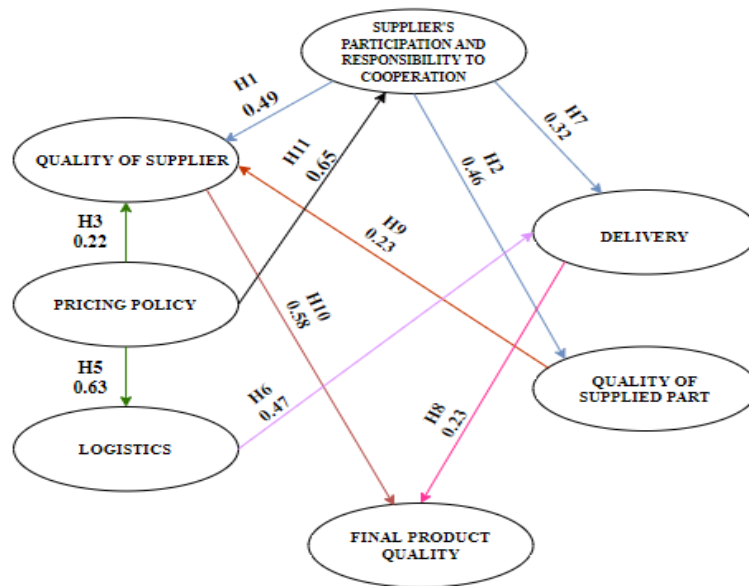


Fig. 4. Final model with standardized estimates

Ultimately, model fit indices were examined for the final model. The fit indices for the model before and after the modifications took place were provided along with their acceptable ranges in Table IV.

TABLE IV
MODEL FIT INDICES

Fit Indices	Acceptable Range	Reference	Model Fit Indices For the Model		
			Before	After	
CMIN / DF	$3 < \chi^2/df \leq 5$		2.67	2.36	<i>Good</i>
GFI	$0.80 \leq GFI < 0.90$	[34]	0.75	0.77	<i>Sometimes Acceptable</i>
CFI	$0.85 \leq CFI \leq 0.90$		0.81	0.85	<i>Acceptable</i>
TLI	$0.80 \leq NNFI < 0.95$		0.73	0.83	<i>Acceptable</i>
RMSEA	$0.05 < RMSEA \leq 0.08$	[35]	0.10	0.08	<i>Acceptable</i>

CMIN/df = Chi-Square/degrees of freedom, GFI = Goodness of Fit Index, CFI = Comparative Fit Index, TLI = Tucker-Lewis Index, RMSEA = Root Mean Square Error Approximation.

Since most of the fit indices are acceptable, values close to the limit are permissible. Considering the general fit indices, it can be said that the final model is a meaningful and appropriate one.

iii. Standardized Effects

The standardized direct, indirect and total effects obtained as a result of the structural equation modeling analysis are shown in Table V.

TABLE V
STANDARDIZED EFFECTS

	<i>Effect</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>QSP</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>Q</i>	<i>FPQ</i>
<i>R</i>	<i>Direct</i>	0.65	0	0	0	0	0	0
	<i>Indirect</i>	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Total</i>	0.65	0	0	0	0	0	0
<i>QSP</i>	<i>Direct</i>	0	0.46	0	0	0	0	0
	<i>Indirect</i>	0.30	0	0	0	0	0	0
	<i>Total</i>	0.30	0.46	0	0	0	0	0
<i>L</i>	<i>Direct</i>	0.63	0	0	0	0	0	0
	<i>Indirect</i>	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Total</i>	0.63	0	0	0	0	0	0
<i>D</i>	<i>Direct</i>	0	0.32	0	0.47	0	0	0
	<i>Indirect</i>	0.51	0	0	0	0	0	0
	<i>Total</i>	0.51	0.32	0	0.47	0	0	0
<i>Q</i>	<i>Direct</i>	0.22	0.49	0.23	0	0	0	0
	<i>Indirect</i>	0.39	0.11	0	0	0	0	0
	<i>Total</i>	0.61	0.60	0.23	0	0	0	0
<i>FPQ</i>	<i>Direct</i>	0	0	0	0	0.23	0.58	0
	<i>Indirect</i>	0.47	0.42	0.13	0.11	0	0	0
	<i>Total</i>	0.47	0.42	0.13	0.11	0.23	0.58	0

P = Pricing Policy, R = Supplier's Participation and Responsibility to Cooperation, QSP = Quality of Supplied Part, L = Logistic, D = Delivery, Q = Quality of Supplier, FPQ = Final Product Quality.

V. FINDINGS

Six *Supplier Characteristics* factors obtained as a result of the factor analysis play an active role in supplier selection. Using these factors, the proposed structural equation model was determined as a suitable model according to fit indices. It is possible to make the following inferences according to the standardized effects (shown in Table V).

▪ Pricing Policy

Pricing policy has a positive direct impact on *supplier's participation and responsibility to cooperation* (H_{11}) and *logistics* criterion (H_5). In addition, *pricing policy* has both direct (H_3) and indirect impacts on *quality of supplier*. The indirect impact is mediated by the *supplier's participation and responsibility to cooperation* criterion. On the other hand, it has a positive indirect impact on the *quality of supplied part*. This indirect impact is mediated by the *supplier's participation and responsibility to cooperation* criterion. Similarly, *pricing policy* has a positive indirect impact on the *delivery* criterion through the *supplier's participation and responsibility to cooperation* criterion. It also has a positive indirect impact on the *delivery* criterion through the *logistics* criterion. Finally, *pricing policy* has a positive indirect impact on the *final product quality* through the *quality of supplier* criterion.

▪ Supplier's Participation and Responsibility to Cooperation

Supplier's participation and responsibility to cooperation has a positive direct impact on the *quality of supplied part* (H_2) and the *delivery* (H_7). It also positively affects *quality of supplier*, both directly (H_1) and indirectly. This indirect effect is mediated by the *quality of supplied part*. In addition, *supplier's participation and responsibility to cooperation* has a positive indirect

impact on the *final product quality* through *quality of supplier* and *delivery* criteria.

- *Quality of Supplied Part*

Quality of supplied part has a positive direct impact on the *quality of supplier* criterion (H_9). On the other hand, it has a positive indirect impact on *final product quality* through *quality of supplier*.

- *Logistics*

Logistics criterion has a positive direct impact on *delivery* (H_6). Also, it has a positive indirect impact on *final product quality* through *delivery* criterion.

- *Delivery*

Delivery criterion has a positive direct impact on *final product quality* (H_8).

- *Quality of Supplier*

Quality of supplier has a positive direct impact on *final product quality* (H_{10}).

The effects of supplier selection criteria, i.e. supplier characteristics, on final product quality are summarized in Table VI.

TABLE VI
TOTAL IMPACTS ON FINAL PRODUCT QUALITY

	Q	P	R	D	QSP	L
Final Product Quality	0.58 <i>Direct Impact</i>	0.47 <i>Indirect Impact</i>	0.42 <i>Indirect Impact</i>	0.23 <i>Direct Impact</i>	0.13 <i>Indirect Impact</i>	0.11 <i>Indirect Impact</i>

P = Pricing Policy, R = Supplier's Participation and Responsibility to Cooperation, QSP = Quality of Supplied Part, L = Logistic, D = Delivery, Q = Quality of Supplier.

Quality of supplier and *delivery* criteria have a direct impact on the *final product quality*. Although *pricing policy* and *supplier's participation and responsibility to cooperation* criteria have an indirect impact on the *final product quality*, this effect is stronger than that the *delivery* criterion which has a direct impact. The *logistics* and *quality of supplied part* criteria both of which indirectly affect the *final product quality*, have the least impact.

VI. CONCLUSIONS

This study was conducted to investigate whether supplier selection criteria have an impact on the final product quality of the buyer company. As a result of the survey study conducted companies operating within various industries, data were obtained and explanatory factor analysis was applied to these data. In order to determine the relationships between six supplier selection, i.e. supplier characteristics, factors and one final product quality factor obtained through factor analysis, a structural equation model, based on the literature, was proposed. When this structural equation model was analyzed it was seen that the six factors obtained have significant impact on the final product quality.

The two factors that directly affect the *final product quality* are *quality of supplier* and *delivery*. The impact of quality of supplier on the final product quality is much stronger than delivery criterion. However, due to its direct impact, the delivery is among the most critical criteria to be considered in supplier selection. *Quality of supplier*, *pricing policy* and *supplier's participation and responsibility to cooperation* are the most important criteria that affect the final product quality. Even if the individual impacts of supplier selection criteria on final product

quality are small, it should not be ignored that all these impacts affect another criterion with indirect or direct effects and this situation has a chain effect on the final product quality.

Quality, the most important criterion of customer satisfaction, begins with the quality of the smallest components of the relevant product and service. These smallest components create a chain reaction and creates the perception of the end customer about the companies. As the supplier of these smallest components this chain reaction is initiated with the pricing offered by the candidate supplier to the buyer company. The convenience and flexibility offered to the buyer company regarding pricing policy gives an idea of the supplier's tendency to cooperate with the buyer company. Once the business relationship is established, the supplier must meet certain conditions for the quality of the part supplied. Fulfilling these requirements increases the quality of the supplier. The transportation and delivery of the supplied part must be realized under appropriate conditions that assure the required quality. With the completion of the proper delivery, a large step towards the final product quality is taken.

Therefore, the high quality of the supplier contributes to the quality increase of the buyer company. Accordingly, continuous improvement of supplier quality is important for the buyer company. Since mutual improvements should be made, the supplier and the buyer company should be in cooperation. The buyer company, which can use its resources effectively due to the flexibility in the pricing policy, can support the quality improvements of its supplier. Establishing a solid cooperation with the supplier company will enhance the quality of the final product and thus will increase customer satisfaction. Therefore, continuous improvement of the quality level of the supplier company will increase company image of the buyer company. This prestige increase will create competitive advantage as long-term customer relationships will be established. The companies, whose market share will expand as a result of this competitive advantage, will grow rapidly in their industries and move to the "leader company" position, which is the goal of each company. Therefore, choosing the right supplier is very important for the continuity of a company.

In this study, it has been proven that the criteria determined by a company when choosing its supplier affect the quality of its final products. With this study, a framework is presented about the main criteria that buyer companies should focus on in their supplier selection. This study presented a different perspective to future studies on supplier selection criteria.

The effects of supplier selection criteria, i.e. supplier characteristics, on final product quality, were presented through providing scientific evidence and developing a path model. This study lays the basis for the future studies that can be privatized on industry basis through the structural equation modeling. In addition, it is possible in future studies to obtain more universal results about supplier selection criteria by widening the sample size.

REFERENCES

- [1] M. C. Y. Tam and V.M.R. Tummala, "An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system", *Omega*, Vol. 29(2), pp. 171-182, 2001.
- [2] I. Vida and J. Reardon, "Domestic consumption: rational, affective or normative choice?", *Journal of Consumer Marketing*, Vol. 25(1), pp. 34-44, 2008.
- [3] F. Pakdil, "Kalite kültürünü etkileyen faktörler üzerine bir derleme", *Dokuz Eylül University the Journal of Graduate School of Social Sciences*, Vol. 6 (3), pp. 167-183, 2004.

- [4] K.S. Bhutta and F. Huq, "Supplier selection problem: A comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches", *Supply Chain Management*, Vol. 7(3), pp. 126-135, 2002.
- [5] H. A. Akdeniz and T. Turgutlu, "Türkiye'de perakende sektöründe analitik hiyerarşik süreç yaklaşımıyla tedarikçi performans değerlendirmesi", *Dokuz Eylül University the Journal of Graduate School of Social Sciences*, Vol 9(1), pp. 1-17, 2007.
- [6] A. Hanane, O. Brahim and F. Bouchra, "An ANP-PROMETHEE model for supplier selection and a case study," *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, pp. 1137-1145, 2015.
- [7] F. Dweiri, S. Kumar, S.A. Khan, and V. Jain, "Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry", *Expert Systems with Applications*, Vol. 62, pp. 273-283, 2016.
- [8] M. Abdel-Basset, G. Manogaran, A. Gamal and F. Smarandache, "A hybrid approach of neutrosophic sets and DEMATEL method for developing supplier selection criteria", *Design Automation for Embedded Systems*, Vol. 22(3), pp. 257-278, 2018.
- [9] L. Dai and S. Bai, "An approach to selection of agricultural product supplier using pythagorean fuzzy sets", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2020, pp. 1-7, 2020.
- [10] J. DeCoster, "Overview of factor analysis". Department of Psychology University of Alabama, 1998.
- [11] Y. Büyüköztürk, "Faktör analizi: Temel kavramlar ve ölçek geliştirmede kullanımı", *Educational Administration- Theory and Practice*, Vol.32(32), pp. 470-483, 2002.
- [12] B. G. Tabachnick and L. S. Fidell, *Using Multivariate Statistics*, 6th ed, Essex: Pearson, 2014, pp. 235-284.
- [13] R. H. Hoyle, *Structural Equation Modeling: Concepts, Issues and Applications*, 1995, Sage.
- [14] Ş. Yetiş, and S. Özden, "Yapısal eşitlik modellemesinin ormancılığın sosyal alanında kullanılma olanakları", *IBANESS Conference Series*, pp 1-17. 2018.
- [15] Z. Şimşek, "CEO tenure and organizational performance: An intervening model", *Strategic Management Journal*, Vol. 28(6), pp. 653-662. 2007.
- [16] V. Yılmaz, "Lisrel ile yapısal eşitlik modelleri: Tüketici şikâyetlerine uygulanması", 2004.
- [17] S. Peprah, "On using AMOS, EQS, LISREL, Mx, RAMONA and SEPATH for structural equation modeling", *Doctoral dissertation, University of Port Elizabeth*. 2000.
- [18] Y. Fan, J. Chen, G. Shirkey, R. John, S. R. Wu, H. Park and C. Shao, "Applications of structural equation modeling (SEM) in ecological studies: An updated review", *Ecological Processes*, Vol. 5(19), pp. 1-12, 2016.
- [19] E. Kim, I. Cho and E. J. Kim, "Structural equation model of smartphone addiction based on adult attachment theory: Mediating effects of loneliness and depression", *Asian Nursing Research*, Vol. 11(2), pp. 92-97. 2017.
- [20] S. D. Davadas and Y. F. Lay, "Factors affecting students' attitude toward mathematics: A structural equation modeling approach", *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, Vol. 14(1), pp. 517-529, 2018.
- [21] Jr. Hair, W.C. Black, B.J. Babin, R.E. Anderson and R.L. Tatham, *SEM: An introduction. multivariate data analysis: A global perspective*, 7th ed., 2010.
- [22] J. P. Stevens, *Applied multivariate statistics for the social sciences*, 4th ed., Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2002.

- [23] A. L. Comrey and H. B. Lee, *A First Course in Factor Analysis*, 2nd ed., Psychology Press, New Jersey, 1992.
- [24] S. D. Jap, C. Manolis and B. A. Weitz, "Relationship quality and buyer-seller interactions in channels of distribution", *Journal of Business Research*, Vol. 46(3), pp. 303-313, 1999.
- [25] V. A. Zeithaml, "Consumer perceptions of price, quality, and value: A means-end model and synthesis of evidence", *Journal of Marketing*, Vol. 52(3), pp. 2-22, 1988.
- [26] S. Beldona and K. Namasivayam, "Gender and demand-based pricing: Differences in perceived (un) fairness and repatronage intentions", *Journal of Hospitality & Leisure Marketing*, Vol. 14(4), pp. 89-107, 2006.
- [27] D. A. Aaker and R. Jacobson, "The financial information content of perceived quality", *Journal of Marketing Research*, Vol. 31(2), pp. 191-201, 1994.
- [28] L. Y. Peng and Q. Wang, "Impact of relationship marketing tactics (RMTs) on switchers and stayers in a competitive service industry", *Journal of Marketing Management*, Vol. 22(1-2), pp. 25-59, 2006.
- [29] K. Witkowski, "Internet of things, big data, industry 4.0-innovative solutions in logistics and supply chains management", *Procedia Engineering*, Vol. 182, pp. 763-769, 2017.
- [30] L. E. Boone and D. L. Kurtz, *Contemporary Marketing*, 7th ed., Cengage Learning, 2015.
- [31] M. A. Ülkü and J. H. Bookbinder, "Optimal quoting of delivery time by a third party logistics provider: The impact of shipment consolidation and temporal pricing schemes", *European Journal of Operational Research*, Vol. 221(1), pp. 110-117, 2012.
- [32] M. Uluskan, J. A. Joines and A. B. Godfrey, "Comprehensive insight into supplier quality and the impact of quality strategies of suppliers on outsourcing decisions", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 21(1), pp. 92-102, 2016.
- [33] B. W Taylor and R. S. Russell, *Operations Management: Creating Value Along the Supply Chain*, 7th ed., Hoboken: John Wiley & Sons. 2011.
- [34] D. Simon, L. Kriston, A. Loh, C. Spies, F. Scheibler, C. Wills and M. Härter, "Confirmatory factor analysis and recommendations for improvement of the Autonomy-Preference-Index (API)", *Health Expectations*, Vol. 13(3), pp. 234-243, 2010.
- [35] M. İlhan, and B. Çetin, "LISREL ve AMOS programları kullanılarak gerçekleştirilen yapısal eşitlik modeli (YEM) analizlerine ilişkin sonuçların karşılaştırılması", *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, Vol. 5(2), pp. 26-42, 2014.

Development and Implementation of Ordering Process and Sampling Plan for Supplied Products

Esra Küren¹, Meryem Uluskan^{*1}

^{*}muluskan@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1287-8286

¹Department of Industrial Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey

Abstract Sampling plans, by which the number of non-conforming items are examined, help the buyer to decide whether to accept or reject a received batch of items. Accordingly, this study aims to develop incoming quality control and sampling plans, including product procurement and inspection of the received products, for a sugar mill machinery manufacturing plant. Prior to improvement made, the study plant had no standard procedure regarding order placement and incoming inspection processes and therefore it conducted 100% inspection for the supplied products. Accordingly, this study intended to reduce time and labor which were wasted during inspection of the whole product batch, reduce costs incurred for inspection of incoming products and also to avoid disruption in the supply process. Prior to development of sampling plans, a systematic and standardized ordering process was created. The whole process was supported with the creation of standard documents and online systems such as order tracking system, order request form and letter of offer. Then, the usage of Single Sampling Plan by Attributes for the supplied products was suggested and this plan was implemented for six products, namely, gang milling cutter, bearing, bolt, oil seal, hydraulic cylinder and conveyor belt. After the inspection level and the code letter corresponding to the lot size were determined for these six products, the required sample sizes for lots with different sizes were determined according to the code letter. Finally, acceptable quality level values and acceptance/rejection numbers corresponding to sample size were determined for all six products. The determined samples were decided to be drawn through simple random sampling procedure which was achieved via utilization of a Random Number Table. In addition to sample size determination, the total inspection time per product was determined for each product type. Then, total inspection time required for 100% inspection and total inspection time for sample inspection were calculated to determine the time savings achieved through this study. Results showed that total inspection time required for 100% inspection varied from minimum 4 hours to 250 hours with an average of 53.5 hours of inspection for these six products. On the other hand, with the suggested sampling plan application, these inspection times are reduced to between 40 minutes and 21 hours which represents considerable time and labor reduction. When percent savings are considered, it was seen that even the least savings was 70% which represents a significant gain. On the other hand, a maximum of 229 hours of savings achieved making up a 91.6% time reduction for inspection. Finally, it was suggested that the study plant should implement acceptance sampling both for its supplied and manufactured products.

Keywords: *Acceptance Sampling by Attributes, Ordering Process, Quality Improvement, Quality Control*

I. INTRODUCTION

Acceptance sampling is among the significant topics of statistical quality control which is concerned with inspection and decision making regarding products [1]. It gained popularity with Dodge and Romig and initially utilized by the U.S. military to test bullets during World War II. If each bullet was tested prior to shipment, no bullets would be left to send. If, on the other hand, none were tested, failures and issues would occur in the battle field, leading to undesirable results. Therefore, acceptance sampling can be defined as *the middle of the road* approach between no inspection and 100% inspection [1].

Acceptance quality control system protects the buyer from getting unacceptably defective material and involves quality agreement on product orders between the vendor/supplier and the buyer [2] [3]. Accordingly, acceptance sampling plans lay out the rules for lot rejection and the buyer's predetermined requirements on product quality. Therefore, sampling plans have been widely utilized in the industrial environments and are the primary tools for quality and performance management in industry today [3] [4].

In manufacturing environments, sampling plans, through which the number of non-conforming or defective items are examined, aid the buyer in deciding whether to accept or reject a received batch of items [3]. Although acceptance quality control has considerable benefits to companies, many of them do not implement a sampling plan and have to deal with high costs incurred for inspection of incoming products. At this point, this study aims to improve ordering process and implement an acceptance sampling plan within a plant, where there exist no standard regarding incoming inspection and thus which conducts 100% inspection for the supplied products.

Specifically, the goal of this study is to develop a quality control and sampling plan, which includes product procurement and control processes of the product supply, for a sugar mill machinery manufacturing plant. It was intended to reduce time and labor which were wasted during inspection of the whole product batch, reduce costs incurred for inspection of incoming products and also to avoid disruption in the supply process with the implementation of the proposed quality control plan. In this way, the supplier company was also forced to achieve the accepted quality level average through the economic and psychological pressure created by the rejected product batches, and at the same time, an upper limit was established to prevent the customer firm's risk of accepting low quality product lots.

II. REVIEW OF THE CONCEPTS

A. Understanding Quality Control

Quality control involves testing of material, components and final products to determine if they are within the specifications. The purpose of the testing is to determine any needs for corrective actions in the manufacturing process. Good quality control helps companies meet consumer demands for better products.

Quality testing should be embedded in each step of the manufacturing processes. Employees often begin with the testing of raw materials, pull samples from the production line and test the

finished product. Testing at the various stages of manufacturing helps identify where a production problem exists and the remedial steps it requires to prevent it in the future.

Quality control techniques require extensive usage of statistical methods. Statistical quality tools mainly include *statistical process control*, which helps in confirming whether the current process is under control, and *acceptance sampling*, which is concerned with inspection and decision making regarding products.

B. Acceptance Sampling

One of the important areas of quality control is the inspection of raw materials, semi-finished products and products. The inspection method used in an acceptance or rejection examination carried out according to a specified standard is called acceptance sampling. Acceptance sampling is a method used to save time and costs caused by a more comprehensive inspection for the manufacturer and supplier. Generally, the acceptance sampling process starts with raw material or intermediate products arriving on buyer company's site. A sample is taken from the incoming product lot which is controlled to determine whether it meets the required quality specifications or not. Based on the result attained from the sample drawn from the lot, a decision is made for the whole batch. Usually this decision takes the form of accepting or rejecting the whole batch. Accepted batches are sent to the production lines, rejected ones are sent back to the supplier. Although acceptance sampling seems applicable for incoming raw materials, it is possible for manufacturers to use this method in their own production processes [5]. Similarly, batches accepted in the production process are sent to the next process. Rejected ones are sent for rework or scrap.

There are three approaches to lot/batch acceptance. In the first approach, the lot is accepted without any control. In the second approach, the whole product lot is inspected (100% inspection) and the defective parts are returned to the supplier (or to the previous production process). In the third approach, acceptance sampling is applied. The approach of accepting the lot without control is applied in cases where the production process of the supplier is very good and therefore no defective parts are expected. It is also used for products with low economic importance and reproduction costs. On the other hand, 100% inspection is used when defective products in the batch add too much additional cost to the next stage. Acceptance sampling is an effective method in the situations where the inspection is damaging, or where 100% inspection is too costly, or 100% inspection is not suitable due to technological constraints and requires overtime and long inspections negatively affect production schedules, or in cases where there are too many products to be inspected and subject to excessive inspection errors, or in situations where the reliability of the supplier is high but the process needs to be continuously monitored.

When acceptance sampling is compared with 100% inspection, there are advantages of lower cost due to less inspection, less damage to products due to less intervention, being suitable for destructive testing, less staff requirement for inspection processes and less inspection error.

Although acceptance sampling is not a way to measure the quality level, taking the right number of samples determines the quality level which will reach the customer [6]. For this reason, acceptance sampling plans are designed considering the following factors.

Acceptable Quality Level (AQL): Defective parts found after a batch has been inspected may be accepted by the buyer to a certain extent. This ratio is called the acceptable quality level.

Acceptable Number of Defects: It is the largest number of defective units that the batch can hold in order to be accepted as a result of the inspection [7]. The acceptable number of defects is determined by the type of sampling plan and the level of inspection.

Sampling Plans: In the single sampling plan, a sample selected from the product lot is inspected and a decision is made for the whole product lot according to the number of the defects in that sample. In this plan, there is a certain acceptable number of defects (c) for a sample of “ n ” pieces. The number of defective products can be determined by inspecting n samples taken. If the number of defective products (d) is less than or equal to the acceptable number of defective products ($d \leq c$) the batch is accepted, otherwise ($d > c$) it is rejected.

On the other hand, in a double sampling plan, triple decision making takes place instead of a double decision making. While the decision is accepted or rejected in a single sample, taking a second sample is among the options. If a second sample is taken, the information from the first two samples is combined and the lot is accepted or rejected. Multiple sampling is an extension of double sampling. The sample size in multiple sampling is smaller than in single and double sampling. The extension of multiple sampling is sequential sampling. Here, if the number of defective products are not sufficient to make a decision, it is decided to accept or reject the product lot by retaking a sample [7].

II. STUDY PLANT AND ITS PRODUCTS

The study plant was established in 1933 as a maintenance and repair workshop. The plant, which initially met spare part requirements of sugar mills and conducted equipment repairs for them when necessary, gained great success through its manufacturing of sugar mill machinery in the following years. With the investments made in 1966, it was transformed into a sugar mill machinery manufacturing plant and doubled its capacity in the subsequent years.

The product range of the factory consists of gearboxes used in various types and models of machines, centrifugal pumps specially designed for many fluids used in the industrial field, and special pumps in different types and models. In addition to these, sugar centrifuges, beet cutting machines, pulp presses, steam boiler units, building steel and tank productions, etalon mass production, mechanical type vehicle scales and Portable beet unloading-cleaning and stacking machines that can be used for unloading the beet from the vehicle, separating it from the soil, cleaning and stacking, and that can work with electricity or diesel engine, are among the other products produced.

III. ORDERING PROCESS DEVELOPMENT

Prior to development of sampling plans, a systematic and standardized ordering process, which the study plant lacked, is created for products to be supplied. The whole process is supported with the creation of standard documents and online systems such as order tracking system, order request form and letter of offer. The flow and the corresponding documents/systems of the whole process are explained below.

The orders of the products to be supplied are entered into the Order Tracking System by the employees who need the product in the workshops. The Order Tracking System contains information such as the technical characteristics of the product, the number of orders, and where to use it. Products are found by querying according to their order numbers.

For orders approved through the system, an Order Request Form is created by the service

supervisor to be sent to the Trade Service and Accounting Unit. The order request is a document containing product features such as product name and dimensions, order quantity and type, and where the product will be used. Trade Service is the service that determines the supplier firm. Product registration is made according to the order request and prospective supplier companies are searched on the internet. The Letter of Offer, which includes the desired product type, the unit and the quantity of the product, is faxed to these prospective suppliers together with the technical drawing indicating the technical dimensions and product standards.

After offers are received from the prospective suppliers, a document is prepared by combining these offers. The supplier selection is made based on the best offered price. A fax is sent to the selected supplier stating that their offer has been accepted.

In order to initiate manufacturing after the contract has been signed, the required Product Technical Specification document is prepared and sent to the supplier company. The specification consists of four steps and is prepared separately for each product. These steps should be completed by the suppliers. In the first step, the subject of the work is specified. In the second step, the description of the work, the material to be used during manufacturing is procured in accordance with the quality and norms specified in the technical drawing. In the third step, which is the quality control step, authorized personnel from the buyer company conduct inspection and controls at every stage of the production. The last step is packaging and shipping. Completed products are delivered to the study plant and sent to the plant's material warehouse where they are prepared for quality control procedures.

IV. PRODUCT ACCEPTANCE CONTROLS

In order to accept products received from the supplier, a number of controls including warranty certificate control, control of conformity with the product technical specification, company identification letter control, visual inspection, measurement control, ultrasonic control, chemical analysis test, paint control are performed. The supplied/incoming products, their descriptions and quality inspections which are conducted for these products are given in Table I.

Certificate / warranty document control is the control of the address of the supplier, the model and brand information of the product and the document indicating the measurement values if the product has standard dimensions. Specifications Conformity Check is checking whether the product meets every requirement specified in the technical specification. Company Identification Letter Control includes controls such as company emblem, address, and signatures of responsible persons. Visual inspection is performed to determine whether there exists any cracks, scratches or abrasions on the product surface. Before this control is carried out, the surface of the product should be cleaned and the control should be conducted in an adequately lit environment. Measurement Control is controlling the dimensions of the products such as diameter, length, width, thickness and angle. Ultrasonic Control is performed to detect cracks in the product.

TABLE I
SUPPLIED PRODUCT DESCRIPTIONS AND QUALITY INSPECTIONS

Supplied Products	Descriptions	Quality Inspections
Gang Milling Cutter	It is used to open gear wheel profiles.	1. Warranty certificate control 2. Control of conformity with the product technical specification 3. Company identification letter control 4. Visual inspection 5. Measurement control 6. Ultrasonic digital hardness test
Bearing	It is a machine piece that allows the parts rotating in different directions in the gear box to make this movement with minimum friction, and to reach higher speeds with less power.	1. Warranty certificate control 2. Control of conformity with the product technical specification 3. Company identification letter control 4. Visual inspection 5. Measurement control 6. Ultrasonic digital hardness test
Conveyor Belt	It is used to convey beet sacks.	1. Warranty certificate control 2. Control of conformity with the product technical specification 3. Company identification letter control 4. Visual inspection 5. Measurement control 6. Ultrasonic digital hardness test
Oil Seal	It prevents oil leakage from machine pieces inside gear box.	1. Warranty certificate control 2. Control of conformity with the product technical specification 3. Company identification letter control 4. Visual inspection 5. Measurement control
Bolt	It is a junction piece that is used to connect the parts together so that they can be disassembled again.	1. Warranty certificate control the 2. Control of conformity with the product technical specification 3. Company identification letter control 4. Visual inspection 5. Measurement control 6. Chemical analysis test
Hydraulic Cylinder	Allows the beet unloading machine to be lifted for empty the beet.	1. Warranty certificate control the 2. Control of conformity with the product technical specification 3. Company identification letter control 4. Visual inspection 5. Measurement control 6. Strength test

Chemical Analysis Test is a test performed with a spectrometer to determine the element ratios in materials such as steel, aluminum, brass, especially for Polyether ether ketone (PEEK) materials where PEEK is a high-performance thermoplastic polymer which is used in high-

stress/high-temperature applications engineering applications due to its excellent mechanical and chemical resistance properties. Ultrasonic Digital Hardness Test (Ultrasonic Contact Impedance Test) is applied to measure the thickness of various materials by emitting ultrasonic waves at a constant speed and reflecting them from the back. Strength Test is applied to measure the durability of chrome plated materials. Finally, Surface Coating Inspection is the control performed to detect expected surface defects in all metallic or non-metallic materials.

V. ATTRIBUTE SAMPLING PLAN IMPLEMENTATION FOR QUALITY CONTROL

The aim in developing an attribute sampling plan, which was created through TS ISO 2859-1 standard, for Sugar Mill Machinery Manufacturing Plant, is to provide a practical and easy-to-apply guide for the plant and to assist it in sampling efforts during the inspection of incoming products. Attribute sampling is the method of measuring quality that consists of noting the presence or absence of some characteristic, i.e. attribute, in each of the units being inspected [8]. Therefore, attributes are the features that serve to distinguish a product as defective or not-defective by comparing it with its model, standard and specification as a result of physical examination. Sampling plans have been prepared in a way to determine the sample sizes which will be taken from lots with different sizes, to determine acceptable quality levels for these lots and to determine the minimum number of defectives that is required to reject these lots. When deciding which plan to use, the acceptable quality level and inspection level for the relevant product should be determined in advance. In the plant, it was suggested to use the Single Sampling Plan by Attributes for the supplied products and this plan was implemented. Single sampling plan is a plan that requires only one sample to be taken to decide on either to accept or reject the lot and the decision is made according to the inspection results. When applying the plan, first, the inspection level to be applied to the lot is determined. The inspection level indicates the sample sizes and relative amount of inspection. Three inspection levels are specified as I, II, and III. Level I, which is called loose inspection in cases where less discrimination is required, and Level III, which is called strict inspection, is used when more discrimination is required. In addition, four special inspection levels such as S-1, S-2, S-3, and S-4 are available. They can be used where relatively small sample sizes are required and where larger sampling risks can be tolerated. Level I may be used when less discrimination is needed or level III when greater discrimination is required. Unless otherwise specified, level II should be used in practice [9]. Therefore, in the study plant level II (the normal inspection level) is chosen for implementation. After the inspection level is determined, the code letter corresponding to the lot size in consideration and inspection level selected should be determined from the Sample Number Code Letters Table given in Table II.

Then, the required sample size for lots with different sizes is determined according to the code letter. Acceptance and rejection numbers/points corresponding to sample size and pre-determined acceptable quality level values are determined from the Single Sampling Plan Table For Normal Inspection given in Fig.1.

TABLE II
SAMPLE NUMBER CODE LETTERS

Lot or Batch Size	Special Inspection Levels				General Inspection Levels		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 to 8	A	A	A	A	A	A	B
9 to 15	A	A	A	A	A	B	C
16 to 25	A	A	B	B	B	C	D
26 to 50	A	B	B	C	C	D	E
51 to 90	B	B	C	C	C	E	F
91 to 150	B	B	C	D	D	F	G
151 to 280	B	C	D	E	E	G	H
281 to 500	B	C	D	E	F	H	J
501 to 1200	C	C	E	F	G	J	K
1201 to 3200	C	D	E	G	H	K	L
3201 to 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 to 35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 to 150000	D	E	G	J	L	N	P
150001 to 500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001 and over	D	E	H	K	N	Q	R

Sample size code letter	Sample size	Acceptable quality levels (normal inspection)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
A	2	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>	<div>↓</div>

Fig. 1. Single sampling plan for normal inspection
(Acceptable quality levels)

The acceptable quality level (AQL) is the highest value of the acceptable percentage of defects determined by the organization for defects found in the inspected sample. AQL is mainly defined

as the worst quality level, or limit, that is acceptable in an order of goods. The ratio of defects found per total sample size aids to determine whether the lot passes or fails inspection [10]. The AQL table outlines several different sample sizes, which vary slightly in size and risk. Since there is no standard value for AQL, it is determined by the company. This value has been determined as 1.0, meaning that no more than 1% defective items in the whole order quantity is desired, for the study plant.

After determination of the inspection level, code letter, acceptance quality level and the corresponding sample size for a particular incoming product lot, the sample was decided to be drawn through simple random sampling procedure. This procedure allows all products in a particular lot to have an equal chance of being selected for the sample group. Simple random sampling is achieved via utilization of a Random Number Table which is a series of digits (0 to 9) arranged randomly in rows and columns, as shown in Table III. Random number tables have been in use since 1927 when the first table was published by L.H.C. Tippett, and since then a number of other such tables were constructed [11].

TABLE III
FOUR-DIGIT RANDOM NUMBER TABLE

1	2	3	4	5	6	7	8
7816	6572	0802	6314	0702	4369	9728	0198
3206	9243	4935	8200	3693	4869	6938	7481
7976	3412	2841	4841	8424	1985	9312	2392
8309	9828	5896	2410	1158	2790	6443	2942
5856	8526	6166	8231	9498	8455	4618	4445
2635	7900	3370	9160	1630	3882	7757	4950
3911	4919	7306	4916	7677	8783	9974	6732
9748	6198	7164	4148	7086	8888	9519	1620
7477	0111	1630	2406	9978	7991	9683	5126
8379	7076	1694	2927	4399	5519	9106	9501
9364	4607	9012	3920	7766	3817	8256	1640
5858	7766	9170	0500	2593	0545	8370	7814
3889	6628	6787	8931	1599	0068	0047	3815
5131	8188	3709	4521	8665	5885	8989	3702
9058	7196	9179	3907	1114	1994	4359	4488
7900	5870	9606	8812	5509	4394	0030	4750
3693	9212	0557	7369	7162	9568	1212	9438
0280	3338	0196	4560	4203	8496	3806	0347
0246	4469	9719	8316	1285	0357	2289	2390
7266	0081	6897	2851	4666	0690	4596	3400
9312	4779	5737	8918	4550	3994	5573	9229
6111	8098	0965	7352	6847	3034	9977	3770
2310	4476	9148	0679	2662	2062	0522	9234
9826	8857	8675	6642	5471	8820	4308	2105
6703	8248	6064	6962	0053	8188	6494	4509

Since the maximum size of the incoming lots is a four-digit number, a four-digit table of random sample numbers is utilized during sampling efforts. For example, assume that a sample of 50 units from a lot with a lot size of 500 units will be selected. Since the lot size is a three-digit number, the first three digits of the numbers listed in the table will be used. Initially, a starting point, i.e. starting number, should be determined randomly. Assume that the number 2635 located in the 1st column and row 6 is selected. Since the lot size is 500 - a three-digit number, the first product number to be selected from the lot will be the first three digits of the specified number, i.e. 263.

If we move down and choose the next number in that column, the second number to be chosen will be the 391st sample. The third location in the same column gives the first three digits to be 974. Since this choice is too large (> 500) and because we are looking for numbers whose first

three digits are from 001 to 500, we move and control the next number in that column until we reach a number which is less than 500 (in this case 388). In this way, it is possible to determine the remaining 47 samples to be selected by the same method.

After the sample is selected through simple random sampling method for a particular lot, the number of defective products within that sample is determined. If the number of defective products is equal to or less than the acceptance number given in the single sampling plan table for normal inspection (Fig.1), the product lot is accepted, otherwise it is rejected. The rejected lot is notified and returned to the relevant supplier and the supplier company is requested to re-manufacture required products in accordance with the specifications. Acceptance and rejection decisions are made by applying the same steps to each product lot received from the suppliers. A brief work flow diagram for acceptance sampling plan is provided in Fig.2.

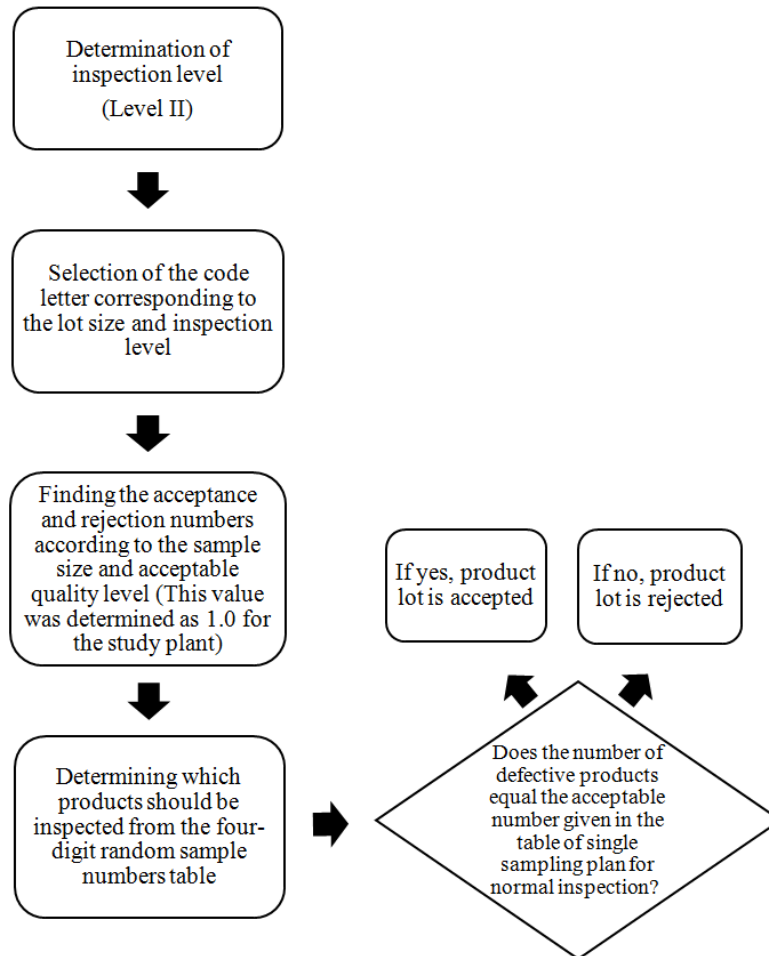


Fig. 2. Work flow diagram for sampling plan

This study aimed to improve ordering process and implement an acceptance sampling plan within the study plant, where there existed no standard for incoming inspection efforts and thus which conducted 100% inspection for the supplied products. Therefore, these aforementioned sampling steps were planned and implemented for 6 supplied products. Accordingly, detailed

acceptance sampling plans including determined sample sizes for inspection are created for these products. For these particular products, which include gang milling cutter, bearing, bolt, oil seal, hydraulic cylinder and conveyor belt, the sample sizes are determined through sampling steps explained above. In addition, the total inspection time per product was determined for each product type. Then, total inspection time required for 100% inspection and total inspection time for sampling plan implementation were determined. It was seen that total inspection time required for 100% inspection varied from minimum 4 hours to 250 hours with an average of 53.5 hours of inspection for these 6 products. On the other hand, with the sampling plan application, these times have been reduced to between 40 minutes and 21 hours which represents a huge time and labor reduction. Table IV presents the results of the study and the corresponding time and percent savings for each product. It is seen that a minimum of 3 hours of savings which corresponds to a 75% time reduction is achieved for oil seals. However, when percent savings are considered, it is seen that the least is 70% savings which still represents a huge gain. On the other hand, a maximum of 229 hours of savings achieved corresponding to a 91.6% time reduction for inspection of bolts.

VI. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study aimed to develop a quality control and sampling plan, which includes product procurement and control processes of the product supply, for a sugar mill machinery manufacturing plant. Prior to the improvement achieved through this study, the study plant had no standard procedure regarding order placement and incoming inspection processes and therefore conducted 100% inspection for the supplied products. Therefore, it was intended with this study to reduce time and labor which were lost during inspection of the whole product batch, reduce costs incurred for inspection of incoming products and also to avoid disruption in the supply process with the implementation of the proposed quality control plan.

Initially, before development of sampling plans, a systematic ordering process, including supplier search and selection, was created for the study plant. This process included standardized documents and online systems that assure the smooth and flawless flow of the ordering process. These documents and online systems made order-related data visible and more accessible to all parties. In this way, every step in the procurement has been explicitly determined and the uncertainty has been prevented.

Then, the usage of Single Sampling Plan by Attributes for the supplied products was suggested and this plan was implemented for six products, namely, gang milling cutter, bearing, bolt, oil seal, hydraulic cylinder and conveyor belt. After the inspection level and the code letter corresponding to the lot size were determined for these six products, the required sample size for lots with different sizes were determined according to the code letter.

TABLE IV
DETERMINATION OF TIME SAVINGS AND SAVING PERCENTAGES

Supplied Products	Lot Size	Sample Size	Total Inspection Time Per Product	Total Inspection Time for 100% Inspection	Total Inspection Time for Sampling Plan Imp.	Time Savings	% Savings
Gang Milling Cutter	100 Piece	20 Piece	15 Min	25 Hr	5 Hr	20 Hr	80
Bearing	100 Piece	20 Piece	10 Min	17 Hr	3 Hr	14 Hr	82.35
Bolt	1500 Piece	125 Piece	10 Min	250 Hr	21 Hr	229 Hr	91.6
Oil Seal	50 Piece	8 Piece	5 Min	4 Hr	40 Min	≈3 Hr	75
Hydraulic Cylinder	10 Piece	3 Piece	2 Hr	20 Hr	6 Hr	14 Hr	70
Conveyor Belt	20 Piece	5 Piece	15 Min	5 Hr	1 Hr	4 Hr	80

Finally, acceptable quality level values and acceptance/rejection numbers corresponding to sample size were determined all for the six supplied products. The determined samples were decided to be drawn through simple random sampling procedure which was achieved via utilization of a Random Number Table. In addition to sample size determination, the total inspection time per product was determined for each product type to calculate total inspection time required for 100% inspection and total inspection time for sampling plan implementation. These inspection times were compared to establish the amount of time savings achieved through this study. Results showed that total inspection time required for 100% inspection varied from minimum 4 hours to 250 hours with an average of 53.5 hours of inspection for these 6 products. On the other hand, with the sampling plan application, these times have been reduced to between 40 minutes and 21 hours which represents a huge time and labor reduction. When percent savings are considered, it was seen that even the least savings was 70% which represents a huge gain. On the other hand, a maximum of 229 hours of savings achieved corresponding to a 91.6% time reduction for inspection of bolts.

Considering that this study covers only 6 products and that the plant has a large number of products that are supplied from suppliers, it was suggested that the study plant implemented

acceptance sampling for all its receiving products, which would provide more time savings and a reduction in labor cost for the plant. Also, as a result of the lack of a specific plan for the ordering process at the beginning, there was difficulty in accessing the information about the products supplied, and this was a huge waste of time and confusion while product controls were carried out. In addition, the data and information on the supplied products could be accessed by only the managers until this study was conducted. One of the main contributions of this study is that the system created for the ordering process avoided the confusion during product controls and allowed for easy access for all users by transferring all the information about the products to the order tracking system that was not previously used. The sampling plans can also be applied for not only incoming products but also for products manufactured by the plant itself as they conduct 100% inspection for the manufactured products as well. Finally, the products with the most defective parts in the procured product lots can be determined and the supplier companies producing these determined products can be changed or improvement studies can be conducted on these supplier companies.

REFERENCES

- [1]Information Technology Laboratory Website, Retrieved from www.itl.nist.gov on April, 2021.
- [2]E. G. Schilling, and D. V. Neubauer, *Acceptance Sampling In Quality Control*, Boca Raton: FL: CRC Press, 2017.
- [3]M. S. Fallah Nezhad, *Practical Concepts of Quality Control*, London: IntechOpen, 2012.
- [4]M. S. Fallah Nezhad and F. Zahmatkesh Saredorahi, "A new policy for designing acceptance sampling plan based on Bayesian inference in the presence of inspection errors" *Communications in Statistics-Theory and Methods*, Vol. 47(21), pp. 5307-5318, 2018.
- [5]R. Yanik, *Standart Örneklemeye Tabloları ve Bir Uygulama*, Institute of Social Sciences, Cumhuriyet University, Sivas, Turkey, 2004.
- [6]A. Mitra, *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.
- [7]I. Kaya and O. Engin, "Usage of artificial intelligence in quality control activities and implementation in an automotive supplier", *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, Vol. 1(4), pp. 87-101, 2004.
- [8]American Society for Quality Website, Retrieved from www.asq.org on April, 2021.
- [9]R. Anjoran, Retrieved from <https://qualityinspection.org> on April 2021.
- [10]M. Burkhart, 3 General Inspection Levels for QC Sampling with AQL, Retrieved from <https://www.intouch-quality.com/blog/quality-control-inspection-3-general-inspection-levels> on April 2021.
- [11]D. Chakrabarty, "Drawing of random six-digit numbers from tables of random two-digit numbers", *Int. J. Adv. Res. Sci. Eng. Technol*, Vol. 3(9), pp. 2643-2655, 2016.

Doğal Taşlarda Vakumlu Blok Sağlamlaştırma (Bohçalama) Yöntemi

Block Reinforcement Method Using Vacuum in Natural Stones

Hakan Elçi^{*1}, Arif Mutlu², Şener Ceryan³ Ramazan Hacımustafaoğlu⁴

^{*}hakan.elci@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2945-2548

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

¹Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Balıkesir, Türkiye

³Balıkesir Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, İzmir, Türkiye

Özet Kapalı süreksizlik düzlemleri ocakta blok üretiminde etkin olmayan fakat katrakta kesim sonrası elde edilen levhaların bütünlüğünü bozan zayıflık düzlemleridir. Blok bohçalama yöntemi bu zayıflık düzlemleri sağlamlaştırılır. Sağlamlaştırma yöntemi iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada süreksizlik içeren blok file ve naylon ile bohçalanır ve 1 atm. basınç altında vakumlanarak havasını alınır. Havası alınan bohça içerisine bağlayıcı olarak epoksi reçine cazibesi ile verilir. Epoksiye doyurulan blok 24 saat kürlenmesi için bekletilir. Daha sonra blok katrakta kesilerek levha haline getirilir. İkinci aşamada ise levhanın arka yüzeyi file ve epoksi ile güçlendirilir. Ön yüzüne ise sadece epoksi uygulanarak mevcut süreksizlikler ve gözenekler epoksi ile doldurulur. Kürlenme süresi sonrası levhanın ön yüzü cilalanır.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş, Blok güçlendirme, Epoksi reçine

Abstract Closed discontinuity planes are weaknesses that are not effective in the production of blocks in the quarry, but disrupt the integrity of the plates obtained after cutting in the gang saw. These weakness planes are reinforced with the block bundling method. The reinforced method is carried out in two stages. In the first stage, the block containing discontinuity is bundled with a net and nylon, and the air is evacuated by vacuuming under 1 atm. pressure. It is given with the attraction of epoxy resin as a binder into the evacuated bundle. The block, which is saturated with epoxy, is left to cure for 24 hours. Later, the block is cut into a gang saw and turned into a plate. In the second stage, the back surface of the plate is strengthened with net and epoxy. By applying only epoxy to the front face, existing discontinuities and pores are filled with epoxy. After the curing period, the front of the plate is polished.

Keywords: Natural stone, Block reinforcement, Epoxy resin

I. GİRİŞ

Doğal taşlar insanlığın ilk yıllarından bu yana sıklıkla kullanılan en önemli yapı malzemesi olmuştur. İlk yıllarda çoğunlukla doğada bulundukları şekilleri ile yığma taş (kâgir) duvar yapımı için kullanılan doğal taşlar, metallerin keşfi ile yüzleklerden daha büyük boyutlarda çıkarılabilmiş ve şekillendirilmiştir. Böylelikle yapılarda düzgün şekilli bloklar halinde duvar yapımı için kullanımı ile beraber sütun veya kolon gibi yük taşıyıcı yapı elamanları olarak da kullanılmıştır.

Zamanla doğal taş madencilik faaliyetleri ve doğal taş işleme yöntemleri gelişmiştir. Buna paralel olarak yapı teknolojileri de gelişmiş ve doğal taşların kullanım şeklide çeşitlilik göstermeye başlamıştır. Önceleri yığma taş sonrasında yığma taş ile beraber taşıyıcı yapı elmalarında kullanılan doğal taşlar özellikle portland çimentosunun keşfi sonrası geleneksel betonun yapı sektöründe yerini alması ile çok katlı yapılarda kaplama/giydirme olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüz mimarisinde özellikle prestijli projelerde doğal taşlar hem iç mekânlarda hem de dış mekânlarda kaplama olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak kullanım şekli ve kullanılan doğal taşın litolojisine de bağlı olarak göre bazı problemleri beraberinde getirmiştir. Bunlardan ilki herhangi bir yapıda kaplama veya döşeme olarak kullanılan doğal taşın bina statğine getirdiği fazladan yüküdür. Bu durum kaplama olarak kullanılacak daha ince kesilmiş doğal taş levhalarına olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu da beraberinde doğal taşın kalınlığının azalmasına ve sonrasında dayanımının azalmasına sebep olmuştur.

Plaka haline getirilmiş doğal taşların dayanımının azalmasının diğer bir nedeni de doğal taşların litolojik ve yapısal özelliklerinden kaynaklanan içerdiği süreksizliklerdir. Bu süreksizlikler ocakta blok üretimini etkilemeyen ancak katrakta kesilirken ortaya çıkan ve plaka verimini önemli ölçüde azaltan [1] zayıflık düzlemleridir. Bu zayıflık düzlemleri bloktan üretilecek plaka üretim verimini önemli ölçüde azalttığından, bu sorun, plaka üretimi öncesinde bloğu sağlamlaştırarak aşılmıştır. Sağlamlaştırma işlemi ile kaplama olarak kullanılacak doğal taş daha ince kalınlıklarda kesilebilmekte bununla beraber kendisinden beklenen dayanım özelliklerini de karşılayabilmektedir. Bu çalışmada blok sağlamlaştırma yöntemlerinden biri olan vakumlu blok sağlamlaştırma (bohçalama) yöntemi ve aşamaları ele alınmıştır.

II. DOĞAL TAŞ GÜÇLENDİRMEDE KULLANILAN BAĞLAYICILAR

A. Epoksi Reçineler

Epoksi veya polyepoksit, katalizatör ajan ile kimyasal reaksiyona girdiğinde sertleşen ve kürünü tamamlayan sentetik bir reçinedir [2]. Daha açık bir ifade ile epoksi, oksijen atomuyla eter halkasının kapanması işlevlerini taşıyan makro moleküllerden oluşan reçinedir. Uçlarında epoksi işlevi taşıyan makro moleküller uygun şartlarda kürlendiklerinde çapraz bağlanmış, mukavemetli ve yapışma kabiliyetli güçlü dev molekül zincirleri oluştururlar [3]. İlk defa Almanya'da 1939 yılında I.G. Farben Industrie tarafından bulunmuş kalsiyumu yapıştırma gücü ile dişçilik ve tıp alanında kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla mukavemet özelliği ve yapışma kuvveti sebebiyle yapıştırıcılarda, zemin kaplamalarında ve takviyeli plastik üretiminde kullanılmıştır [2, 3].

Günümüzde epoksi reçineleri hem doğal taş bloklarının hem de doğal taş levhalarının güçlendirmesinde sıklıkla kullanılan kimyasal bağlayıcıların başında gelir. Mikro gözeneklere sahip bazı granitler de, cila öncesi epoksi uygulaması ile kaplanıp, yüzeyi pürüzsüz hale getirilerek cila sonrası parlaklığı arttırmaktadır. Su geçirgenliği yüksek, limra gibi bazı taşlarda cila öncesi epoksi uygulayarak geçirgenliği azaltma ve parlaklığı artırma uygulamaları vardır [3].

B. Polyester Reçineler

Zincirli eter işlevleri ile bağlı motiflerin birleşmesinden oluşan polimerlere polyester denir. Kullanım sırasında katılan peroksit ve ardından uygulanan ısıtma ile polimerleşme sağlanır. Polyester reçineler, gözenek dolgusu ve çok kırılğan olmayan taşların güçlendirilmesi için uygundur. Polyester reçineler uygulandıktan sonra, elle dokunulduğunda yüzeydeki yapışkanlık

hissi çok uzun süre kalabilmektedir. Bu yapışkanlığın istenmediği durumlarda “parafin” içeren polyester reçineler kullanılır.

Polyester reçineler uygulamada yüksek bir esnekliğe sahiptir. Polimerizasyon (tam sertleşme) zamanları değişmesine rağmen, masalar, tünel fırınlar, elevatör fırınlar gibi her türlü uygulama sistemiyle özelliklerini kaybetmeden kullanılabilirler. Taşın arka tarafında fileli veya filesiz olarak; ön tarafında renklendirilmiş veya şeffaf olarak polyester reçine uygulanabilir. Eğer ön yüze uygulanırsa, taşın cila kalitesi belirgin oranda artar. Böylece çatlak tamiri ve gözenek dolgusu tek bir işlemle yapılmış olur. En çok başvuru yöntem, reçinenin spatula gibi klasik araçlar kullanılarak el ile uygulanmasıdır. Doğru uygulanırsa, çatlak ve gözenekler görülerek tek tek doldurulduğu için en garantili yöntemlerden biridir. İyi bir dolgu için reçine, gözeneklerin ve çatlakların içine spatula ile iyice dolana (kusana) kadar itilmelidir. Kürleme süresi daha kısa olduğu için enerji sarfiyatı düşmekte ve cila kalitesini epoksiye göre daha yüksek oranda arttırmaktadır. Epoksi reçinelere göre polyester reçineler çok daha ekonomiktir [3].

C. Ultra Viole (UV) Reçineler

Işık enerjisi altında reaksiyona uğrayarak mekanik ve kimyasal yapısı değişen, polyester esaslı polimerlerdir. Her bir reçinenin reaksiyona girdiği UV ışını dalga boyu ve gücü farklılıklar gösterebilir. Taş dolgu ve tamirinde, UV reçine kullanma ihtiyacı manipülasyon (dokunulduğunda ele ve vantuzlara yapışmayacak sertliğe ve kendi ağırlığını taşıyabilecek düzeye ulaşma durumu) süresini sıfıra indirme talepleri ile ortaya çıkmıştır. UV reçine, UV lambalar altında kürlendiğinde en azından yüzeyde ki ince bir film tabakası, ısınım etkisiyle hemen polimerize olmakta ve yapışkanlığını kaybederek sertleşmektedir. Bu da manipülasyon için yeterlidir. Geleneksel reçinelerin manipülasyon için gerekli olan ortalama 1-2 saatlik kuruma süreleri, UV reçine ile sıfırlanmış olur. Diğer yandan, perdeleme yöntemi ile otomatik olarak uygulanabilme özelliği, özellikle bant hızı yüksek strip hatlarında büyük kolaylık sağlamakta ve reçinenin taş yüzeyine düzgün olarak yayılmasını kolaylaştırmaktadır. UV reçineler, gözenek dolgu ve çatlak tamiri için kullanılabilir. UV ışınları engellemek için renklendirme tavsiye edilemez. Ancak zorunlu hallerde çok az renklendirme yapılabilir. Manipülasyon zamanı sıfırlandığından uygulamadan hemen sonra malzeme stoklanabilir ve böylece üretim süresi hız kazanır[3].

D. Mastikler

Mastik dolgular doğal taş levhalarına uygulanan genellikle polyester reçineler, bazı aminler, kalsiyum ve benzeri tozlar, homojenleştirici ve hızlandırıcı katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilir. Her türlü taşta istenildiği şekilde renklendirilerek kullanılabilir. Uygulamadan 7-10 dakika sonra cilalanabilir. Bazı hızlandırıcılar ve uygun fırınlar kullanarak bu süre 3 dakikaya kadar indirilerek kesintisiz çalışmaya imkân vermektedirler. Hatta UV mastikler kullanılarak, cilaya verme süresi çok daha kısaltılabilir. Taşın gözenekleri üzerine dikkatli bir şekilde el ile uygulanır ve böylece görülen tüm gözeneklerin doldurulması garanti altına alınır. Mastik çimentodan daha pahalı olmasına rağmen, İspanya ve İtalya gibi ileri teknoloji uygulayan ülkelerde özellikle traverten dolgusunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak taşın kusurları, aynı renk, aynı parlaklık ve aynı sertlikte, su geçirmez, zamanla rengini kaybetmeyen bir dolgu ile giderilmiş olur [3, 4].

E. Çimento Esaslı Dolgu

Ülkemizde travertenin gözeneklerini doldurmak için yoğun olarak kullanılan bir dolgu malzemesidir. Birçok firmada, tecrübeye bağlı olarak farklı şekillerde karışım hazırlanarak dolgu yapılır. Karışımında uygun miktarlarda beyaz çimento, kalsit, kaolen, yeteri kadar uygun renklerde oksit ve ufalanmayı azaltmak, cila kalitesini arttırmak ve donma süresini kısaltmak üzere bağlayıcı bir tutkal, bulunmaktadır. Çimento dolgulu taşın, cilaya verilebilmesi için harcın özelliklerine ve hava koşullarına göre 3-8 gün kürlenme süresi gerekmektedir. Kürlenme odaları ve bazı hızlandırıcılarla bu süreyi 32 saate kadar indirmek mümkündür [3, 5].

III. BLOK SAĞLAMLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

A. Fırınlı Vakumlu Bohçalama

Vakumlama öncesi blok taş, litolojisine ve blok büyüklüğüne göre uygun sıcaklık ve uygun süreyle kurutulur. Tam kuruma sağlandıktan sonra blok bohçalanarak - 0,85 ila - 0,95 bar vakum altında epoksi emdirilip, uygun sıcaklık ve süreyle kürlenir. Epoksinin çatlaklara girme mesafesi ortalama 2-10 cm arasındadır. İstenirse kullanılan epoksi taşın rengine uygun olarak renklendirilebilir [6].

B. Fırınlı Otoklavlı Bohçalama

Vakumlama öncesi blok taş litolojisine ve blok büyüklüğüne göre uygun sıcaklık ve uygun süreyle kurutulur. Tam kuruma sağlandıktan sonra blok bohçalanarak - 0,85 ila - 0,95 bar vakum altında epoksi emdirilir. Epoksi emdirme işleminden sonra basınçla blok içine epoksi sokmak üzere bloğa ilave epoksi beslenir. Beslenen ilave epoksi otoklavda bohça çevresine uygulanan + 6 bar basınç ile blok içine itilir. Otoklavdan çıkarılan epoksi basılmış blok uygun sıcaklık ve süreyle kürlenir. Epoksinin çatlaklara girme mesafesi ortalama 20-40 cm arasındadır. Derinlemesine epoksi basıldığı için, ilk iki yönteme göre epoksi sarfiyatı % 30 - % 70 daha fazladır. İstenirse kullanılan epoksi taşın rengine uygun olarak renklendirilebilir [6].

C. Fırınsız Vakumlu Bohçalama

Mermer blok fırına sokulmadan, doğal koşullarda kuruduğu kadarıyla filelenip bohçalanıp, (-) 0,85 ... (-) 0,95 bar vakum altında epoksi emdirildikten sonra fırına sokmadan epoksinin kürlenene kadar vakum altında tutulur. Bu yöntemde bloğun içinde nem kaldıysa epoksi çatlaklara girse bile kürlenmeyebilir. Fırınsız kürlenme süresi çok uzun olduğundan vakumda bir dalgalanma olduğunda çatlaklara giren epoksi geri çıkabilir. Epoksinin çatlaklara girme mesafesi ortalama 1-5 cm arasındadır. İstenirse kullanılan epoksi taşın rengine uygun olarak renklendirilebilir [6].

IV. MATERYAL VE METOT

A. Fırınsız Vakumlu Blok Sağlamaştırma Yönteminde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

Blok sağlamaştırma esnasında kullanılan sarf malzemeler sırası ile file, ısı ve basınca dayanıklı naylon, iki taraflı vakum bandı, epoksi emiş ve hava emişi için plastik supaplar, subap ile vakum pompası arası ve subap ile reçine tankı arasında kullanılan vakum hortumu 12 mm ve epoksi reçine ile sertleştiricidir. Epoksi ile blok sağlamaştırma işlemi esnasında kullanılan ekipmanlar ise başta

ağır koşullarda kullanıma uygun vakum pompası, bloğun ne kadar vakumlandığını gösteren manometre, epoksi reçineyi uygun koşullarda muhafaza edecek epoksi tankıdır.

B. Fırınsız Vakumlu Blok Sağlamaştırma Metodu

Süreksizlik düzlemleri veya belirli miktarda gözenek içeren blok taşlar, doğal taş işleme tesisinin epoksileme tesisine getirilerek epoksileme prosesine başlamadan önce yıkanır ve kuramaya doğal ortamda kurumaya bırakılır. Blok çalışma tezgâhına alınmadan önce en alta bohçalamada kullanılacak naylon serilerek üzerine bloğun kaplanacağı file serilir, temizlenmiş ve kurumuş olan blok filenin üzerine konularak her tarafı file ile kaplanır (Şekil 1) ve vakumlama ile epoksi emdirme amacı ile kullanılacak olan supaplar blok yüzeylerinin ortasına gelecek şekilde yerleştirilir (Şekil 1).

Blok fileleme işleminin ardından ısıya ve basınca dayanıklı naylon ile tamamen bohçalanır. Bohçalama işlemi yapıldıktan sonra naylon uygun yerlerinden çift taraflı bant ile birbirine bantlanarak sızdırmazlık sağlanır (Şekil 2).

Vakum pompası yardımı ile supaplardan hortum yardımı ile -0.1Mpa kadar vakumlama işlemi yapılır (Şekil 2) ve ardından negatif basınç altında olan file ve naylon ile bohçalanmış bloğa sıvı epoksi supaplar vasıtası ile emdirilmeye başlar. Tüm çatlak ve boşluklardan hava çekildiğinden negatif basınç altında olan çatlak ve kırıklara epoksi dolmaya başlar (Şekil 3).

Tamamen epoksi ile kaplanan blok kesim için uygun epoksi sertliğine gelene kadar bekletilir, bu süre hava sıcaklığına bağlı olarak 10 ila 24 saat aralığındadır. Genelde 16 saat sonra işlemeye uygun hale gelir (Şekil 4).



Şekil 1. Bloğun önce file ile ardından naylon ile bohçalaması



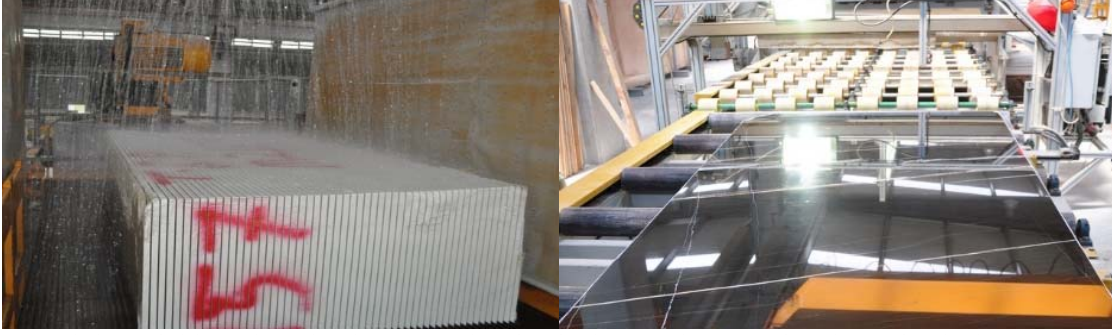
Şekil 2. Bohçalama ve vakumlama yapılmış bloklar



Şekil 3. Epoksiye doyurulmuş bloklar



Şekil 4. Epoksiye doyurulmuş blok stok sahası [7]



Şekil 5. Blokların katrakta kesimi ve kesilen levhanın file ve epoksi ile güçlendirilmesi [7]



Şekil 6. Epoksi ile Güçlendirilmesi tamamlanmış levhalar [7]



Şekil 7. Güçlendirme öncesi hasarlı kireçtaşı bloğu ve sonrasında elde edilen levha [7].



Şekil 8. Güçlendirme öncesi hasarlı kireçtaşı bloğu ve sonrasında elde edilen levha [7].



Şekil 9. Güçlendirme öncesi hasarlı kireçtaşı bloğu ve sonrasında elde edilen levha [7].



Şekil 10. Güçlendirme öncesi hasarlı oniks bloğu ve sonrasında elde edilen levha [7].



Şekil 11. Güçlendirme öncesi hasarlı traverten bloğu ve sonrasında elde edilen levha [7].

V. SAĞLAMLAŞTIRMANIN AVANTAJLARI

A. Üretim Zayıflatının Azalması, Kalite Artışı

Süreksizlik içeren ve blok sağlamlaştırma yapılmayan bir bloktan üretilen levhalarda kırılma ve dağılmadan kaynaklanan zayıflat oranı, % 50 bazı doğal taşlarda ise %70 civarında gerçekleşebilmektedir. Blok sağlamlaştırma ile bu zayıflatın % 80'i önlenmiş olunur [3].

Bloktan doğal taş levha üretim verimini büyük oranda etkilemeyen fakat ürün kalitesini doğrudan etkileyen diğer bir litolojik kusur doğal taşların içerdığı gözeneklerdir. Levha yüzey işlemlerini (cila honlama vb.) değersizleştirdiğinden ve kullanıldığı yerde ortam koşullarına bağlı olarak görüntü kalitesinin (doğal taşın renk ve dokusunun) daha erken yaşlarda bozulmasına neden olduğu için düşük kalite ve dolayısıyla daha düşük fiyata alıcı bulabilmektedir. Sağlamlaştırma ve gözenek dolgusu ile bu kusur ortandan kalmakta ve yüzey kalitesi artmaktadır.

B. Üretim Sürecindeki Aksaklıkların Giderilmesi

Herhangi bir blok taş işleme tesisinde süreksizlik içeren bloklar levha haline getirilirken üretim süreci esnasında birçok aksaklığa ve üretim hızının yavaşlamasına neden olur. Süreksizlik veya gözenek içeren doğal taşların üretim sürecinde kalitelerine göre sınıflandırmak oldukça güç ve üretim hızını düşürücü bir etkidir. Var olan süreksizliklerin sağlamlaştırılması ve gözeneklerin doldurulması ile bu etken ortandan kalkar ve üretilen levhaların kalite düzeyi birbirine yakın olur. Böylelikle imalat kapasitesi artar.

VI. SONUÇLAR

Hem süreksizlikler hem de gözenekler doğal yapısı gereği kayalarda düzensiz bir dağılıma sahiptirler. Bu belirsizlik, bloktan standart kalitede ve süreklilikte ürün elde edilmesi engeller. Dahası bu düzensizlik nedeniyle bir bloğun katrakta kesimi öncesi zayıflat oranını tahmin etmek mümkün değildir. Bundan sebep talepleri kısa zamanda ve programlı bir şekilde üretmek de büyük bir sorun oluşturur. Blok sağlamlaştırma ve sonrasında yüze sağlamlaştırma ile sürekli aynı kalitede standart ürünleri, programlı bir şekilde üretmek mümkün olur.

Blok sağlamlaştırma yapılmayan ve kapalı süreksizlik düzlemleri içeren bir bloktan levha üretildiğinde, süreksizlik düzlemleri boyunca ayrılma veya kırılma her zaman üretim süreci esnasında olmayabilir. Seleksiyon sürecinde zayıflat olarak değerlendirilmeyen bu levhalar nakliye sırasında kırılabilir. Yapılan sağlamlaştırma işlemi ile levhaların nakliye esnasında kırılma olasılığı ve oranı da azaltılmış olunur.

Sağlamlaştırma yapılmamış bloklardan üretilen levhalar, montaj esnasında da kolayca kırılabilir. Bu üreticinin daha sonraki satışlarını azaltacak hatta tamamen bitirebilecek kadar olumsuz bir durumdur. Yine gözenek dolgusu yapılmamış gözenekli doğal taşlar, montaj sonrası toz ve leke tutabilmektedir. Bu nedenle sağlamlaştırma, gözenek dolgusu işlemleri, satış sonrası problemleri önemli oranda azaltır, ürüne duyulan güveni artırır.

Blok ve sonrasında levha sağlamlaştırma maliyeti her ne kadar doğal taşın litolojik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak değişse de, genel olarak m² maliyetini en çok % 5 artırır. Bununla beraber sağlamlaştırma sonrası yapılan satış fiyatına en az % 20 ilave kazanç sağlar. Epoksi reçine ile süreksizlikleri sağlamlaştırılan ve gözenekleri doldurulan doğal taşlar kullanıldıkları yerlerde de servis ömürleri süresince sorunsuz bir şekilde durabil olarak kalabilmektedir. Sorunsuz ve kaliteli doğal taşlar, artan rekabet ortamında rengi ve deseni kadar müşteri memnuniyeti için de

vazgeçilmez bir unsurdur. Ayrıca inşaat sektöründeki eğilim, doğal taş bina kaplamasından dolayı bina yükünü azaltma yönündedir. Bu nedenle sağlamlaştırılarak çok daha ince kesilmiş hafif taşların, talep görme olasılığı yüksektir. Ek olarak daha ince kesim ile bir bloktan alınan taş miktarı metrekare olarak önemli oranda artar.

TEŞEKKÜRLER

Göstermiş olduğu ilgi ve desteklerinden dolayı Marmados Marble (Denizli) firmasına, bu yayının değerlendirme aşamasında önerileri ile katkılar sağlayan hakemlere ve bu organizasyonda emeği geçen tüm ekibine teşekkür ederiz.

REFERENCES

- [1] A. B. Yavuz, H. Elçi ve T. Topal “Belevi (Selçuk-İzmir) Mermerlerinin Jeolojisi ve Mühendislik Jeolojisi”, Erdoğan YÜZER Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, İstanbul, 2007.
- [2] <https://www.epoksibaktim.com/epoksi-recine-nedir-nerelerde-kullanilir/>
- [3] L. Öztekin “Mermerlerde Uygulanan Kimyasallar, Epoksi ve Polyester Uygulanmış Mermerlerde Çekme ve Eğilme Dayanım-Sıcaklık İlişkisi”. İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [4] H. Acar, H. 2004. İnka A.Ş. Teknik Malzeme Dökümanları, Ersöz Matbaası, İstanbul, 2004.
- [5] A. Sarıışık, ve S. Şentürk “Doğal Taş Tamirinde Epoksi, Polyester, Mastik Dolgulu ve Çimentolu Dolguların Uygulanma Kriterleri” , Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Emre Ofset Matbaa, Afyon, 2004.
- [6] <https://www.gurmas.com/projelerimiz/ozel-projeler/temmer-mermer-otoklavli-blok-guclendirme-sistemi/>
- [7] <http://www.marmados.com.tr/beforeafter.aspx>

Investigation of The Effect of Vermiculite (Yıldızeli/Sivas) Addition on The Properties of Ceramic Brick

Tahsin Boyraz¹, Umut Önen^{*2}, Şaban Tapık¹

^{*}: umutonen@mersin.edu.tr ORCID:0000-0003-2506-6092

¹: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sivas, Türkiye.

²: Mersin Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sivas, Türkiye.

Abstract Ceramic brick is a building material, which is made of red clay by molding and firing. Ceramic brick is one of the most common building materials and is widely used for the construction of foundations, cladding of buildings, masonry capital walls, interior partitions and furnaces. Vermiculite, a mineral in which the hydromycas group occurs naturally, becomes a high-efficiency thermal insulation material when heated above 300 °C. The expanded vermiculite can be used as a filler for heat insulating materials due to its unique properties, low bulk density, low thermal conductivity, relatively high melting point, chemical inertia, durability and environmental safety. In this study, the effects of vermiculite obtained from Yıldızeli / Sivas (Organic Mining) region on brick body properties were investigated. In accordance with this purpose; ready-made brick bodies (Çorum Brick, Çorum) %0, 10 and 20 by weight calcined vermiculite (1050 °C 1 hour) was added to formed the body compositions. Mixtures homogenized in Alumina ball mills (60 rpm, 24 hours) were shaped by uniaxial dry pressing (100 MPa). Then, the prepared pressed samples were fired at 800-1000 °C for 1 hour. Microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the porcelain bodies produced. The obtained data were presented in graphs and tables and commented. Accordingly, the properties of the vermiculite doped specimens were successfully developed and the optimum parameters were clearly shown. According to the results, it has been shown that brick properties are improved with the increase of calcined vermiculite.

Keywords—Brick; Vermiculite; Ceramic; Characterization.

I. INTRODUCTION

Due to the abundance of clay in the world and the ease, simplicity and cheapness of the brick production process, bricks have become a widely used building material. As the brick industry allows various compounds to be added during the mixing procedure, much research has been conducted to highlight the impact of additions on fired clay bricks. It is necessary to improve the thermal insulation properties of bricks for a better energy efficiency. Making pore-forming additions in the brick production process is one of these methods. Different pore-forming materials that act by thermal decomposition and volatilization (e.g. wood sawdust, polystyrene, organic residues, coal dust, powder limestone, papermaking sludge) and heat-resistant porous materials

(e.g. pumice, diatomite and perlite) in brick body have been widely used. Vermiculite is a material that can be used as a pore former in this sense [1-14].

The name “vermiculite” is derived from the Latin – vermicularis (wormlike) on account of the curved, elongate and twisted columns produced when the crystals are suddenly exposed to high temperature. Vermiculite is a mica-like mineral with a shiny flake which is one member of the phyllosilicate group. Vermiculite expands when heated to 650–950 °C. The expansion process is known as exfoliation. When vermiculite heated, it expands, like “popcorn”, by approximately 8–30 times its original size and conveys into a loose, lightweight fragments which separated by air entrainment. Vermiculite is a naturally occurring group of hydrated Al/Fe/Mg silicates (mica-like) mineral with a laminate structure with light brown/grey/gold in color. Moreover, vermiculite is a very versatile mineral and it has remarkable properties such as low-density, odor-free, inertness, ease of handling, low thermal coefficient, good acoustic and thermal insulation, absorption capacity, non-combustion material, refractory nature, and is also fire resistant. It is a pebble-like material ranging in size from 210 mm in diameter that mined, pulverized and heated to above 300°C in order to exfoliate or expand in size. The majority of applications call for vermiculite in its exfoliated form. Low density and thermal conductivity, as well as a high melting temperature, make vermiculite a promising material for use as a filler in producing heat insulating refractory materials. Vermiculite material primarily comprises of SiO₂ (37–42 wt%), MgO (14–12), Al₂O₃ (10–13), Fe₂O₃ (5–17), H₂O (8–18) and FeO (1–3). Given the results of the studies, vermiculite's use as a building material seems to be a possibility. It can also be used as an aggregate in lightweight concrete and plaster because of its excellent thermal, fire, and sound insulation properties. According to Ngayakamo and Park, Kalalani vermiculite may be used to make high-strength porcelain insulators as a raw material [1,15-19].

The present paper is focused on brick and vermiculite added brick samples. Then, the effect of vermiculite additive on the properties of brick was investigated. The data obtained were presented in graphs and tables and their results were commented.

II. MATERIALS AND METHODS

In this study, the effects of vermiculite obtained from Yıldızeli / Sivas (Organic Mining) region on brick body properties were investigated. In accordance with this purpose; ready-made brick bodies (Çorum Brick, Çorum) %0, 10 and 20 by weight calcined vermiculite was added to formed the body compositions. Raw vermiculite obtained from Organic Mining in Yıldızeli / Sivas region was calcined in an electric furnace at 1050 °C for 1 hour. ready-made brick bodies were dried and turned into powder. XRF (Thermo ARL) analyzes of raw materials are given in Table 1. 0, 10 and 20% by weight of calcined vermiculite added brick mixtures were homogenized by wet mixing at 60 rpm rotation speed for 24 hours in alumina ball mills. The samples were coded as B20V1000 (B: Brick; 20V: 20% vermiculite addition and 1000: 1000 °C firing temperature). The mixtures that were homogenized in alumina ball mills (60 rpm, 24 hours) were dried in the oven and formed into 10x30x70 mm dimensions under 100 MPa pressure by uniaxial dry pressing. Then, the prepared pressed samples were fired at 800 °C, 900 °C and 1000 °C for 1 hour. The microstructure (SEM), phase analysis (XRD), thermal test (DTA/TG), mechanical (3-point bending strength) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity, density and color analysis) tests of the produced brick samples were made.

The % shrinkage of the sintered samples was measured and calculated using a digital calliper. Density, porosity and water absorption tests were also calculated according to Archimedes's principle (ASTMC373-88). The 3-point bending strength tests of the samples were performed on a mechanical tester with a load sensitivity of 1 N and a power of 5 kN. Five measurements were made for each sample and average results were accepted as the strength values of the samples. DTA / TG analysis of samples up to 1100 °C temperature was performed using 10 °C / min heating rate to determine the reactions occurring in the body. Color analysis of the samples were evaluated under visible light with the naked eye. Considering the increasing additive ratios and firing temperatures, the changes in colors have been identified as increasing / decreasing darkening and color differences. The samples were analyzed by X-ray analysis in the range of 4° to 70° 2-theta using Panalytical X'Pert Powder X-ray diffraction (XRD) Analyzer. The phase analysis of the XRD patterns was determined using the Pananalytical X'Pert High Score program. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrum (EDX) analysis of the samples were also performed with Mira3XMU FE-SEM (Tescan, Czech Republic). The data obtained were presented in graphs and tables and their comments were made.

TABLE I
THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE RAW, CALCINED VERMICULITE AND BRICK POWDERS.

%w	Raw vermiculite	Calcined vermiculite	Brick
SiO ₂	36,9	40,61	46,60
Al ₂ O ₃	17,7	19,48	15,30
TiO ₂	2,18	2,4	1,10
Fe ₂ O ₃	11,2	12,31	10,17
CaO	3,54	3,9	7,35
MgO	16,4	18,05	6,54
Na ₂ O	0,15	0,17	1,21
K ₂ O	2,64	2,91	2,59
MnO	0,15	0,17	-
LOI	9,14	-	9,21

III. RESULTS AND DISCUSSION

Specified to sintered samples; Physical Tests (total shrinkage, porosity, density, color and water absorption tests), thermal test (DTA/TG), mechanical tests (hardness and 3- point bending), scanning electron microscopy (SEM) for EDX analysis and XRD for phase analysis. Measurements and calculations were made with 3-5 replicates, and their arithmetic averages were obtained.

DTA / TG graph of the brick sample shown in Figure 1, it is seen that free water has moved away in the temperature range of 25-200 °C. The loss measured in this temperature range is about 1% by weight. Hygroscopic water flows away from the body in the range of 200-400 °C, and the loss was measured as 1% by weight. The loss seen in the TG curve in the 400-600 °C range is due to the loss of crystal water by the clay and kaolins in the sample, respectively, and the weight loss

was measured at 3% in this range. Approximately 6% weight loss observed as a different stage after 600 °C in the TG curve and continuing up to 800 °C is due to the deterioration of carbonates [21]. An endothermic reaction is also observed in the DTA curve at 800-850 and supports this deterioration. In total, there was 11% weight loss in the sample. The reason for the exothermic peak seen in the DTA curve in 900-950 s is due to the formation of a phase. Based on the post-firing XRD data, it can be said that this phase is the Anorthite phase.

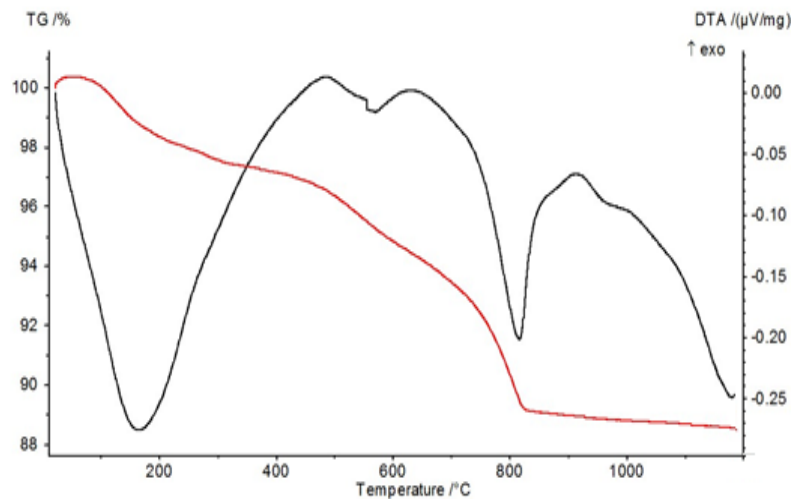


Fig. 1. DTA-TG curve of the brick body used in experimental studies.

The results of physical measurements (water absorption, bulk density, porosity and shrinkage) are given in Table 2, and also shown between Figure 2-6. The results were indicated an increase in bulk density, shrinkage and bending strength values with increasing sintering temperature. Porosity and water absorption values decreased with increasing sintering temperature. These increases and decreases were occurred in vermiculite added samples too.

Referring to the graph of Figure 3, the increase in vermiculite addition and sintering temperature on tile samples increased by % shrinkage on the samples. The average shrinkage in B00V800 samples was 5,51%, while the average shrinkage in B00V1000 samples was measured as 6,52%. Similarly, the mean shrinkage of B20V800 samples was 5,62%, and the mean shrinkage of B20V1000 samples was 7,75%. The average water absorption in B00V800 samples was 25,06%, the porosity was 39,87%, the density was 1,55 g / cm³ and bending strength 9,19 Mpa, while the average water absorption in B00V1000 samples was 23,48%, the porosity was 37,59%, the density was 1,61 g / cm³ and bending strength 14,15 Mpa. In vermiculite added brick compositions, the average water absorption in the B20V800 sample was 20,44%, the porosity was 35,52%, the density was 1,61 g / cm³ and bending strength 9,51 Mpa., while the average water absorption in the B20V1000 sample was 7,01%, the porosity was 12,35%, the density was 2.19 g / cm³ and bending strength 15,96 Mpa.

TABLE II
PHYSICAL TEST RESULTS OF BRICK AND VERMICULITE ADDED BRICK SAMPLES.

Samples	Water Absorption	Bulk density	Porosity	Shrinkage	Bending Strength
	%	gr/cm ³	%	%	Mpa
B00V800	25,06	1,55	39,87	5,51	9,19
B00V900	24,29	1,58	38,45	6,02	10,52
B00V1000	23,48	1,61	37,59	6,52	14,15
B10V800	24,04	1,59	36,52	5,55	9,24
B10V900	23,61	1,60	35,01	6,41	11,02
B10V1000	22,40	1,62	33,56	7,35	14,83
B20V800	20,44	1,61	35,52	5,62	9,51
B20V900	19,89	1,62	33,52	6,82	11,25
B20V1000	19,63	1,63	30,02	7,75	15,96

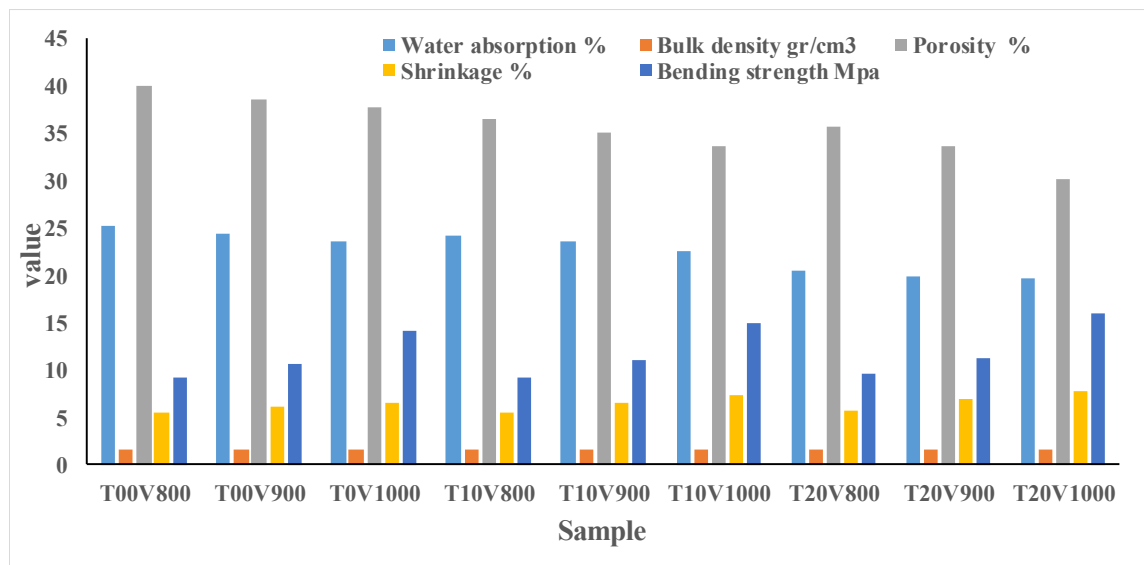
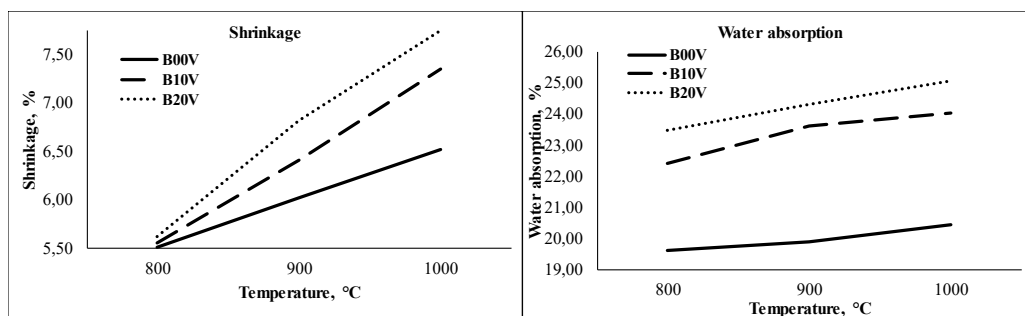


Fig. 2. Physical test results graph of brick and vermiculite added brick samples.



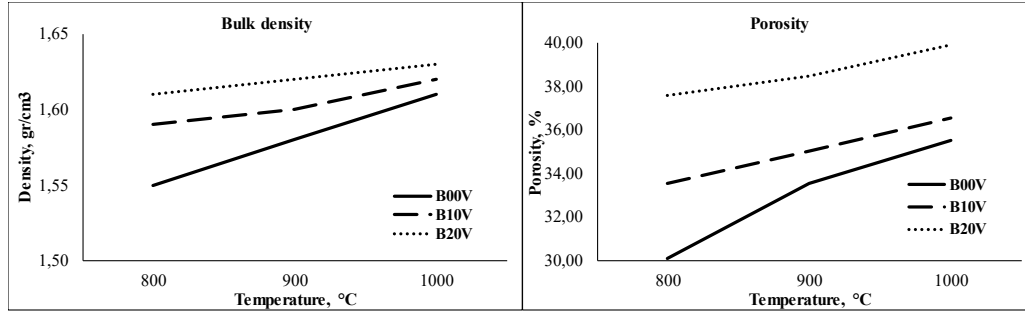


Fig. 3. Shrinkage, Water absorption, Bulk density and Porosity graph of brick and vermiculite added brick samples.

Figure 4 shows that when the amount of vermiculite and the sintering temperature in the brick samples increase, the fracture strength of the samples increases. The average fracture strength in the B00V800 sample was 9,19 MPa, while the average fracture strength in the B00V1000 sample was 14,15 MPa. Similarly, in vermiculite doped compositions, the average fracture strength in the B20V800 sample was 9,51 MPa, while the average fracture strength in the B20V1000 sample was 15,96 MPa.

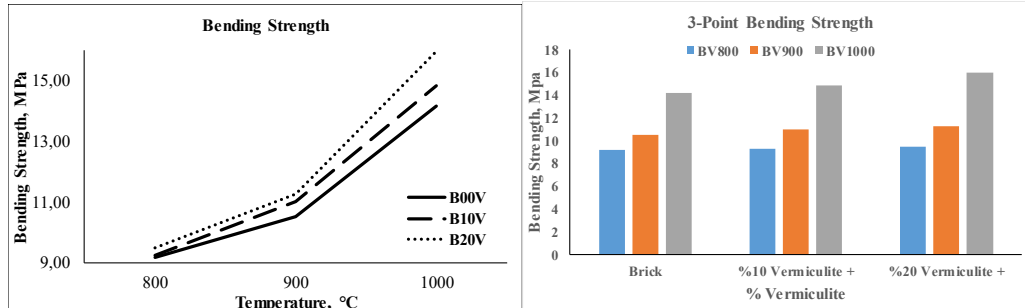


Fig. 4. 3-point bending strength graph of brick samples.

When the color analysis results of the samples are examined in Figure 5, the brownish color increased from light to dark with increasing vermiculite. Similarly, the color became darker with the increase of sintering temperature.

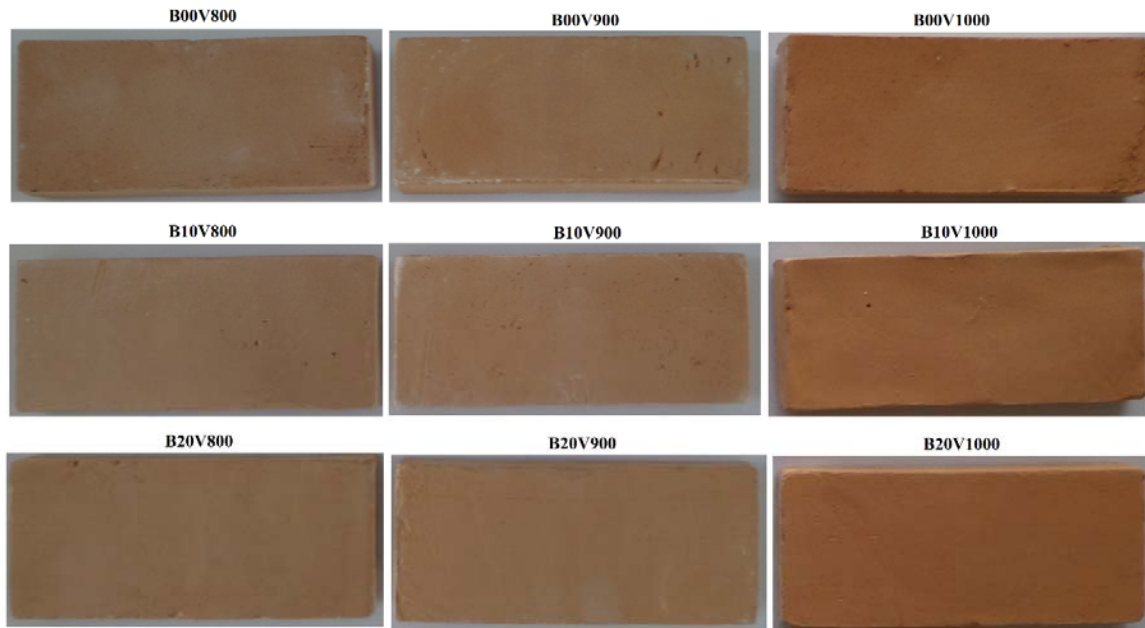


Fig. 5. Macro images of non-additive and vermiculite additive brick samples.

Brick samples determined for Freeze-Thaw Test were saturated with water and placed in the freezer. When the freezer temperature was controlled and decreased to -20°C , it was kept at -20°C for an average of 2 hours. Then, the samples were taken from the freezer and placed in water at a temperature of $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ in the water and kept there for at least 2 hours and the defrosting process was performed. Then the samples were placed in the freezer again, brought to -20°C and cooled again. With this method, the freezing and thawing process was repeated 30 times and the visible changes in the brick samples were recorded each time. The results obtained are given in Table 3.

TABLE III
FREEZING TEST RESULTS OF BRICK SAMPLES.

	800°C			900°C			1000°C		
Number of cycles	0	10	20	0	10	20	0	10	20
1	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6	√	√	1	√	√	√	√	√	√
7	√	√	1	√	√	√	√	√	√
8	√	√	1	√	√	√	√	√	√
9	√	√	1	√	√	√	√	√	√
10	√	√	2	√	√	0	√	√	√
11	√	√	2	√	√	0	√	√	√
12	√	√	2	√	√	0	√	√	√
13	1	√	3	√	√	0	√	√	√
14	1	√	3	√	√	0	√	√	√
15	1	√	3	√	√	1	√	√	√
16	5	√	4	√	√	1	√	√	√
17	5	√	4	√	√	1	√	√	√
18	5	√	4	√	√	1	√	√	√
19	5	√	4	√	√	1	√	√	√
20	5	√	4	√	√	1	√	√	√
21	6	√	6	√	√	3	√	√	√
22	6	√	6	√	√	3	√	√	√
23	6	√	6	√	√	3	√	√	√
24	6	√	6	√	√	3	√	√	√
25	6	√	6	√	√	3	√	√	√
26	6	√	6	√	√	3	√	√	√
27	6	√	6	√	√	3	√	√	√
28	6	√	6	√	√	3	√	√	√
29	6	√	6	√	√	3	√	√	√
30	6	√	6	√	√	3	√	√	√

√: good sample
 0: small breaks
 1: 20% surface loss
 2: 80% surface loss
 3: 100% surface loss
 4: 20% volumetric loss
 5: Crack formation
 6: Deformation and fragmentation

Until the first 5 cycles, no change was observed in samples with 0,10 and 20 additives and fired samples at 800, 900, 1000. After the 5th cycle, it was determined that pieces of nail size were broken from the surface of the samples with 20% additive and sintered at 800 ° C. On the other hand, no deformation was found in the samples with no additives and with 10% additives. After the 9th cycle, the surfaces of the samples with 20% doping and sintered at 800 ° C were deformed approximately 80%. In the samples with 20% additive and sintered at 900 ° C, it has been determined that fingernail-sized pieces are broken. No deformation was found in the samples with 0% and 10% additives. After the 12th cycle, the surface of the samples with 20% additive and

sintered at 800 ° C is completely were eroded and deformed. It has been observed that pieces of nail size have broken off from the surfaces of samples with 0% doping and sintered at 800 ° C. No deformation was found in the samples with 10% additive. After the 15th cycle, it was determined that cracks were formed in the B00V800 samples. The surfaces of the B20V800 samples are completely deformed. It has been observed that pieces of nail size from the surfaces of the B20V900 samples were torn off. Crack propagation increased in B00V800 samples were completely deformed and dispersed. No deformation was observed in the B10V800, B00V900, B10V900, B00V1000, B10V1000 AND B20V1000 samples.

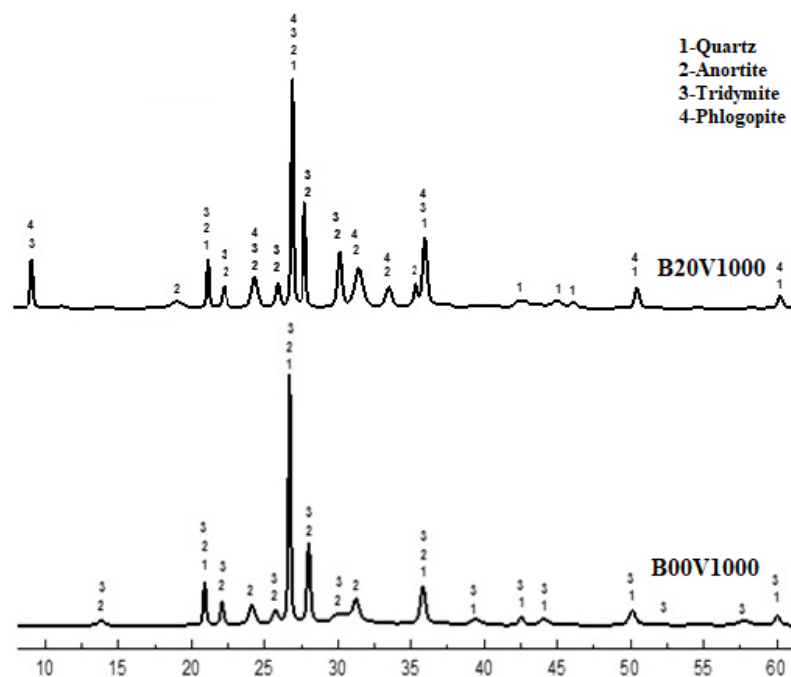


Fig. 6. XRD patterns of undoped and %20 vermiculite added brick samples sintered at 1000 °C.

Figure 6 shows the XRD pattern of undoped (B00V1000) and vermiculite-added brick (B20V1000) samples sintered at 1000 °C. After firing, quartz, (96-900-0363) anorthite and (96-901-3394) tridymite phases were detected in samples coded B00V1000 without additives (96-900-9667). It was observed that the apparent peaks and intensities of the anorthite and tridymite phases increased with the increase in firing temperature. Quartz, Anorthite, Tridymite and Phlogopite phases were detected in the sample coded B20V1000 with the increase of firing temperature and an increase in the peak intensities of crystallized anorthite and tridymite phases in the material.

Figure 7. shows the SEM microstructure photographs of undoped and %20 vermiculite additive brick samples sintered at 800 °C and 1000 °C. Figure 8 shows EDX analyses of %20 vermiculite additive brick sample sintered at 1000°C. It is seen in direct proportion that the pores decrease with the increase of firing temperature in the samples. It was determined in SEM images that the micro pores in the structure reduced with increasing temperature and increasing vermiculite contribution. The evaluation of EDX analysis results on the B20V1000 sample in Figure 8 was performed according to the general A and B, C regional results. The results of the general(A) field

survey are consistent with the XRF data. Points B and C are consistent with the XRD pattern results of the sample. Point B indicates the presence of quartz and point C the presence of the Phlogopite phase.

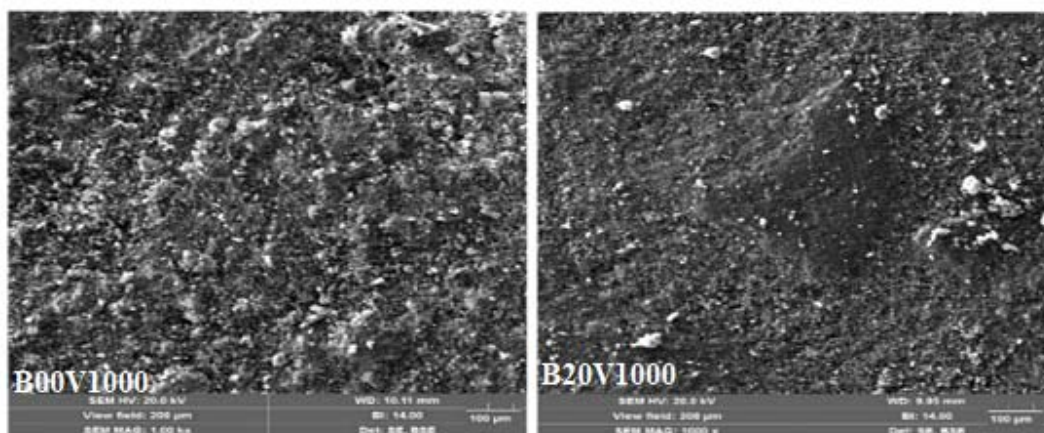


Fig. 7. SEM images of non-additive and %20 vermiculite additive brick samples sintered 1000°C.

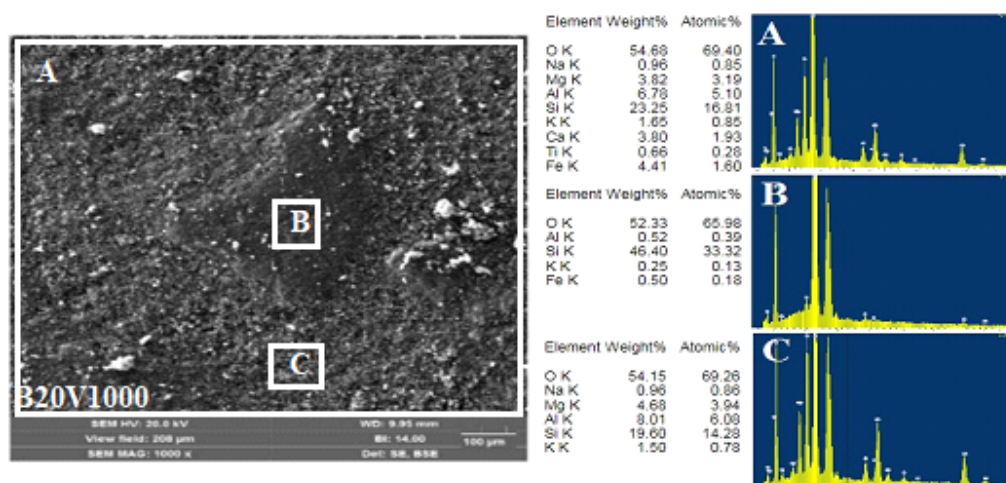


Fig. 8. EDX analyses of %20 Vermiculite additive brick samples sintered at 1000°C.

IV. CONCLUSION

In this study, utilisation of vermiculite in the manufacturing of brick was investigated, and beneficial outcomes were achieved.

DTA/TG graph of the brick sample; removal of free water at 25-200 °C, hygroscopic water at 200-400 °C, crystal water at 400-600 °C, the deterioration of carbonates at 600 - 800 °C and the formation Anorthite phase at 900-950°C. The results of physical measurements; to become increased in bulk density, shrinkage and bending strength values with increasing sintering temperature but porosity and water absorption values decreased. These increases and decreases were occurred in vermiculite added samples too. The brownish colour of sintered samples increased from light to dark with increasing vermiculite and sintering temperatures. While some

samples were in good condition, some had small ruptures, loss of surface and volume, crack formation, deformation and fragmentation. The XRD pattern of undoped and vermiculite-added bricks, sintered at 1000 °C, determined the Quartz, Anorthite, Tridymite and Phlogopite phases. It was observed that the apparent peaks and intensities of the anorthite and tridymite phases increased with the increase in firing temperature. SEM pictures showing micropores have decreased in the structure with increased temperatures and vermiculite. The EDX testing results were evaluated on the B20V1000 sample based on the geographic results A and B and C. The General (A) field survey results are in line with the XRF data. Points B and C are consistent with the XRD pattern results of the sample. Point B indicates the presence of quartz and point C the presence of the Phlogopite phase.

REFERENCES

- [1] Mücahit Sütçü, Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks, *Ceramics International*, Volume 41, Issue 2, Part B, 2015, Pages 2819-2827,
- [2] P. Muñoz Velasco, M.P. Morales Ortíz, M.A. Mendivil Giró, L. Muñoz Velasco, Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review, *Construction and Building Materials*, Volume 63, 2014, Pages 97-107,
- [3] Zipeng Zhang, Yat Choy Wong, Arul Arulrajah, Suksun Horpibulsuk, A review of studies on bricks using alternative materials and approaches, *Construction and Building Materials*, Volume 188, 2018, Pages 1101-1118,
- [4] Sergio Neves Monteiro, Carlos Maurício Fontes Vieira, On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update, *Construction and Building Materials*, Volume 68, 2014, Pages 599-610,
- [5] P. Muñoz V., M.P. Morales O., V. Letelier G., M.A. Mendivil G., Fired clay bricks made by adding wastes: Assessment of the impact on physical, mechanical and thermal properties, *Construction and Building Materials*, Volume 125, 2016, Pages 241-252,
- [6] Lianyang Zhang, Production of bricks from waste materials – A review, *Construction and Building Materials*, Volume 47, 2013, Pages 643-655,
- [7] Effting C., Güths S., Alarcon O. E., Evaluation of the Thermal Comfort of Ceramic Bricks, *Materials Research*, Vol. 10, No. 3, 301-307, 2007
- [8] Laila Aouba, Cécile Bories, Marie Coutand, Bernard Perrin, Hervé Lemercier, Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: Cases of Olive Stone Flour and Wheat Straw residues, *Construction and Building Materials*, Volume 102, Part 1, 2016, Pages 7-13.
- [9] P. Muñoz, V. Letelier, M.A. Bustamante, J. Marcos-Ortega, J.G. Sepúlveda, Assessment of mechanical, thermal, mineral and physical properties of fired clay brick made by mixing kaolinitic red clay and paper pulp residues, *Applied Clay Science*, Volume 198, 2020, 105847,
- [10] Noor Amira Sarani, Aeslina Abdul Kadir, Ahmad Shayuti Abdul Rahim, Abbas Mohajerani, Properties and environmental impact of the mosaic sludge incorporated into fired clay bricks, *Construction and Building Materials*, Volume 183, 2018, Pages 300-310,
- [11] Maryam Achik, Hayat Benmoussa, Abdellah Oulmekki, Mustapha Ijjaali, Noureddine El Moudden, Abdelhamid Touache, Gil Gonzalez Álvaro, Francisco Guitián Rivera, Antonia Infantes-Molina, Dolores Eliche-Quesada, Olga Kizinievic, Evaluation of technological properties of fired clay bricks containing pyrrhotite ash, *Construction and Building Materials*,

Volume 269, 2021, 121312,

- [12] S. Elavarasan, A.K. Priya, V. Kavın Kumar, Manufacturing fired clay brick using fly ash and M-Sand, *Materials Today: Proceedings*, Volume 37, Part 2, 2021, Pages 872-876,
- [13] MÜCAHİT SÜTÇÜ, HANDE ALPTEKİN, ERTUĞRUL ERDOĞMUS, YUSUF ER, OSMAN GENÇEL, Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials, *Construction and Building Materials*, Volume 82, 2015, Pages 1-8,
- [14] Nonthaphong Phonphuak, Chiawchan Saengthong, Anuwat Srisuwan, Physical and mechanical properties of fired clay bricks with rice husk waste addition as construction materials, *Materials Today: Proceedings*, Volume 17, Part 4, 2019, Pages 1668-1674,
- [15] Suvorov, S. A., Skurikhin, V. V., Vermiculite-a promising material for high temperature heat insulators, *Refractories and industrial ceramics*, 44(3), 186-193, 2003.
- [16] Rashad, A. M., Vermiculite as a construction material-A short guide for Civil Engineer, *Construction and Building Materials*, 125, 53-62, 2016
- [17] Ngayakamo, B., Park, S., Evaluation of Kalalani Vermiculite for Production of High Strength Porcelain Insulators, *Science of Sintering*, 51(2), 2019
- [18] Suvorov, S. A., Skurikhin, V. V. (2002). High-Temperature Heat-Insulating Materials Based on Vermiculite. *Refractories and Industrial Ceramics*, 43 (11-12), 383-389.
- [19] Spirina, V. S., Flerova, M. I. (1975). Expanded vermiculite as heat insulation material. *Refractories*, 16 (3-4), 201-203.
- [20] Boyraz T., Farklı Yöntemlerle Şekillendirilmiş CaO/MgO Katkılı Stabilize Edilmiş ZrO₂ Esaslı Seramiklerin Fiziksel ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011
- [21] Djangang C. N., Elimbi A., Melo U. C., Nkoumbou C., Lecomte G., Yvon J., Njopwouo D. Characteristics and ceramic properties of clays from Mayoum deposit (West Cameroon), *Industrial ceramics*, 27(2), 79-88, 2007
- [22] Tapık Ş., Önen U., Boyraz t., Investigation of The Effect of Vermiculite (Yıldızeli/Sivas) Addition on The Properties of Ceramic Porcelain, *AKU J. Sci. Eng.* 19(3), 513-520, 2019
- [23] Poyato J., Perez-Maqueda L. A., De Haro M. J., Perez-Rodriguez J. L., Šubrt J., Balek V. Effect of Na⁺ and NH⁴⁺ cations on microstructure changes of natural vermiculite during heat treatment, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 67(1), 73-82, 2002

CFD Study for NO_x Formation in Turbulent Jet Flames with Syngas Fuel

Suat Öztürk

suatozturk@beun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8147-9943

Department of Electronic and Automation, Zonguldak Vocational School, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

Abstract The pollutants produced by the combustion of hydrocarbon fuels for energy continue to be a crucial environmental issue. The pollutant restrictions put on by countries oblige to the exploration of the new fuels emitting lesser hazardous pollutants during the combustion process. Syngas is the one of fuels coming to the forefront and mostly consists of hydrogen and carbon monoxide. Syngas fuels can be derived from biomass, wastes, and coal. The production of syngas with recycling processes is the other advantage of using syngas fuels in energy systems. Research on the emissions and the combustion characteristics of syngas are carried out for premixed, non-premixed, and partially premixed cases under several conditions. In this study, NO_x emission of syngas/air non-premixed jet flames under turbulent and non-adiabatic conditions are numerically investigated. It is also determined the effects of different Reynolds number, reactant inlet temperature, pressure, humidity ratio, and wall temperature on NO_x emitted from the combustion of syngas fuel. The numerical analyses for syngas combustion are performed using the computational fluid dynamics codes of ANSYS. The composition of syngas fuel derived from coal are 62.15% H₂, 26.31% CO, 2.81% CO₂, 1.81% N₂, and 6.93% CH₄. The results show that NO_x emission is reduced with increasing Reynolds number. Moreover, as Reynold number is fixed to 5000, NO_x increases with ascending pressure, but it decreases with increasing humidity in air. The rising inlet temperatures of both fuel and air also raise NO_x emission. In addition, the augmenting wall temperature of the combustor also causes NO_x to increase.

Keywords: CFD, Syngas, Combustion, Emissions, NO_x

I. INTRODUCTION

One of the main procedures for energy production is the combustion of fossil fuels. The harmful emissions as NO_x, SO_x, and VOC's of fossil fuels used in power generation systems have begun to become more significant due to environmental concerns nowadays. The new emission regulations put forward syngas fuels including hydrogen highly as a potential eco-friendly alternative to fossil fuels used in industrial, transportation, and residential sectors [1-3].

Syngas mostly consists of H₂ and CO, but it can also include minor rates of CO₂, CH₄, N₂ and H₂O because it is derived from biomass as coal, wood, wasted tires, etc. Generally, the fuels with high hydrogen content emit lower pollutant emissions at the end of combustion. Syngas presents better performance in flame propagation speed, flame stability, and NO_x emission with respect to other hydrocarbon fuels through combustion process [4].

NO_x usually stands for NO because it consists of highly nitrogen oxide (NO) and lower nitrogen

dioxide (NO₂). NO is a precursor for acid rains and damages ozone as NO₂ has a toxic effect and causes smog. The formation mechanisms of NO through combustion are thermal NO mechanism including $N_2 + O \leftrightarrow NO + N$, $N + O_2 \leftrightarrow NO + O$, and $N + OH \leftrightarrow NO + H$ reactions defined by Zeldovich at high temperatures, prompt NO mechanism with the reactions of CH radicals and N₂ in fuel rich conditions, nitrous oxide and NNH mechanisms for fuel NO resulting from the oxidation of nitrogen and nitrogen's compounds in fuel [5, 6].

The main interest of syngas studies in literature focus on the scaling and abatement of nitrogen oxides (NO_x) under different conditions. Gas temperature, NO and CO₂ emissions of syngas fuel are lower, but its CO emission is higher with respect to natural gas or methane fuel [1, 3]. The extinction stretch rate increased with the increase in hydrogen rate of syngas fuel decreases NO_x and the maximum temperature and NO_x increases with pressure and initial temperature [4]. The increased pressure lowers NO concentration, but it increases NO₂ due to pressure dependence conversion of NO to NO₂. Hydrocarbons in syngas fuels can cause NO_x to increase due to prompt NO formation [5]. The NO_x emission of syngas fuel combustion has the same trend as that of the combustor maximum temperature and increasing CO proportion in the syngas increases CO emission [7]. NO_x, CO and VOC's emissions of syngas combustion are generally lower than emissions of other fuels of conventional systems and NO_x can be reduced by techniques such as air staging, fuel staging (reburning) and flue gas recirculation [8]. The increasing H₂ presence with respect to CO in syngas rises the flame stability and lowers the operation temperature of combustor, CO and thermal NO_x [9, 10]. Both increased Reynolds number and CO rate in syngas fuel cause flame residence time to decrease and reduces NO_x emission [11]. The peak gas temperature for syngas fuel in combustor is lower than that of conventional fossil gas fuel and the higher lower heating value for syngas increases NO emission at the combustor exit [12].

In this study, NO_x emission of syngas fuel combustion under turbulent, non-premixed and non-adiabatic conditions are numerically investigated under the effects of several Reynolds number, wall temperature, humidity ratio of burning air, inlet pressure and temperatures by ANSYS codes.

II. MATHEMATICAL FORMULAS

The computational fluid dynamics (CFD) application for syngas and air combustion includes the calculations of heat and mass transfer, chemical species concentration, flow, and thermal radiation equations defining the combustion phenomenon with finite rates chemical reactions.

Mass Conservation

The continuity equation at cylindrical coordinates is written by

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v) + \frac{\rho v}{r} = 0 \quad (1)$$

where ρ , u , v , x and r are the specific mass of the mixture, time average velocities, and the axial and radial coordinates, respectively.

Conservation of Momentum

The axial and radial flow equations are given by

$$u \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + v \frac{\partial}{\partial r} (\rho u) = -\frac{\partial p^*}{\partial x} + \nabla \cdot ((\mu + \mu_t) \nabla u) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_t \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mu_t \frac{\partial v}{\partial x}) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial}{\partial x} (\rho v) + v \frac{\partial}{\partial r} (\rho v) = -\frac{\partial p^*}{\partial r} + \nabla \cdot ((\mu + \mu_t) \nabla v) + \frac{\partial}{\partial x} \left(r \mu_t \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_t \frac{\partial v}{\partial r} \right) - \frac{(\mu + \mu_t)v}{r^2} + \frac{\rho w^2}{r} \quad (3)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \text{ and } p^* = p - \left(\frac{2}{3} \right) k \quad (4)$$

where mixture dynamic and turbulent viscosity are μ and μ_t , the time averaged and modified pressures are p and p^* , and an empirical constant for the turbulent model, the turbulent kinetic energy and its dissipation are c_μ , k and ε are respectively.

The k - ω Turbulent Model

The turbulent kinetic energy (k) and specific dissipation rate (ω) where the generation of turbulent kinetic energy, the generation of ω are G_k and G_ω , the effective diffusivity of k and ω are Γ_k and Γ_ω , the dissipation of k and ω are Y_k and Y_ω , and the user defined source terms are S_k and S_ω is given by

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (6)$$

Energy Conservation

The energy equation is given by

$$u \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) + v \frac{\partial}{\partial r} (\rho h) = \nabla \cdot \left(\left(\frac{k}{c_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + S_{rad} + S_{rea} \quad (7)$$

$$c_p = \sum_x f_x c_{p,x} \quad (8)$$

$$S_{rea} = \sum_x \left(\frac{h_x^0}{MM_x} + \int_{T_{ref,x}}^T c_{p,x} dT \right) R_x \quad (9)$$

$$S_{rad} = \frac{1}{A_k} \left(\sum_{\gamma=1}^{\Gamma} g_\gamma S_k \sigma T_\gamma^4 + \sum_{j=1}^J S_j S_k q_{o,j} \right) - q_{o,k} \quad (10)$$

where the average enthalpy and specific heat are h and c_p , specific heat, average mass fraction of

x -th chemical specie, turbulent Prandtl number, and thermal conductivity of mixture are $c_{p,x}$, f_x , P_{rt} and K , the sources of thermal energy causing by chemical reactions and radiative transfer are S_{rea} and S_{rad} , surface area is A_k , Stefan-Boltzman constant is σ , and the directed-flux areas are g_γ , s_k , s_j and s_k .

III. METHODS

CFD software is to be used by researchers for solving the problems of heat and mass transfer, fluid mechanics, reactions, combustion phenomenon. Fluid Flow (Fluent) CFD codes of ANSYS Analysis System is utilized for calculating numerically the combustion parameters as emissions, temperatures, flame structures, fractions etc. during combustion process of fuels in this study. The equations of problem defined by different mathematical models for laminar/turbulent, adiabatic/non-adiabatic, premixed/non-premixed/partially premixed events are solved and analysed by Fluent under boundary conditions, solution methods and controls assigned on the meshed geometry of a system.

The 2D model of the combustor is preferred because it simplifies and accelerates the solution calculations of syngas fuel combustion. The k - ω turbulence model is selected owing to the excessive residual fluctuations encountered in k - ϵ model. The other model and properties selected from Fluent Setup are as follows: Energy-On, Viscous Model- k - ω , Near Wall Treatment-Standard Wall Functions, Radiation Model-P1, Species Model-Non-Premixed Combustion, NO_x Model-On. The compositions of syngas fuel and air for the complete combustion, inlet temperature, pressure, and flow rates are entered under Fuel and Oxide at Boundary tab of PDF Table. The dimensions of 2D combustor is illustrated in Fig. 1.

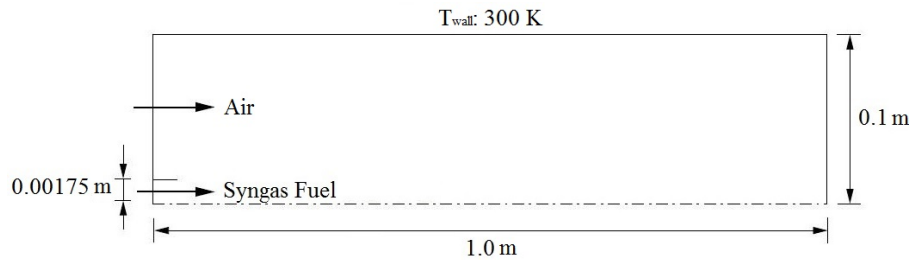


Fig. 1. The dimensions of the combustor.

The experimental data published by Hwang et al. [11] for the combustion of syngas fuel (75% H_2 , 25% CO) is used for both the sensitivity analysis and validation. The onset humidity ratio of the burning air is 1%. The global equivalence ratio (Φ_G) is 0.5 at all the calculations. The diameter of the fuel nozzle and the dimensions of the combustor used in the experiment are 0.35 cm and 20x20x80 cm. It is assumed that it is placed at 100 cm for the numerical calculations because the non-sampling NO_x sensor is installed on the exhaust pipe, but not 80 cm at the end of the combustor in the experimental study. NO_x values are reported as the residuals of continuity, velocities, energy, etc. reach to 1.10^6 in non-converged solutions. The properties of each fuel composition used to calculate the velocities and other parameters are shown in Table I.

TABLE I
PROPERTIES OF H₂/CO AND H₂/CO/CO₂/N₂/CH₄ SYNGAS FUELS (300 K, 1 BAR)

	H ₂ /CO	H ₂ /CO/CO ₂ /N ₂ /CH ₄
Parameter	75/25	62.15/26.31/2.81/1.81/6.93
ρ_f (kg/m ³)	0.346	0.4604
μ_f (μPa.s)	15.3	11.8
\dot{m}_f (kg/s)	0.00021	0.00016
\dot{m}_a (kg/s)	0.00169	0.00131

It is decided to use the mesh with quadrilateral dominant method consisting of 86320 nodes and 84922 elements for fast solutions, less time wasting and minimum energy consumption after the mesh sensitivity analysis given in Fig. 2. The wall (and axis of symmetry), the air and fuel inlet edges include 1300, 120, and 50 numbers of divisions, respectively.

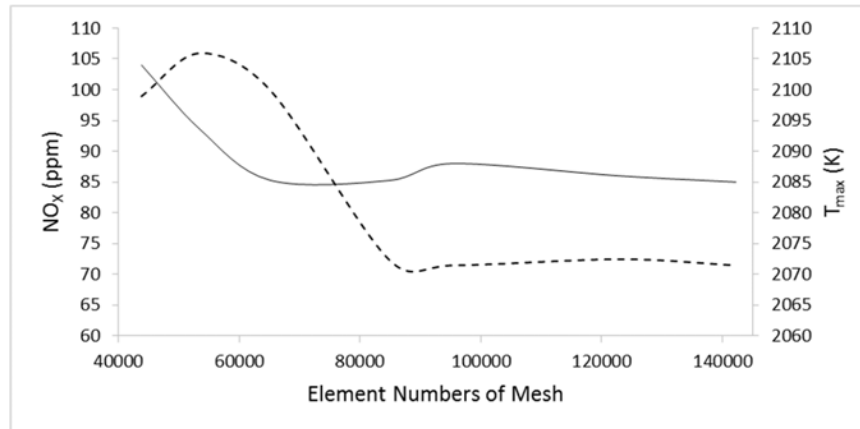


Fig. 2. NO_x and T_{max} with element numbers of mesh for the sensitivity analysis.

The validation of the numerical data computed by ANSYS for syngas fuel [11] is presented in Fig. 3. It is seen that the experimental and numerical values are in a good accordance except for higher Reynold numbers than 11000. The percentage differences between the experimental and numerical data at 11250 and 12500 of Re is 10.4% and 13.6% respectively.

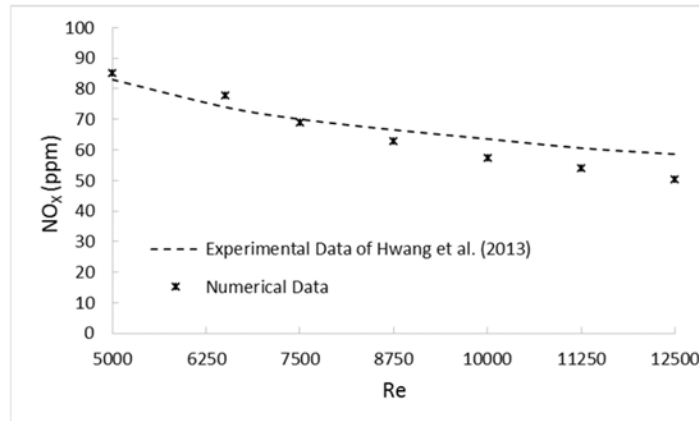


Fig. 3. Comparison of the experimental and numerical data for the validation.

The next calculations for NO_x emissions in this study are carried out for the coal based syngas fuel consisting of 62.15% H_2 , 26.31% CO , 2.81% CO_2 , 1.81% N_2 , and 6.93% CH_4 in volume [13].

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The effect of Reynolds number on NO_x emissions of the combustion of syngas fuel derived from coal is given in Fig. 4. The rising Reynolds number decreases NO_x emission because it lowers the residence time with increasing exit velocities and flame length [11]. It is thought that CH_4 content in syngas increase NO_x emission because the reactions of NNH with extra H atoms coming from CH_4 and the oxidation of N_2 in fuel produce fuel NO_x . In addition, CH_4 presence increases the formation of CH radicals that can cause a trace of prompt NO_x to be formed with the initial reactions of $\text{CH} + \text{N}_2 \leftrightarrow \text{HCN} + \text{N}$ followed by the oxidation of HCN and N [5].

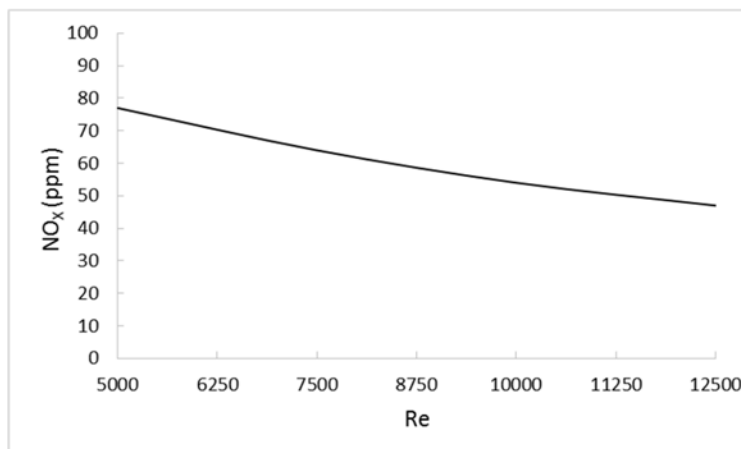


Fig. 4. NO_x emission with increasing Reynolds number.

Reynolds number is fixed at 5000 in the numerical calculations of syngas fuel/air combustion to determine the effects of pressure, humidity ratio, reactant inlet and wall temperatures on NO_x emission. The effect of pressure on NO_x is illustrated in Fig. 5. The increase in pressure between

1 and 7 bar causes NO_x emission to increase. The pressure increases the mass densities of the air and syngas fuel gases with the compression effect and the increase in the mass densities augment both the reaction temperature and thermal NO_x in total. The lowering increment rate of NO_x with pressure could be due to some pressure dependence reactions as conversions of NO to NO_2 , O_2 , N_2 , etc.

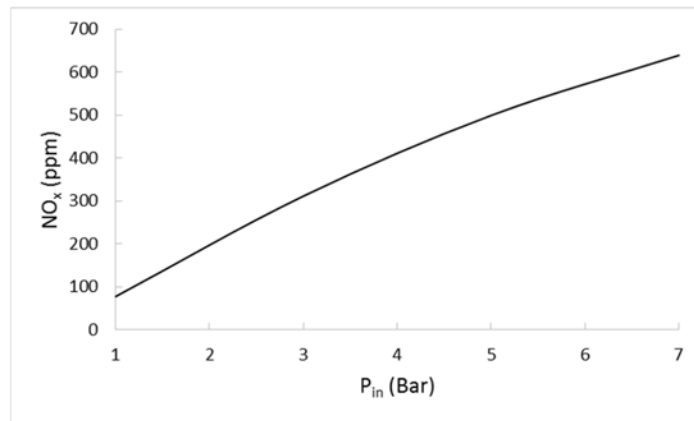


Fig. 5. NO_x emissions with increasing pressure.

The increase in inlet temperature of air and syngas fuel rises NO_x as represented in Fig. 6. The augmenting inlet temperature increases the reaction temperature in the combustion chamber. The increasing reaction temperature promotes thermal NO_x formation reactions to rise during the burning process. Thermal NO_x formation mechanism is defined by Zeldovich as $\text{N}_2 + \text{O} \leftrightarrow \text{NO} + \text{N}$, $\text{N} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{NO} + \text{O}$, and $\text{N} + \text{OH} \leftrightarrow \text{NO} + \text{H}$ reactions at the higher temperature than 1300 K.

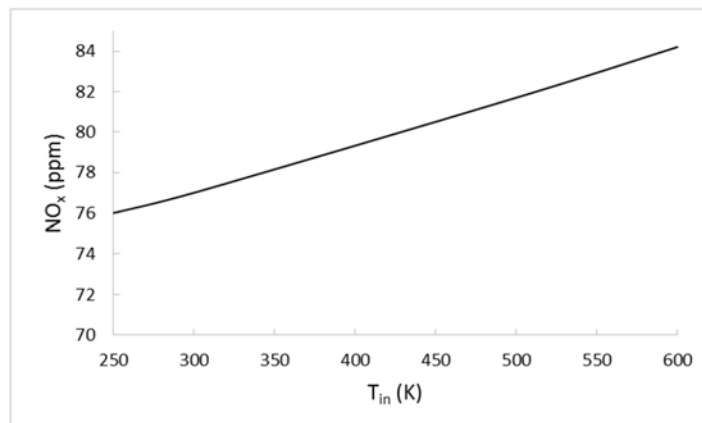


Fig. 6. NO_x emissions with increasing inlet temperatures of syngas fuel and air.

The effect of humidity ratio in the burning air is depicted in Fig. 7. The increasing humidity ratio decreases NO_x emission at the exit of the combustion chamber. The humidity in the air lowers the reaction temperatures because it causes oxygen to not reach to the flame zone by wrapping the flame and has the characteristic of heat capture as well [6]. Each 1% increment at the humidity ratio decreases NO_x at the rate of 4%.

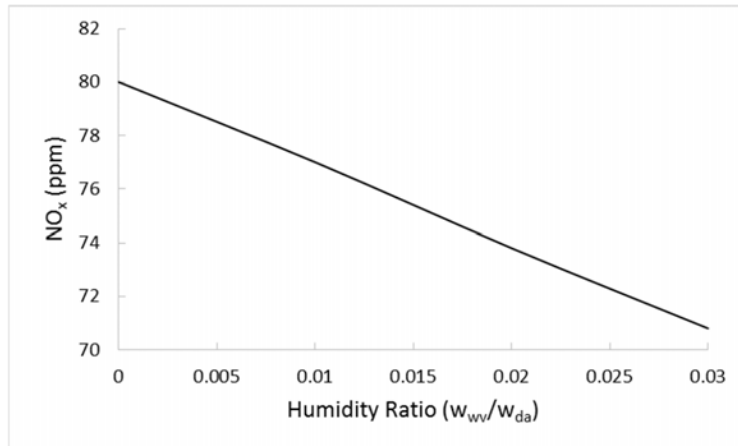


Fig. 7. NO_x emissions with increasing humidity ratio in the burning air.

The effects of the increase in the temperature of the combustor walls on NO_x is given in Fig. 8. The rising wall temperature in non-adiabatic combustion raises thermal NO_x with the increasing reaction temperature because there is the lowering heat transfer to the combustor wall from the burning medium. NO_x emission approximately rises 1.2% with each 10 Kelvin increment at the combustor wall temperature after 325 K.

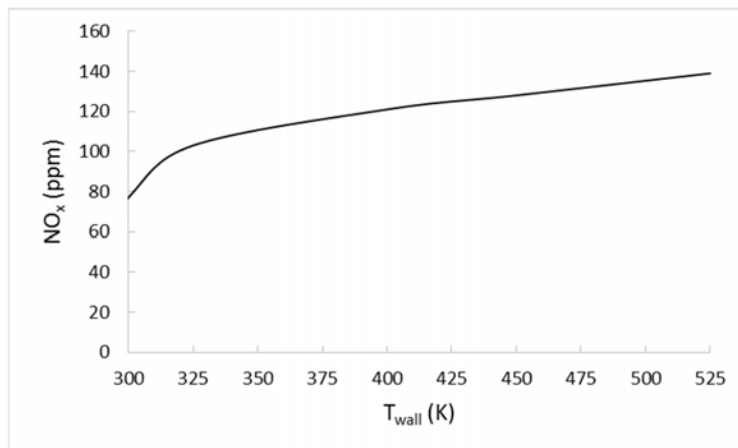


Fig. 8. NO_x emissions with increasing wall temperature.

NO_x forming by the combustion of syngas fuels could be reduced more with the methods as compressed air, catalytic reduction, water injection, dilutives usage, humid combustion air, low sulfur gas, liquid shower, exhaust gas re-circulation used in available energy production systems as heating devices, engines, and power plants.

V. CONCLUSIONS

NO_x emissions of turbulent non premixed jet flames of syngas fuel are numerically investigated and the scaling of NO_x are calculated for several humidity ratios, Reynold numbers, pressures, reactants inlet and wall temperatures in this study. The results obtained from ANSYS simulations

of syngas/air combustion are as follows:

The increment in Reynold numbers reduces NO_x emission and the presence of methane and nitrogen in syngas fuel causes NO_x to increase. At a constant Reynolds number, the rising inlet pressure raises NO_x emission due to compressed reactant mass densities and the augmented inlet temperature of air and syngas fuel also increases NO_x with rising reaction temperature. Furthermore, the increasing humidity ratio in the burning air decreases NO_x emission at the exit of the combustion chamber by the heat capture property of water vapor. Finally, the increasing wall temperature of the combustor walls in non-adiabatic combustion also increases NO_x emission.

REFERENCES

- [1] N. R. Ammar and A.I. Farag, "CFD modeling of syngas combustion and emissions for marine gas turbine applications," Polish Maritime Research. Poland, vol. 23, pp. 39-49, 2016.
- [2] C. Ghenai, "Combustion of syngas fuel in gas turbine can combustor," Advances in Mechanical Engineering. UK, vol. 2010, Article ID. 342357, 13 pages, January 2010.
- [3] G. Lopez-Ruiz, I. Alava, I. Urresti, J. M. Blanco, and B. Naud, "Experimental and numerical study of NO_x formation in a domestic H_2 /air coaxial burner at low reynolds number." Energy. USA, vol.221, Article ID. 119768, 2021.
- [4] K. W. Chun, H. Chung, S. H. Chung, and J. H. Choi, "A numerical study on extinction and NO_x formation in nonpremixed flames with syngas fuel," Journal of Mechanical Science and Technology. Korean, vol. 25 (11), pp. 2943-2949, 2011.
- [5] N. Asgari and B. Padak, "Effect of fuel composition on NO_x formation in high-pressure syngas/air combustion," AIChE Journal. USA, vol. 64, no. 8, April 2018.
- [6] S. ÖZTÜRK and M. EYRİBOYUN, "NO_x formation in combustion of natural gases used in turkey under different conditions," J. of Thermal Science and Technology. Turkey, vol. 30, no. 2, pp. 95-102, January 2010.
- [7] Y. S. Sanusi, and H. A. Dandajeh, "Effect of different syngas compositions on the combustion characteristics and emission of a model combustor," Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH). Nigeria, vol. 39, no. 3, pp. 767-775, July 2020.
- [8] K. J. Whitty, H. R. Zhang, and G. Eric, "Eddings emissions from syngas combustion," Combustion Science and Technology. UK, vol. 180, no. 6, pp. 1117-1136, 2008.
- [9] S. A. Hashim, P. N. Manish, and K. N. Kumar, "Low NO_x emission with improved performance of the gas turbine engine," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). India, vol. 2, no.11, November 2013.
- [10] G. Scribano, X. Cheng, and M. Tran, "Numerical simulation of the effects of hydrogen and carbon monoxide ratios on the combustion and emissions for syngas fuels in a radiant burner," USA. Energy, vol.214, Article ID. 118910, 2021.
- [11] J. Hwang, K. Sohn, N. Bouvet, and Y. Yoon, "NO_x scaling of syngas H_2 /CO turbulent non-premixed jet flames," Combustion Science and Technology. UK, vol. 185, no. 12, pp. 1715-1734, November 2013.
- [12] C. Ghenai, T. S. Z. Salameha, and J. I. Janajreh, "Numerical modeling of biomass and solid waste-based syngas fuels combustion," Int. J. of Thermal & Environmental Engineering. Jordan, vol. 11, no. 2, pp. 117-123, 2016.

- [13] A. Martinez, K. Gerdesa, R. Gemmen, and J. Poston, “Thermodynamic analysis of interactions between Ni-based solid oxide fuel cells (sofc) anodes and trace species in a survey of coal syngas,” *Journal of Power Sources*. Netherland, vol. 195, pp. 5206–5212, 2010.

Net Load Forecasting Model for a Power System Grid with Wind and Solar Power Penetration

Gamal Aburiyana*, Hamed Aly, Timothy Little

*: gamal.aburiyana@dal.ca, ORCID: 0000-0001-6434-7300
Electrical & Computer Engineering, Dalhousie University, Halifax, Canada

Abstract Due to being sustainable and emissions free, renewable energy resources such as wind, solar, geothermal, biomass, ocean waves and tidal have been contributing increasingly to the electricity generation. Unlike the generation from conventional units, electricity from renewable resources such as solar and wind has fluctuating, intermittent and nonlinear nature. In systems with high wind and solar energy penetration, additional variability and uncertainty will be injected, and it would be difficult for the grid operators to match the load with the intermittent generation. To ensure renewables' largest contribution in supplying the loads while maintaining a minute-to-minute balance between generated and consumed power, a highly accurate forecasting model is required for wind and solar power as well as the load demand. Moreover, the difference between the actual load and the output from renewable resources is called "net load". During renewables high penetration, net load becomes more variable and uncertain which threaten the reliable and economic operation. While literature is rich of studies focusing on providing more accurate and reliable load demand, wind power and solar power forecasting models, there is not much research aiming to reach optimal net load forecasting methods.

This work takes advantage of artificial intelligence techniques and state of the art of forecasting methods to achieve a better net load forecasting model by forecasting the net load directly instead of the traditional ways of forecasting the actual load and the distributed generation separately and combining them thereafter. A feed-forward neural network trained by Levenberg-Marquardt learning algorithm has been used to forecast the net load directly using net load time series, and indirectly by forecasting the load, wind power and solar power and then combining them. Results show that directly forecasted net load is found to be of better accuracy.

Keywords: *Net Load, Direct Net Load Forecasting, Load, Wind, and Solar Power Forecasting, High Renewables Penetration*

I. INTRODUCTION

FORECASTING load demand and generation from renewable resources is important in electric power systems. Load demand is known to be variable and uncertain. Thus, accurate load demand forecasting model helps providing electric utilities with information to take decisions on generating electric power, developing infrastructure, enabling an appropriate planning of facilities, and allowing an optimal day-to-day operation of the power plant. In addition, the stochastic nature of renewable energy resources such as wind and solar increases the variability and uncertainty of the aggregate power system. Therefore, a highly accurate solar and wind power forecasting models

are also required to ensure renewables' largest contribution in supplying the loads while maintaining a minute-to-minute balance between generated and consumed power.

Solar and wind powers are non-dispatchable and whatever existing amount needs to be injected to the grid to reduce as much consumer's demand as possible. Accordingly, the remaining demand amount (if exists) is what conventional generators are supposed to supply. The difference between the actual load and the output from renewable resources is known in literature as the "net load" [1]. Different from traditional load, net load refers to the total energy consumption partially supported by the distributed renewable energy [2], which in turn means injecting additional uncertainty especially in grids with high renewable energy penetration.

Net load forecasting is an important factor for the management and operation of smart grids, resource allocation and electricity market participation with respect to common coupling between interconnected grids [3]. It is usually obtained by separately forecasting the load demand and the generation from the available renewable energy sources. The system operator then combines them to produce a prediction of the net load, that is in some way, the amount of energy to be supplied by conventional generating units. The drawback here comes from the net load error associated with forecasting each individual element (load demand, wind power, and solar power). For example, load forecasting results normally in errors from 1 to 5%, while error from wind power forecasts ranges between 10% to 40% [4].

Net load forecast accuracy would be significantly affected in systems with high penetration levels of wind and solar powers. With the increasing penetration of intermittent resources such as wind and solar power generation, uncertainties in forecasting the output of renewable generation and load demand can result in serious system problems such as control and operation, reliability, and high balancing cost problems [5]. Overestimating future net load will result in an excess supply and therefore an increase in the operating cost. On the other hand, underestimating the net load may result in a failure in providing enough reserve and therefore require operating the high-cost peaking units [6]. Therefore, more accurate net load forecasting model would enable a better integration of microgrid fleets with the utility grid [3], in addition to that it is essential for planning the operation towards a day-to-day electricity delivering to the consumers [4]. As an attempt to improve net load forecast accuracy, we used net load historical data for New England power system to forecast the future net load directly. Primarily, we applied a feed-forward neural network trained by Levenberg-Marquardt learning algorithm and found that forecasting net load directly resulted in a lower error than when following the traditional way in forecasting the net load.

II. DATA, METHODOLOGY AND RESULTS

To achieve our goal, we have used historical hourly load consumption data, and wind and solar power generation data of New England (NE) power system of the year 2020. The data are available online at NE-ISO website [7]. According to NE-ISO website, the 2020 peak load was 23970 MW, while the minimum load was 8494.5 MW. This shows a relatively high load time series variation. On the other hand, the 2020 peak wind power generation was 1206.2 MW, and the peak solar power generation was 1293 MW which can be understood as a total wind and solar power penetration level of about 10%.

In this work, we took advantage of the ability of ANNs as it proved to be a powerful forecasting technique with an outstanding performance in both data rich and data poor [8, 9]. It is featured by self-learning so that it extracts the dependency between variables through the training process and therefore can solve complex nonlinear relationships [10-13]. In addition, we applied Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm to train a feed-forward neural network as LM is known to be fast and efficient training algorithm for highly non-linear neural networks [14, 15]. January and July 2020 datasets were used. Weekdays, date, day hours, actual load, actual PV power and actual wind power were used as inputs. Target variables were actual values of the load, solar, wind powers and the net load over 24 hours of January and July 31st. As this work aims to compare results of direct and indirect net load forecasts, hourly load, wind, and solar power have been forecasted and used to calculate indirectly forecasted net load. On the other hand, actual net load of the two months was calculated and used to directly forecast the net load. Table I shows the forecasting engine performance in terms of normalized root mean square error (nRMSE) and normalized mean absolute error (nMAE). The very small errors prove the efficiency of the forecasting engine and shows that direct net load forecasting (DNLF) strategy resulted in smaller errors than the indirect (IDNLF) strategy.

TABLE I
FORECASTING ERRORS OF JANUARY AND JULY 31, 2020 FOR NEW ENGLAND CASE STUDY.

		nRMSE	nMAE
Jan. 31 2020	DNLF	0.1009	0.0724
	IDNLF	0.1123	0.0791
Jul. 31 2020	DNLF	0.3033	0.2466
	IDNLF	0.3388	0.2864

Where, $nRMSE = \frac{1}{\max(aNL)} \cdot \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{hr=1}^{24} (aNL(hr) - fNL(hr))^2} * 100$, and

$$nMAE = \frac{1}{24} \cdot \sum_{hr=1}^{24} \frac{|aNL(hr) - fNL(hr)|}{\max(aNL)} * 100,$$

aNL(hr) and fNL(hr) represent actual and forecasted net load values at a specific day hour (hr) respectively, while max(aNL) represents the maximum actual net load value for the whole year. In this work a small scale of data set was used. Although a small scale is used the difference in errors between using direct and indirect net load forecasting is clear. As the size of the dataset is increased the overall error will be decreased and the difference between the two strategies will be clearer.

Furthermore, while using ANN tool from MATLAB, the correlation coefficient (*R*) is also used as a performance index of the ANN where an *R* value close from +1 means a high network performance and a positive linear relationship between output and target values can be achieved.

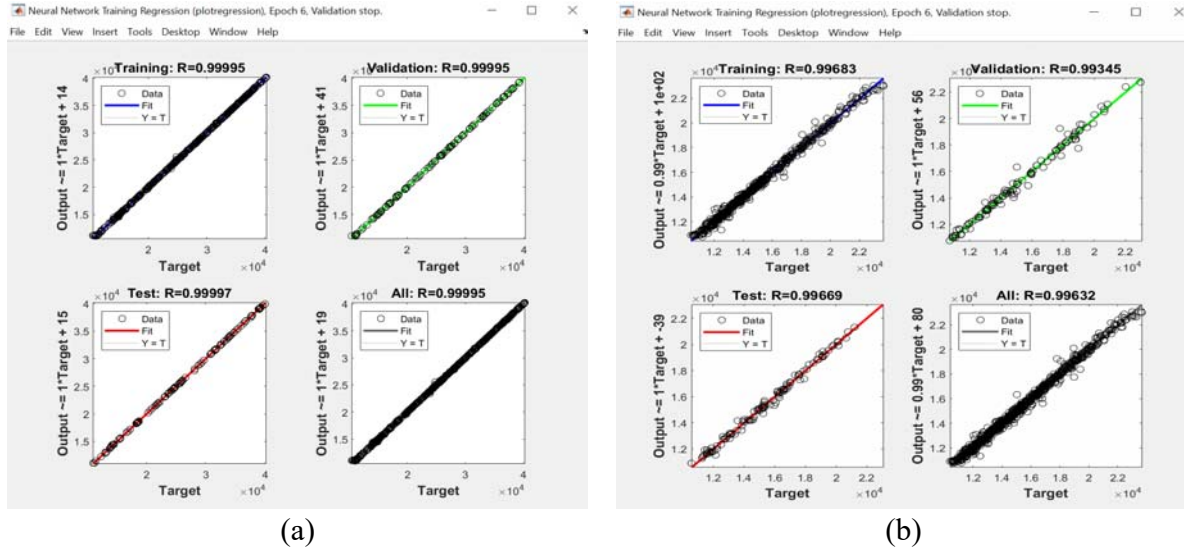


Fig. 1. Direct net load Forecast MATLAB R plots: (a) January 31, 2020, and (b) July 31, 2020. The very close R values from +1 show high network performance.

Fig. 1, shows the obtained training, validation, testing and the overall regression plots for DNLF of January 31st (a), and July 31st (b) of the year 2020. The R plots clearly show the network efficient performance and the ability of obtaining high forecast accuracy. Moreover, For the sake of a fair comparison between DNLF and IDNLF, the work needed changing the number of hidden layers and neurons every time until obtaining the best possible load, wind power and solar power forecasts and therefore obtaining the best possible IDNLF accuracy. Fig. 2, combines plots of

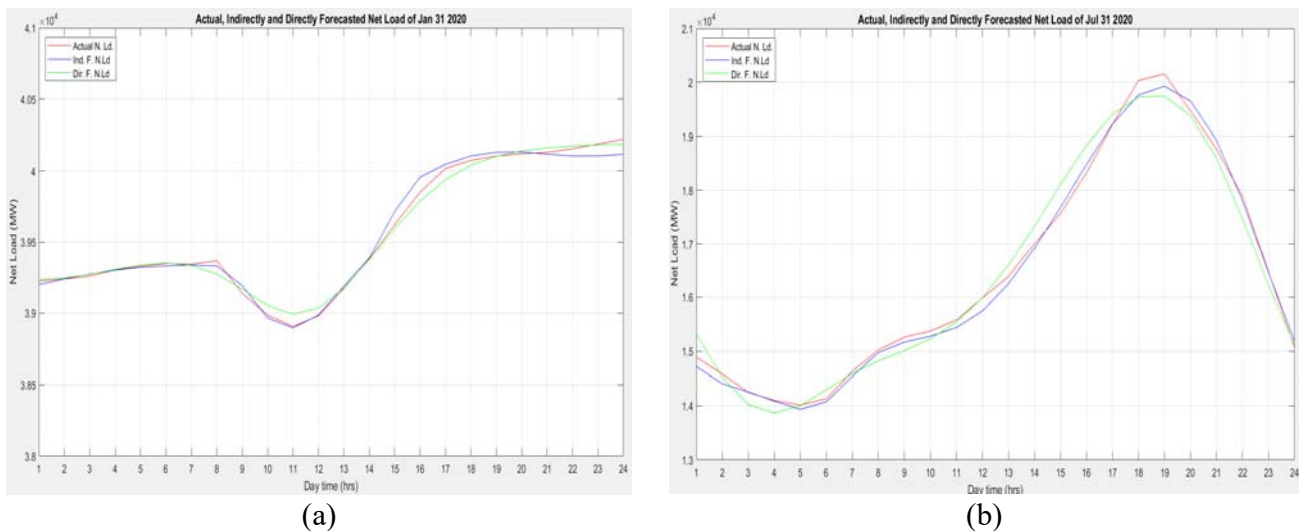


Fig. 2. (a) January 31, 2020, and (b) July 31, 2020 plots combining actual net load, IDNLF and DFNLF.

actual net load, indirectly forecasted net load, and directly forecasted net load for the 31st of both January (a) and July (b), 2020. While showing a great convergence of both direct and indirect net

load forecast curves from the actual net load curve, these plots prove the efficient performance of the forecasting engine and confirm the high accuracy of DNLF and that forecasting the net load directly can result in a better accuracy than IDNLF and therefore it is dependable.

III. FUTURE WORK

It might be important to bring to attention that individual forecasting methods have a limited accuracy [16]. Practically, Artificial intelligence forecasting techniques such as ANNs need to be hybridized with one or more other techniques. That is to improve the prediction accuracy by making the best use of the advantages of multiple forecasting methods [12], enhance the learning performance [17] and hence improve the overall model accuracy which will help increasing the overall power system stability and quality [18, 19]. In the literature, many hybridized ANN models have been suggested and used for forecasting load demand, solar power, and wind power. Therefore, the coming stage of the research is to work on building an efficient hybridized model. According to [18-20], forecasting approaches are usually chosen based on the characteristics of the forecasted phenomena. ANN model for direct net load forecasting and the candidate approach shall take into consideration the following facts:

- Net load is a combination of load demand, solar power, and wind power. The amount of load demand and the levels of wind and solar power contributing to supply the load will certainly reflect on the behavior of the net load. This fact, in addition to the usual forecasting error range of each of these quantities need to be taken into consideration when deciding the methods to be hybridized with the ANN. So far, it is known that wind power forecasts are fairly large compared with load and solar power forecasts [4, 18, 19].

- The primary work and its results were based on a forecasting horizon of 24 hours and a resolution of one hour. Since forecasting accuracy increases with decreasing forecast time horizon [11], the research will consider reducing the forecasting horizon to six hours and minimizing the resolution to the smallest possible period the system operator may need (15 minutes, 30 minutes and/or 1 hour).

Finally, it would be also desired to simulate a future high wind and solar power penetration scenarios using the available IESO-ON and ISO-NE information and examine the obtained net load forecasting model and test its efficiency in such circumstances and work on putting the final corrections and touches.

IV. CONCLUSION

The increasing wind and solar power penetration in electric power systems grids will result in an increase in the variability and uncertainty of the net load which will lead to increase the challenges facing system operators in balancing load demand and the generation. Timely research asserts the need to more accurate net load forecasting models to ensure systems security and economic operation. In this paper, we suggested forecasting the net load directly based on the net load historical values. We used NE-ISO power system historical data and applied a feed-forward neural network trained by Levenberg-Marquardt learning algorithm. We also used the same technique with changing the number of hidden layers and neurons for obtaining the best possible

accuracy of load demand, wind power and solar power forecasts. We then calculated the net load in the traditional way, that is the difference between load demand and electricity generation from renewable resources. By comparing the results of the two strategies in terms of normalized mean absolute error and normalized root mean square error, directly forecasted net load was found to be of a better accuracy.

Future work will take into consideration hybridizing the ANN technique with one or more of the commonly used methods to improve the net load forecasting in addition to taking into consideration the case when wind and solar power are of much higher penetration level and examine whether the accuracy of DNLF remains better than that of IDNLF or if the increased variability changes the rule.

REFERENCES

- [1] Y. Wang, N. Zhang, Q. Chen, D. S. Kirschen, P. Li and Q. Xia, "Data-driven probabilistic net load forecasting with high penetration of behind-the-meter PV," IEEE. Trans. on Power Systems, vol. 33(3), pp. 3255-3264, October 2017.
- [2] M. Sun, T. Zhang, Y. Wang, G. Strbac, and C. Kang, "Using Bayesian deep learning to capture uncertainty for residential net load forecasting," IEEE. Trans. on Power Systems, vol. 35(1), pp. 188-201, June 2019.
- [3] I.S. Jacobs and C.P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.
- [4] H. Shaker, H. Zareipour, and D. Wood, "Impacts of large-scale wind and solar power integration on California's net electrical load," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 58, pp. 761-774, May 2016.
- [5] Y. V. Makarov, R. T. Guttromson, Z. Huang, K. Subbarao, P. V. Etingov, B. B. Chakrabarti and J. Ma, "Incorporating wind generation and load forecast uncertainties into power grid operations," Report PNNL-19189, PNNL, January 2010.
- [6] G. Aburiyana and M. E. El-Hawary, "An overview of forecasting techniques for load, wind and solar powers," IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), pp. 1-7, October 2017.
- [7] <https://www.iso-ne.com/isoexpress/web/reports>, last accessed on february 28, 2021.
- [8] N. Ding, C. Benoit, G. Foggia, Y. Bésanger, and F. Wurtz, "Neural network-based model design for short-term load forecast in distribution systems," IEEE trans. on Power Systems, vol. 31(1), pp. 72-81, February 2015.
- [9] R. H. Inman, H. T. Pedro, and C. F. Coimbra, "Solar forecasting methods for renewable energy integration," Progress in Energy and Combustion Science, vol. 39(6), pp. 535-576, December 2013.
- [10] A. Baliyan, K. Gaurav, and S. K. Mishra, "A review of short-term load forecasting using artificial neural network models," Procedia Computer Science, vol. 48, pp. 121-125, January 2015.
- [11] J. Jung, and R. P. Broadwater, "Current status and future advances for wind speed and power forecasting," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 31, pp. 762-777, March 2014.
- [12] W. Y. Chang, "A literature review of wind forecasting methods," Journal of Power and Energy Engineering, vol. 2(04), p. 161, April 2014.

- [13] A. Kavousi-Fard, A. Khosravi, and S. Nahavandi, "A new fuzzy-based combined prediction interval for wind power forecasting," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 31(1), pp. 18-26, February 2015.
- [14] M. T. Hagan, and M. B. Menhaj, "Training feedforward networks with the Marquardt algorithm," *IEEE trans. on Neural Networks*, vol. 5(6), pp. 989-993, November 1994.
- [15] H. Shaker, H. Chitsaz, H. Zareipour, and D. Wood, "On comparison of two strategies in net demand forecasting using Wavelet Neural Network," *North American Power Symposium (NAPS)*, pp. 1-6, September 2014.
- [16] A. Tascikaraoglu, and M. Uzunoglu, "A review of combined approaches for prediction of short-term wind speed and power," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34, pp. 243-254, June 2014.
- [17] S. Li, P. Wang, and L. Goel, "A novel wavelet-based ensemble method for short-term load forecasting with hybrid neural networks and feature selection," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 31(3), pp. 1788-1798, June 2015.
- [18] H. H. Aly, "An intelligent hybrid model of neuro Wavelet, time series and Recurrent Kalman Filter for wind speed forecasting," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 41, p. 100802, October 2020.
- [19] H. H. Aly, "A novel deep learning intelligent hybrid clustered wind speed forecasting," *Elsevier International Journal of Energy*, vol. 213, p. 118773, December 2020.
- [20] H. H. Aly, "A proposed intelligent short-term load forecasting hybrid models of ANN, WNN, and KF based on clustering techniques for smart grid," *Elsevier International Journal of Electrical Energy Research*, vol. 182, p. 106191, May 2020.
- [21] F. Ziel, "Modeling the impact of wind and solar power forecasting errors on intraday electricity prices," *14th International Conference on the European Energy Market (EEM)* (pp. 1-5), IEEE, June 2017.

Investigation Of Coating Applications to Increase Life in Sheet Metal Forming Molds

Aslı Özöztürk^{1,*}, İpek, Zafer¹, Tuğçe Yağcı^{2,3}, Adem Korkmaz^{2,3}

* asllozozturk@sarigozoglu.com.tr, ORCID: 0000-0001-9896-5721

¹Sarıgözoğlu Hidrolik Makina ve Kalıp Sanayi, Yunusemre, Manisa, TURKEY

²Department of Metallurgical and Materials Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, TURKEY

³TWIN R&D and Engineering, Manisa Technocity, Manisa, TURKEY

Abstract The service life of machine parts, molds and tools is limited by the wear on the surfaces of these components. Today, despite the demand of customers for an increase in the number of parts to be produced, the possibility of damage to the production molds due to wear and the cost factor of production downtime increases accordingly. Especially in the automotive and white goods sector, the use of metal sheets with higher strength and corrosion resistance, increasing press speeds for faster production, increased deformation caused by decreasing the number of operations in progressive molds, restriction of the use of lubricants due to environmental factors negatively affects the wear behavior and service life of the molds. For this reason, increasing the life of the mold by minimizing the wear is gaining importance every day in economic terms, and research and development studies on the improvement of friction and wear properties with coating applications as a practical approach on this subject continue. The coating applications have a wide range of applications in different areas of the industry in recent years, especially in order to find solutions to wear problems. Surface engineering advanced in coating methods such as hardfacing welding, flame-induction hardening, carburizing and nitriding at the beginning of this century. In addition, thin film coating techniques have made great progress with physical vapor deposition (PVD), chemical vapor deposition (CVD) and ion implantation. In this study, research and development studies were carried out to improve the wear and friction properties of sheet metal forming molds by using the physical vapor deposition method. For this purpose, the abrasive and adhesive wear (plastering, adhesion, etc.) problems occurring in the molds were minimized by using a new coating method and the service life of the mold was increased. Within the scope of the study, literature research on coating technology and determination of suitable coating types for sheet metal forming molds, coating in laboratory environment, application of mechanical and structural characterization tests, prototype mold design and coating with PVD method, testing and characterization activities were carried out, respectively. As a result of these activities, contribution was made to the literature, especially on thin film coatings, the wear and hardness properties of the steels used in sheet metal forming molds were improved, and the tool life was increased, resulting in cost savings in production.

Keywords: sheet metal forming, coating, physical vapor deposition, mold life, wear.

I. INTRODUCTION

The lifetime of machine parts, molds and tools used in production activities is limited due to the wear on the surfaces of these parts. Today, the production of the same workpiece in high production quantities causes wear-induced damages and therefore increases in production downtime. This situation causes an increase in production costs. For this reason, it is of great importance to reduce the wear behavior occurring on these components and to increase the mold life. An important cost input in the industry is the renewal of the molds used in production. In order to offer a solution to this situation, many research and development studies have been carried out on academic and industrial platforms. In this context, it has been observed that with the application of coating methods, the friction and wear properties occurring on the part and mold surfaces can be improved.

The properties of the die sets used in metal forming processes and the resulting mold life are an important parameter. Mechanical properties of metallic materials such as ductility, deep drawing property and forming limit diagrams (FLD) are important factors in determining plastic deformation capability. Therefore, it is necessary to determine the mold material that provides the desired properties, to design the forming mold suitable for it, and to verify the design. In addition, these determined factors should be economically advantageous [1,2].

Coating applications have been widely preferred in recent years, especially in order to solve friction and wear problems. Surface engineering was highly developed at the beginning of this century with hard welding, flame-induction hardening, carburizing and nitriding, and made great progress with thin film coating techniques such as PVD (physical vapor deposition), CVD (chemical vapor deposition) and ion implantation. In recent years, ceramic-based coatings obtained from PVD technique, which is one of the thin film coating methods, have found an application area in the mold sector and especially in cutting tools and successful results have been obtained [3,4].

In recent years, it has been demonstrated in both academic and industrial scale scientific studies that thin film coatings by using the PVD method in hot and cold metal forming molds used in different industrial areas give successful results in increasing the life of the mold. Our company, which has an important position in our country in terms of sheet metal forming mold design for the automotive sector, carries out research and development studies to increase the life of the mold with various methods, especially the PVD method [4,5].

High-speed production expectations in the sheet metal forming sector and needs such as a more wear-resistant mold material make it necessary to develop new processes and coatings. The difficult working conditions in the molding industry and the necessity of mass production bring the need for wear-resistant coating on the surface of the workpieces. In this context, there are many factors that are driving forces in the realization of the study. Especially in the automotive and white goods sector, the use of sheets with higher strength and corrosion resistance, increasing press

speeds for faster production, decreasing the number of steps in progressive molds and consequently increasing the amount of deformation in each stage, and due to the occurring wear and environmental factors, lubricants factors such as restriction of use are the main factors that constitute the motivation of the study. In this study, research and development studies were carried out on the use of the PVD method in the corroded parts of sheet metal forming molds. In this context, it is aimed to eliminate abrasive wear and adhesive wear (plastering, adhesion, etc.) problems, reduce wear resistance, reduce friction coefficient and improve mold life. In addition, with the related study, it is aimed to increase the use potential of these methods in production activities by verifying the usability of new coating types in order to reduce wear and increase mold life in the molding sector. In the activities carried out within the scope of the study, literature-supported research has been carried out primarily in order to obtain technical and theoretical information about coating types and technologies, their usability in shaping and production methods. In the research studies carried out, it has been determined that ceramic-based metal carbides and metal nitrides (TiC, CrN, ZrN, TiCN, NbC, NbN, VC, WC, TiAlN etc.) deposited with thin film method for wear are used in coating applications.

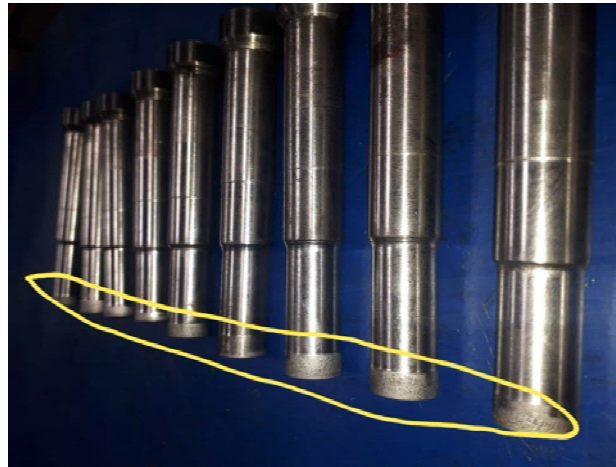


Fig. 1. Winding problem in staples before coating.

According to the results obtained from these studies, the coating types that will provide optimum properties for the molds used in the sheet metal forming process were determined. Subsequently, it was applied on the most preferred steel molds in production activities by using the PVD method at laboratory scale. The types of coating applied on steel molds and the mechanical and structural properties of the molds obtained as a result of the new process were characterized by using a series of testing and characterization methods. Thus, the production of a prototype mold used in sheet metal forming applications using coatings / coatings that provide the desired properties has been achieved, and the development in mold life has been demonstrated by performing performance

tests under press under real application unconditions.

II. MATERIAL AND METHOD

In this study, 3 different scientific and technological activity steps were followed. The studies carried out in this context are detailed below.

- **Determination of suitable coatings for sheet metal forming dies**

In the first stage of the study, suitable coating types were determined for the PVD coating of steel molds to be used in production activities. The determined coating types were evaluated in terms of parameters such as yield and tensile strength, hardness, wear resistance, friction coefficient. In this context, the coating types that will provide optimum properties have been determined by literature supported researches.

- **Performing coating studies in a laboratory environment**

The activities of depositing the determined coating methods on the surfaces of the mold sets to be used in the forming process by PVD method were carried out at this stage of the study. Thus, new mold sets with coated surfaces were produced.



Fig. 2. Die sets after coating process

Tests and characterization studies

A series of tests and characterization studies were carried out in order to determine the performance characteristics of the coated mold sets obtained as a result of the activities. In this context, abrasion tests were carried out in order to determine the wear behavior of die sets. In addition, hardness measurements were carried out to reveal the hardness characteristics of the mold surfaces. In addition, the efficiency of existing molds without coating process and the molds obtained within the scope of the relevant study were evaluated comparatively.

III. CONCLUSION

With this study, new coating types with proven usability in the molding industry were determined.

It has been determined that the abrasion resistance of the molds subjected to the coating process by using these coating types and physical vapor deposition method has improved and the friction coefficient is reduced. As a result of the tests and characterization applications, it was determined that the mold life of these mold sets improved significantly. In addition, surface hardness characteristics were revealed by the hardness measurements performed on the mold surfaces and it was determined that the measurement results were in accordance with the desired quality and standards. On the other hand, its usability in the molding industry has been verified, and the types of coating that will improve the abrasion resistance, friction properties and life of the mold have been introduced to the literature for use in the industry.

REFERENCES

- [1] Koçar, O., “Derin çekme işleminde ürün kalitesinin tahmini ve kontrolü,” Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2014.
- [2] Güler, Ü., “Termoplastiklerin ekstrüzyonunda kalıp yüzey pürüzlülüğünün akış hızı ve basınç düşümüne etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2012.
- [3] Lukaszewicz, K., Dobrzanski, L. A., Kokot, G., Ostachowski, P., “Characterization and properties of PVD coatings applied to extrusion dies,” Vacuum, vol. 86, pp. 2082-2088, 2012.
- [4] Dobrzanski, L.A., Polok, M., Panjan, P., Bugliosi, S., Adamiak, M., “Improvement of wear resistance of hot work steels by PVD coatings deposition,” Journal of Materials Processing Technology, vol. 155-156, pp. 1995-2001, 2004.
- [5] Aytaç, A., Malayoğlu, U., “Comparison of PVD and JVD / DVD Thin Film Coatings by Physical Vapor Deposition Methods and a Conceptual, Academic and Theoretical Analysis on Industrial Applications of DVD Coating Technology,” The Journal of Defense Sciences, vol. 17, pp. 132-164, 2018.

Measurement of Area Moment of Inertia From Micrographs by Image Processing

Ali Can Kaya^{1,*}, Mehmet İpekoğlu², Erdem Onur Özyurt²

*alican.kaya@tau.edu.tr, ORCID: 0000-0000-0000-0000

¹Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Turkish-German University, Istanbul, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Turkish-German University, Istanbul, Turkey

Abstract Area moment of inertia is a crucial factor that shows the resistance of the beams against bending. Here we developed a MATLAB script that can measure the centroid, section modulus, area moment of inertia using parallel axis theorem and polar moment of inertia using perpendicular axis theorem from the micrographs of the micro-sized beams. In current study, we implemented the script on the micrographs of the micro-sized sintered foam struts. Since the strut morphology and cross-sectional area are not constant along the longitudinal axis, determination of the area moment of inertia becomes challenging for sintered open cell foam struts. In addition, large amounts of micro/macropores in the microstructure pose a significant issue to the determination of the area moment of inertia for the single struts. This newly developed MATLAB script enables measuring area moment of inertia truly from 2-D optical micrographs of the micro-sized beams or struts.

Keywords: Area moment of Inertia; Open Cell Foams; Struts; Image Processing; Parallel Axis Theorem

I. INTRODUCTION

Open cell foams are cellular structures which can be used in various applications including sound absorption [1], blast protection [2] and radiation shielding [3]. Such applications are specific and only Al and Mg foams have been industrialized for such kind applications [4].

Deformation of open cell foams is dominated by strut bending depending on the relative density of the metal foams. Area moment of inertia is a geometrical feature showing the resistance of the strut against bending; therefore, area moment of inertia of the struts is utmost important for energy absorption properties. For instance, Xie and Chan [5] revealed that the strut geometry had a significant influence on the plastic-yielding behavior of open cell foams. They further concluded that the structural asymmetry in the struts resulted in a different tensile and compressive collapse strength for open cell foams with respect to the struts with symmetrical cross-sections. Li et al. [6] investigated the effects of cell shape and imperfections in the strut cross-sections on the elastic properties of open cell foams using Voronoi tessellation method. They revealed that the highest Moduli and lowest Poisson's ratio were observed for the Plateau border cross-sections. Elastic

modulus is heavily influenced by the strut cross-sections and slightly influenced by the Poisson's ratio. Jang et al. [7] analyzed the polyester urethane foams using micro-CT and exhibited that the foam struts were composed of a Plateau border cross-section. They presented the changes in the cross-sectional area of struts along the length. While the cross-sectional area is almost constant over the central half of the length, the area increases towards the vertices of the struts.

In the case of metal foams, strut geometry depends on the production methods. And cross-sections strongly change and show large fluctuations along the length. In the case of sintering, PU foam is utilized as a template and slurry covers this template. Therefore, a hollow strut is resulted in and a cross-sectional area is strongly influenced by the amount of slurry that covers the PU template which cannot be truly controlled. Such complexity in the struts were previously presented by SR-micro-CT investigations in our previous studies [8, 9]. We highlighted that the cross-sectional area of the sintered foam struts cannot be correctly determined for the micro tensile testing. Either average of cross-sectional area along the length or minimum cross-sectional area is used for the calculation of the nominal stresses of struts in tension. Although the cross-sectional area is calculated easily by open-source software (e.g. ImageJ), it is not straightforward to determine the area moment of inertia of the cross-sections from micrographs or 3-D CT data.

In current study, therefore, we developed a MATLAB code to measure the area moment of inertia from optical micrographs of struts which can then be implemented for the CT data. Our code can determine the area moment of inertia, section modulus and polar moment of inertia of the struts from the optical micrographs. Several examples implemented on the optical micrographs are presented and results are discussed for further implementation and significance for design of foam struts.

II. MATERIALS

Austenitic open cell 316L steel foams (30 ppi) were purchased from Hollomet GmbH (Dresden, Germany). The open-cell steel foams were produced using a powder metallurgical method [10, 11]. Here, a slurry is prepared from steel powder, binder, water, and various organic solvents. PU-foam (FoamPartner Reisgies, Leverkusen, Germany) templates are then dipped into the pre-prepared slurry. After drying the slurry-coated PU foam, PU foam template is removed by heating to approximately 723 K for 1 hour in a nitrogen gas environment. The foam is densified by sintering in a hydrogen environment. The typical sintering time is approximately 1 hour at a temperature of 1533 K.

The foam samples had an average cell size of 1.8 mm [12] and a density ranging from 0.51 to 0.61 g/cm³ [13].

Foam struts are hollow structures that are composed of three lense-like solids as sketched in Fig. 1. Solid strut walls are porous, and the PU pattern is pointed with an arrow. Re-entrant corners are the connection points of the triplets.

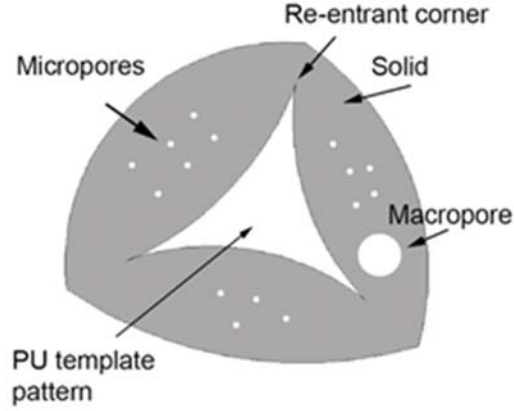


Fig. 1. A sketch representing the cross-section of a single strut.

METHODS

III.a. Metallurgical Preparation

Metallurgical preparation was carried out to observe the microstructures of the steel foams with a light microscope. First, the specimen was cut into cubes having dimensions 20 mm × 20 mm × 20 mm with a precision saw (Accutom-50, equipped with 356CA hard material as a blade). The cutting speed and rotation rate of the saw were 0.0105 mm/s and 3000 rpm, respectively. Foam samples were then embedded in the epoxy resin-hardener mixture and held for more than 12 hours.

Embedded foams were ground with increasingly fine SiC paper (from P320 to P1200) and cleaned with ethanol in an ultrasonic bath for 3 minutes each time. The polishing of the samples was carried out using polishing cloths (from grain 6 to 0.1 μm).

Microstructure of strut materials of the steel foams was captured under the light microscope (Leica DMRM) which is equipped with a MicroCam 1.3. camera (Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH, Wetzlar, Germany).

III.b. Parallel Axis Theorem

Parallel axis theorem is used to determine the area moment of inertia of the cross-sections of assembled parts (Fig. 2). In the case of single struts, micrographs of struts were evaluated to calculate the area moment of inertia of the struts. Here single pixels were used as a “single part” and their centroids are determined automatically in the software.

Centroid of the strut, $c_s(c_{sx}, c_{sy})$, was calculated using the micrographs.

c_{sx} and c_{sy} are the coordinates of the struts' centroid (c_s) in x and y axis, and they are determined by [14]:

$$c_{sx} = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i} \text{ and } c_{sy} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

where x_i and y_i are the coordinates of the single pixel in x and y axis, respectively and A_i is the area of the single pixel.

Overall area moment of inertia of the assembled section was determined by adding of calculated area moment of inertia of single pixels with respect to the common axis ($I_{xx} = \sum I_{xx}$). If the common axis does not coincide with the axis of the single parts, the parallel axis theorem is used.

According to parallel axis theorem, area moment of inertia of single pixels with respect to the common axis (x and y axes) is determined by [14]:

$$I_{xx} = I_{oo} + d^2 A \quad (2)$$

where I_{xx} is the area moment of inertia of the single pixel with respect to the common axis, I_{oo} is the area moment of inertia of the single pixel with respect to its' own axis, d is the distance between those two parallel axis and A is the area of the single pixel. Pixels have a square cross-section and therefore their area moment of inertia was $I_{pixel} = \frac{a^4}{12}$ where a is the edge length of the single pixel.

In the case of sintered struts, microstructure possesses a large amount of micropores and macropores, therefore those pores are not integrated into the calculation.

Section Modulus is calculated by:

$$S = \frac{I_c}{c} \quad (3)$$

where I_c is the area moment of inertia with respect to any axis, c is the largest distance from the neutral axis to the edge of the strut.

When the area moment of inertias I_{xx} and I_{yy} belong to the same plane, polar moment of inertia with respect to the z axis is determined by perpendicular axis theorem:

$$I_z = I_{xx} + I_{yy} \quad (4)$$

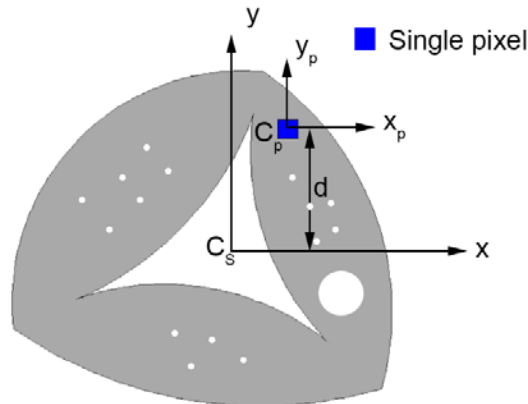


Fig. 2. A sketch representing the parallel axis theorem.

III.c. Software and Implementation

This work is based on an algorithm that takes the 3-channel color images of cross-sections of micrographs of the struts as input and outputs the features of the sample including area moment of inertia, polar moment of inertia and section modulus after executing image processing. The image processing toolbox of MATLAB is used as the platform where the corresponding operations are carried out thanks to convenient coding capabilities offered [15]. The algorithm is splitted into three phases in a major manner, which includes the preprocessing, the detection of pores and the estimation of corresponding resistivity properties as depicted in Fig. 3.

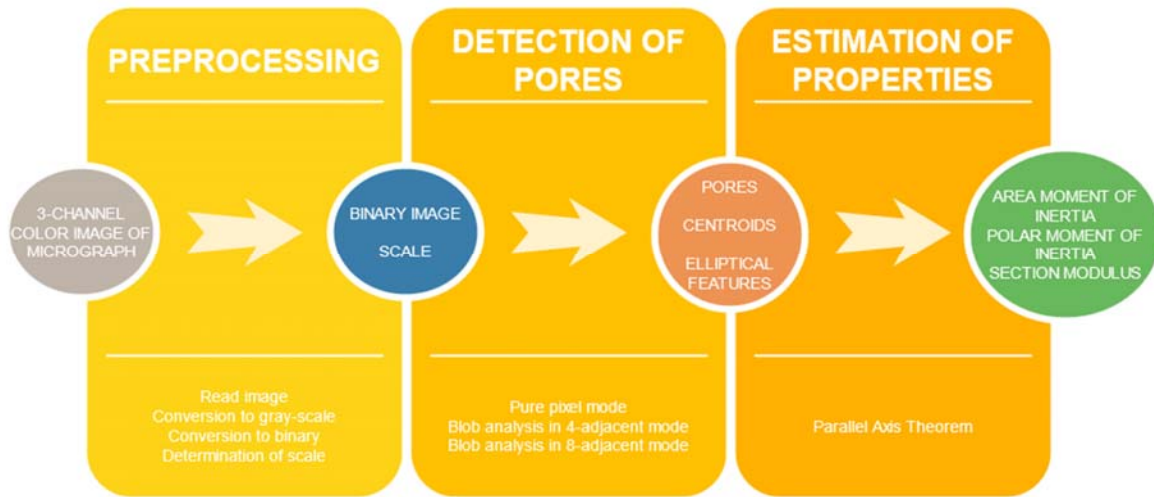


Fig. 3. The flow chart of the method in three phases.

The preprocessing phase, respectively, comprises import of the image into a matrix to allow mathematical operations, conversion of the color image into a gray-scale image, conversion of gray image into a binary image and determination of the scale of the image as tagged on the image. After importing the image, the 3-channel color image is converted into a single-channel gray-scale image for ease of calculation in the subsequent steps. The use of a single-channel image lessens the computational complexity of the algorithm by at least one third. The conversion is performed by adding each color channel as multiplied by corresponding weighting coefficients standardized in ref. [16] to obtain a new gray-scale channel. The next step in the preprocessing is the binarization of the gray-scale image, which is fulfilled by using a thresholding method proposed by Otsu [17]. The binarization scheme is necessary for execution of the following phase, namely the detection of pores.

The second phase, i.e. the detection of pores, employs a blob analysis. The detection algorithm is designed to be performed in a 4- or 8-adjacent mode or in pure pixel mode that treats each pixel separately without detecting pores. This allows a comparison of effectiveness and efficiency of the algorithm under two different modes. The blob analysis method manages detection of pores by connecting the neighboring “on” pixels via the adjacency modes. Since the processed image is binary, a pixel may be nothing but on or off. The 4-adjacent connectivity connects the pixels horizontally and vertically while the 8-adjacent connectivity connects also diagonally.

After having detected the pores, the third phase is implemented, which allows estimation of the relevant features including area moment of inertia, polar moment of inertia and section modulus of the micrograph of the struts orthogonal to cross-section. The area moment of inertia is calculated by applying the parallel axis theorem given in the equation (2). The equation is applied over all pixels by excluding the pores under assumption that each pixel represents an independent integral square body. Implementing the same process, the polar moment of inertia is calculated by scanning the pixels belonging to the micrograph which proves the validity of the equation (4). The section modulus is also calculated in line with the equation (3) by scanning the pixels and dividing the area moment of inertia, I_c , by the largest distance from the neutral axis to the far edge of the strut, c , where c is determined by cumulatively adding each pixel's distance to the neutral axis multiplied by the area of a pixel and dividing the cumulative summation by the area of the micrograph. The pixel distances are scaled in μm .

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

IV.a. Micrographs

Micrographs of the struts in orthogonal to the cross-section are exhibited in Fig. 4. with different magnifications. Struts are convex triangle shaped and they are composed of three lense-like solids. The PU strut patterns are enclosed by those triplets leading to a hollow structured beam. Micropores and macropores became visible in the microstructure and irregular shaped cross-section for each strut is attributed to the manufacturing process.

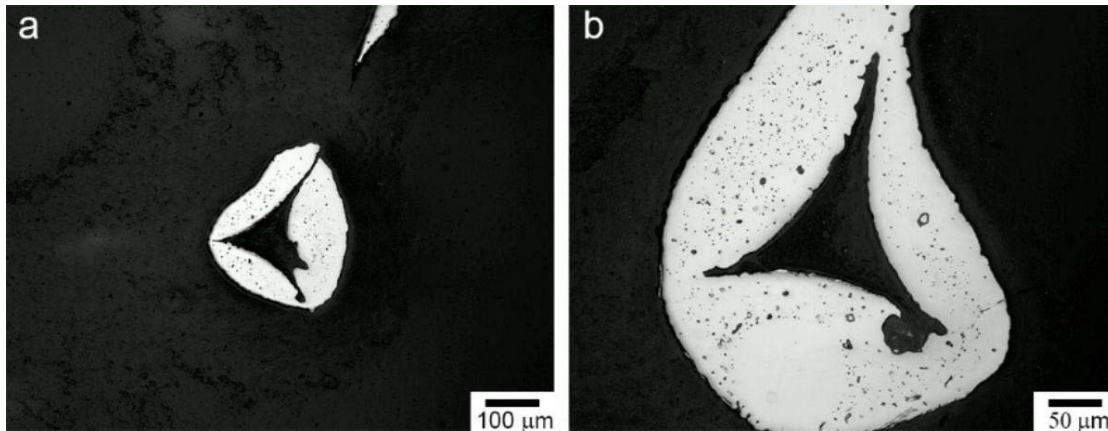


Fig. 4. a) and b) illustrating micrographs of the struts orthogonal to the cross-section.

In Fig. 5.a and b, microstructure of the struts is captured in lateral direction showing the curvy shape of struts in longitudinal axis. This large fluctuation in the cross-sectional area within the longitudinal axis leads to a large variation in the area moment of inertia of the struts. Therefore, there is not a constant area moment of inertia in the open cell foam struts.

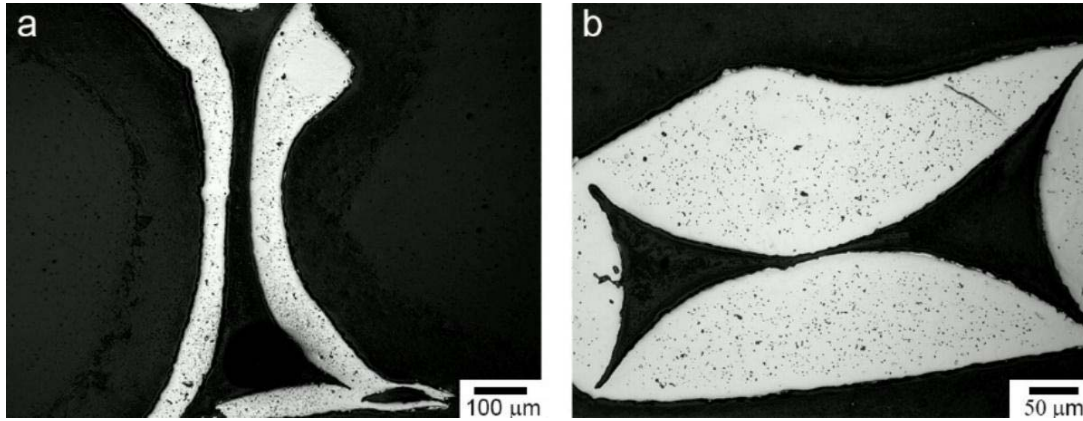


Fig. 5. a) and b) illustrating micrographs of the sintered struts lateral to the cross-section direction.

IV.b. Microstructure Analysis

The pore detection provides some features of the pores including the number of pixels, the centroid and elliptical features of the pore. This algorithm allows generation of a pore density map of a given image as illustrated in the Fig. 6. The pore densities are scaled with respect to colors in a descending manner in terms of area from red to green.



Fig. 6. Pore density map of a micrograph of the struts orthogonal to the cross-section.

Also, some valuable statistics that provide clues about the structure of the micrograph are obtained using the features of the pores. A histogram of pore eccentricities and a histogram of pore areas are obtained for the micrograph, the pore density map of which is given in Fig. 6. The histograms are depicted in Fig. 7, where the horizontal axes represent eccentricity and area in μm^2 respectively and vertical axes represent frequency. Eccentricity is a measure of pore circularity; eccentricity of zero defines a perfect circular pore and eccentricity of one indicates an elongated pore.

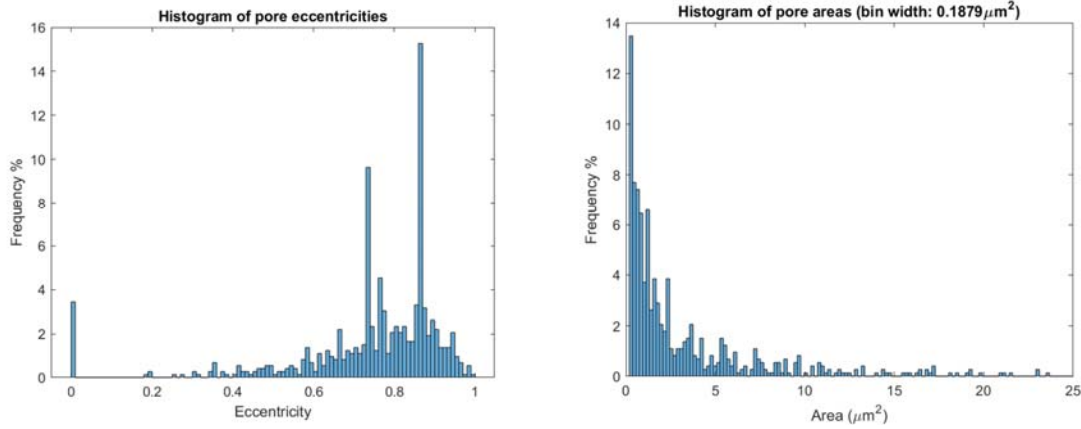


Fig. 7. An illustration of histograms of pore eccentricities and pore areas in the given micrograph.

IV.c. Area Moment of Inertia

The area moment of inertia was measured with respect to the horizontal (x) and vertical (y) axes. The number of detected pores, area moment of inertia, polar moment of inertia and section modulus for the methods of pure pixel, 4-adjacency and 8-adjacency were tabulated for Figs. 8.a and b (Table I).

The imported micrographs were analyzed by developed MATLAB code and area moment of inertias with respect to x axis for highlighted micrographs in Figs. 8a and b were measured to be 1968×10^6 and $1722 \times 10^6 \mu\text{m}^4$, respectively. Area moment of inertias with respect to y axis for highlighted micrographs in Figs. 8a and b were measured to be 2876×10^6 and $2449 \times 10^6 \mu\text{m}^4$, respectively. As the resolution is automatically determined from the scale bars, a realistic result could be obtained from the micrographs. The section modulus of the cross-sections given in Figs. 8a and b with respect to x axis was measured to be 9×10^6 and $8 \times 10^6 \mu\text{m}^3$, respectively. The section modulus measured from Figs. 8a and b with respect to y axis was 11×10^6 and $10 \times 10^6 \mu\text{m}^3$, respectively.

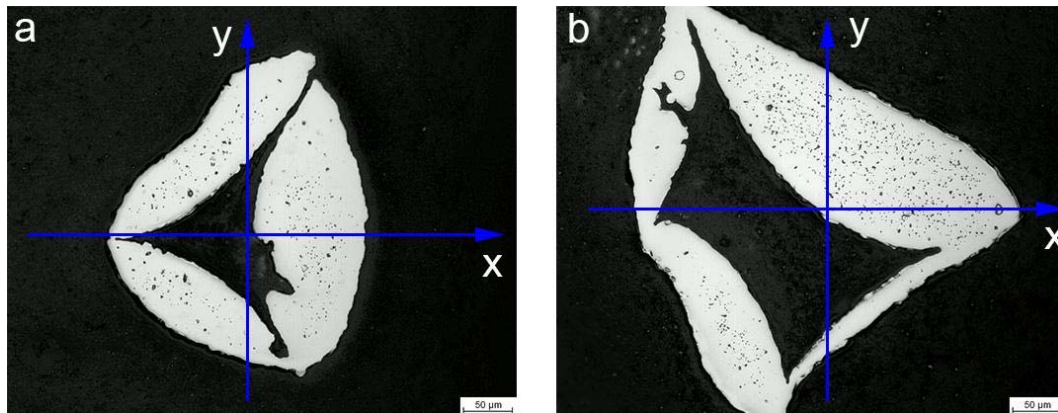


Fig. 8. Area moment of inertia was measured from a) and b) with respect to the x and y axes.

Table I. Measured properties from the micrographs in Figure 8.a and 8.b

Figure		Pure pixel mode	4-adjacent mode	8-adjacent mode
8.a	Number of pores	-	201	198
8.b	Number of pores	-	653	629
8.a	Area moment of inertia (μm^4)	$I_{xx} = 1968211646.94$ $I_{yy} = 2875505418.08$	$I_{xx} = 1968211646.94$ $I_{yy} = 2875505418.08$	$I_{xx} = 1968211646.94$ $I_{yy} = 2875505418.08$
8.b	Area moment of inertia (μm^4)	$I_{xx} = 1721700233.33$ $I_{yy} = 2449383409.56$	$I_{xx} = 1721700233.33$ $I_{yy} = 2449383409.56$	$I_{xx} = 1721700233.33$ $I_{yy} = 2449383409.56$
8.a	Polar moment of inertia (μm^4)	$J = 4843727930.95$	$J = 4843727930.95$	$J = 4843727930.95$
8.b	Polar moment of inertia (μm^4)	$J = 4171093230.89$	$J = 4171093230.89$	$J = 4171093230.89$
8.a	Section modulus (μm^3)	$S_x = 9193520.13$ $S_y = 10960666.09$	$S_x = 9193520.13$ $S_y = 10960666.09$	$S_x = 9193520.13$ $S_y = 10960666.09$
8.b	Section modulus (μm^3)	$S_x = 8064871.43$ $S_y = 9597361.35$	$S_x = 8064871.43$ $S_y = 9597361.35$	$S_x = 8064871.43$ $S_y = 9597361.35$

Foams are loaded in compression during crash situations, and struts undergo bending deformation due to the cell geometry. As the cross-sectional area and the geometry of the struts change along the length in the case of 316L foams, determination of the area moment of inertia from images becomes important for struts. By changing production parameters like sintering temperature, amount of binder, size of steel powders and sintering time, distribution of the solid around the PU strut can be controlled, thereby modulating the area moment of inertia.

IV.d. Polar Moment of Inertia

Polar moment of inertia of the strut sections shows the resistance of struts against torsion. Here, the polar moment of inertia of the highlighted micrographs in Figs. 8a and b is measured to be about 4844×10^6 and $4171 \times 10^6 \mu\text{m}^4$.

Torsional loading of struts take place rarely when the foams are compressed. In our previous study we observed torsional loading of the struts during cell collapse. However, the hollow geometry is more sensitive to the torsional loading because of edge defects in the strut corners. Those defects have a deleterious effect on the mechanical properties of foams and initial deformation of foam struts takes place on those defects according to our previous study [8]. Structural integration of lense-like solids in a single strut decreases due to the edge defects and quantification of the strut cross-section with polar moment of inertia is a novel approach in foam

struts.

Our developed MATLAB code was verified and validated by analytical results. Further modifications/improvements are needed for the application of image processing in the 3D CT data.

IV. CONCLUSIONS

With developed MATLAB code area moment of inertia, section modulus and polar moment of inertia of struts can be truly determined from real micrographs. This software enables measuring area moment of inertia for complex shaped beams or struts. In the micrographs only solid sections are considered and micropores/macropores are excluded from the calculations to increase the precision of the measurement. An automatic measurement possibility using real strut micrographs/images gives us a chance for the measurement of those properties from CT slices/images in 3-D. Therefore, a change in the area moment of inertia along the length can be determined and possible modifications in the production systems/methods can be carried out to optimize the strut cross-sections.

ACKNOWLEDGMENT

Authors acknowledge for the financial support from the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK), Grant No: 120M054. Ali Can Kaya thanks the Turkish Ministry of Education for a doctoral grant [Grant No. 1416].

REFERENCES

- [1] T. J. Lu, Audrey Hess, and M. F. Ashby, Sound absorption in metallic foams, *J of Appl. Physics*, 85 (1999), 7528-7539
- [2] J. Marx, M. Portanova, A. Rabiei, Ballistic performance of composite metal foam against large caliber threats, *Compos. Struct.*, 225 (2019) 111032.
- [3] Shuo Chen, Mohamed Bourham, Afsaneh Rabiei, Attenuation efficiency of X-ray and comparison to gamma ray and neutrons in composite metal foams, *Radiation Physics and Chemistry*, 117, 2015, 12-22.
- [4] H. Wang, D.F. Zhu, Y. Wu, X.J. Liu, S.H. Jiang, T.G. Nieh, Z.P. Lu, New insight into fabrication of shaped Mg-X alloy foams with cellular structure via a gas release reaction powder metallurgy route, *J. Iron Steel Res. Int.* 2021.
- [5] L.S. Xie, K.C. Chan, The effect of strut geometry on the yielding behaviour of open-cell foams, *International Journal of Mechanical Sciences* 48, 3, (2006) 249-255.
- [6] K. Li, X.-L. Gao, G. Subhash, Effects of cell shape and strut cross-sectional area variations on the elastic properties of three-dimensional open-cell foams, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 54, Issue 4, 2006, 783-806.
- [7] W-Y. Jang, A M. Kraynik, S. Kyriakides, On the microstructure of open-cell foams and its effect on elastic properties, *International Journal of Solids and Structures*, 45, 2008, 1845-1875.

- [8] A.C. Kaya, P. Zaslansky, A. Nikolaus, C. Fleck, Tensile failure observations in sintered steel foam struts revealed by sub-micron contrast-enhanced microtomography, *Mater. Des.* 105 (2016) 190–200.
- [9] A.C. Kaya, P. Zaslansky, M. Ipekoglu, C. Fleck, Strain hardening reduces energy absorption efficiency of austenitic stainless steel foams while porosity does not, *Mater. Des.* 143 (2018) 297–308.
- [10] P. Quadbeck, K. Kümmel, R. Hauser, G. Standke, J. Adler, G. Stephani and B. Kieback, Structural and Material Design of Open-Cell Powder Metallurgical Foams, *Adv. Eng. Mater.* 13 (2011) 1024-1030.
- [11] P. Quadbeck, G. Stephani, K. Kümmel, J. Adler, G. Standke, Synthesis and Properties of Open-Celled Metal Foams, *Mater. Sci. Forum Vols.* 534-536 (2007) 1005-1008.
- [12] A.C.Kaya, Açık hücreli metal köpüklerde hücre sayısının ve anizotropinin enerji absorbe etme verimliliği üzerine etkisi, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 26(1), 45-50, 2020.
- [13] AC Kaya, In situ shear behavior of open-cell austenitic 316L steel foams, *Materials Chemistry and Physics* 252, 2020, 123303
- [14] W.H. Müller, F. Ferber, *Technische Mechanik für Ingenieure*, 2012, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany.
- [15] The Mathworks, Inc., Natick, Massachusetts, MATLAB version 9.3.0.713579 (R2021a), 2021.
- [16] Rec. ITU-R BT.601-7. Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-screen 16:9 Aspect Ratios, (03/2011), Section 2.5.
- [17] Otsu, N., "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62–66.

An Application on Identification with The Face Recognition System

Özlem Güven

ozlemozdemirguven@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0632-9301
System Engineering, Kent Kart Ege Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İzmir, Turkey

Abstract Measures taken in areas such as tracking personnel, patients, students and criminals, protecting mobile devices and combating fraud have evolved with technological developments in artificial intelligence. Today, face recognition systems are used as one of the fast and precise solutions determined for this need, since the identification of the person and identity in these problems requires instantaneous and high accuracy. These systems are generally created by comparing the features in the face images taken from the picture, historical or live video with the features in the real image of the person previously taken. Face recognition systems can be integrated into many applications, as person and identity verification may be required in almost every sector. In this study, a face recognition system was developed in order to verify the driver using public transportation in the transportation sector. In the current system, drivers start the journey by operating the vehicles with their own personnel cards. However, the driver who is authorized to use the vehicle may violate the rules by handing his personal card to an unauthorized driver and risk the driving. For this reason, it has been understood that the personnel cards are insufficient for driver authorization. In order to prevent any accident and violation caused by unauthorized driving, it has become necessary to add a personnel recognition and identity verification module to the system. For this requirement, after the driver has verified his biometric data, it was decided that the verification should be repeated instantaneously, throughout the ride and at certain intervals so that the driver does not give the ride to another driver. By avoiding the methods such as fingerprint reader and iris verification that will distract the driver and risk the driving, a facial recognition system has been created to provide control with video images taken while driving through cameras that are currently on the vehicles and see the driver. In order to check the accuracy of the relevant system, a separate database was created for each driver with the images taken from the videos during the driving at different times. Based on pre-trained deep learning networks with pictures representing drivers, the system was tested with test images in databases using tensorflow and opencv libraries. Thus, it has been observed that the face recognition module developed can increase driving safety with authorized and verified personnel on the smart transportation system.

Keywords: *Face Recognition Systems; Deep Learning; Identification; Intelligent Transportation Systems*

I. INTRODUCTION

A biometric system is an automatic verification system for making certain of (or be conscious of) having seen before the mind and physical qualities of a living person on the base of a physiological quality of like a finger-print, face shapes, voice, iris image, DNA controls or some aspects of behavior like hand-writing or push button on keyboard designs [1], [2]. When these biometric authentication systems used in identification are compared, physiological methods such as fingerprint reader, face recognition and DNA-related controls are more stable than behavioral detection methods such as keystrokes, voice and handwriting. Because the physiological characteristics of the person are generally not deteriorated, changed and remain stable, except for major serious injuries. Despite the aging factor, even if the model can be developed over time, other behavioral characteristics may fluctuate instantaneously due to stress, fatigue or illness, and the detection result may be deviated [3]. Physiological biometric verification system is a widely used subject in the field of computer vision for identification and identification. With the spread of frauds, there has been a need for biometric verification in almost every sector. Face recognition system is one of the frequently used verification systems to meet this need.

In this study, a face recognition system was developed for biometric verification in order to determine whether the driver using the public transport vehicle is authorized and correctly assigned to use the vehicle. In the first part of the study, the face recognition system and the deep learning approach used for this system are mentioned. In the second part, the applied face recognition system is introduced and the results of the study are mentioned.

A. Related Work

Before the use of deep learning networks, at the beginning of face recognition studies, Woody Bledsoe simply classified facial images by using grid lines [4]. In this project, the project was called a human-machine project because the features were extracted manually from human pictures and then used for face recognition by the computer [5]. Then, with a big leap in the recognition system, the study of identifying the face space with eigenfaces, which are the eigenvectors of the cluster of faces, has been brought to the literature [6]. This eigenfaces technique has been developed and applied in many studies [7], [8]. Subsequently, a number of studies were published on methods such as SIFT [9], [10], [11] LBP [12], [13], LEM [14] and HOG [15], [16] that increase face recognition performance. In addition to these methods, methods such as linear discriminant analysis [17], independent component analysis [18], linear regression [19] and principal component analysis [20], [21] were also used for face identification.

Many successful studies on deep convolutional neural network (DCNN) modeling, which are frequently used in modern face recognition applications, have been brought to the literature [22], [23], [24.] In recent years, models that work with different approaches using the DCNN infrastructure are popularly used. For example, the VGG-Face approach was used to estimate the ages of people with face pictures. [25], [26]. Another study used the FaceNet approach to directly optimize embedding without using any intermediate bottleneck layer [27]. The OpenFace approach was proposed and introduced with different applications for the turning point of the face, the posture of the head, the unit of action of the face, and eye-gaze predictions [28], [29]. DeepFace, one of the frequently used approaches, was proposed by Facebook AI Research [30].

ArcFace, which is introduced with its feature of having a clear geometric interpretation because it fits exactly to the geodesic distance in the hypersphere, is another common approach using DCNN [31].

II. FACE RECOGNITION SYSTEM

Face recognition system is frequently used for purposes such as fraud detection, missing person detection, student, children, patient and criminal tracking, passport control, access control for a specific building or a room and protection of personal electronic devices. This type of control mechanisms should be met with fast and highly accurate solutions, as they can be verified from past videos or pictures, and more importantly, they may also need to be made from instant videos. If verification is not done quickly, for example, In a ticket verification, there are long queues that tire customers, electronic devices opened with biometric verification are accessed too late, long waiting times occur at doors opened with access control, and similar problems occur. If the accuracy rates are low in verification, criminals may not be detected, devices belonging to someone else may fall into the hands of users who do not have access, users without pass permission may pass through private gates, and the user with an invalid ticket in ticket validation may pass. Or, on the contrary, since the ticket of the user whose ticket is valid cannot be verified, he cannot use his right of access, the owner of the mobile device cannot access his own device, the passport holder does not match his own passport. For these reasons, Deep Convolutional Neural Network (DCNN) is used in the literature to result in fast and high accuracy of face identification systems.

DCNNs first provide normalization of the pose in the image containing the face, and then map the facial appearance according to the distances between certain features by extracting certain features of the face [31]. While a large data set is available, the ability of this large-scale pattern recognition system to be end-to-end optimized to develop characteristics that strengthen the identification signal, while being resistant to exposure, lighting, and expression variations in the image, is a powerful feature of the DCNN [32]. For the face recognition system, there are generally two basic stages, face verification and face recognition, and three sub-stages for each of them, face detection, feature extraction and classification, respectively. A DCNN detects if there is a face in the image given to it and tags the face. It can extract the high-level features of the face. It yields superior performance measurement results even with a relatively simple classification architecture with multilayer perceptron networks [33].

A. Face Recognition Using DeepFace and ArcFace

DeepFace offers a face recognition approach based on similarity measure by adding richer information about identity to the features learned with deep CNN networks. With this method, the face appearance is captured with high accuracy by making 3-dimensional alignment very quickly. When alignment is complete, the position of each face region is fixed at pixel level. Therefore, it is possible to learn from raw RGB pixel values without the need to apply multiple convolution layers as is done in many other networks[33], [34], [35]. This method uses a data set of 4 million samples covering 4000 unique identities. It uses a Siamese network architecture in which the same CNN is applied to pairs of faces to label the compared faces using some metrics such as cosine

similarity, euclidean distance, and L2 form to distinguish identifiers. With this architecture, the distance between compatible face pairs is minimized and the distance between incompatible pairs is maximized [23]. In summary, with the DeepFace approach, an effective deep neural network (DNN) architecture and learning method has been developed using very large labeled face datasets to obtain a face representation that is well generalized to other data sets. However, an effective face alignment system based on open 3D modeling of faces and a significant improvement in the comparison of labeled faces has been made [30].

In the ArcFace approach, an angular margin penalty, equal to the geodesic distance margin penalty in the normalized hypersphere, is added to simultaneously regulate the interclass inconsistency and intra-class compactness on the loss function soft-max loss using the L1 normalization. This is done by distributing the learned embedding features over a radius hypersphere. The deviation amount is fixed at 0 when adding the margin penalty. The cosine transform is applied to the angle between the i -th property and the weight of that property. Then the individual weight is fixed by L2 normalization. Thus, embedded features are corrected with L2 and scaled again [31]. The steps of the ArcFace approach are presented in the Fig. 1.

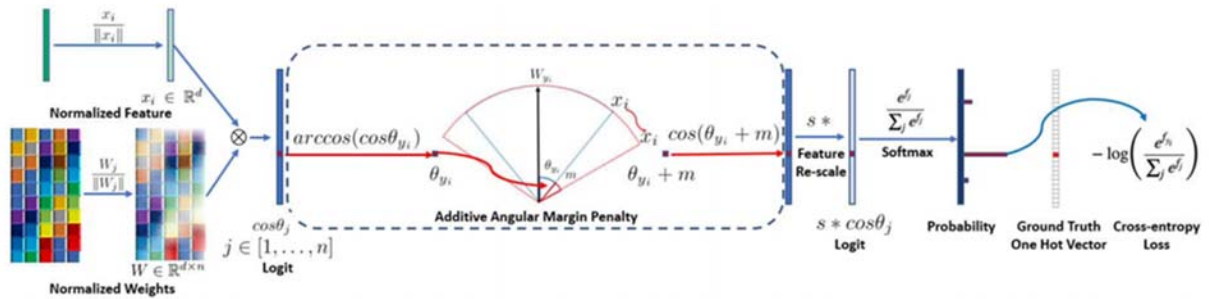


Fig. 1. ArcFace Approach Steps

The steps implemented in the Fig. 1 can be summarized as follows.

- DCNN is trained using the ArcFace loss function.
- $\cos \theta_j$ (logit) transformation is applied.
- Arccos is calculated well.
- The angle between the X_i property and its weight is taken.
- Angular margin penalty is added to.
- $\cos(\theta_j + m)$ is calculated.
- All logits are multiplied by the feature scale s .
- Logits contribute to the loss of cross entropy by passing through the softmax function.

III. CASE STUDY: DRIVER IDENTIFICATION

In this application, since the card-based authorization is not sufficient in a public transportation system where the drivers are authorized with their personal personnel cards, the deep learning face recognition system has been worked on. In the card-based system, it has been observed that the

authorized driver can violate the rules by handing over his personal card to an unauthorized driver, thus putting the driving at risk and accidents caused by the unauthorized user. For this reason, it is necessary to add personnel recognition and identity verification modules to the system in addition to authorization with personnel cards. For this requirement, after the driver has verified his biometric data, the verification must be repeated instantaneously, throughout the ride and at certain intervals in order not to transfer the vehicle to another driver.

The reason why face recognition was preferred in the study is to prevent other biometric verifiers such as fingerprint reader and retina recognition from risking the driving by distracting the driver, and the fact that the voice recognition verifier has lower rates of verification with other noises that may occur in the vehicle and due to traffic. In order to check the accuracy of the applied system, the system was checked offline before authorization control in the live system. For the control, two different data sets consisting of test and original faces were created and these two data sets were compared using DeepFace and ArcFace approaches. Cosine similarity is used as the distance metric used when comparing faces. This distance criterion is a method of measuring the similarity between vectors by computing the cosine angle between two vectors in a multi-dimensional space. Based on pre-trained deep learning networks with visuals representing drivers, the system was tested with test visuals in databases using tensorflow and opencv libraries.

A. Data Set

Application data were obtained from Kentkart, a company working on smart transportation systems, which is a pioneer in the public transportation sector. A vehicle that the company works with has been taken into consideration for testing and a separate test data set was created for each driver authorized to drive this vehicle at different times, with images at the time of driving. In other words, for this data set, pictures were taken from the video images recorded while driving by means of cameras that saw the driver in public transportation vehicles, without detecting the driver (in order not to risk the driving). In order to verify the driver, the pictures with the labels on the personal personnel cards of the drivers are used.

A total of 50 drivers were handled for the test. In order to avoid bias in the performance measurement results, wrong pictures are added as the number of the drivers' own pictures in the test data set of each driver. In the last case, a total of 578 pictures were tested, half of which consisted of correct and half incorrect images.

B. Result and Analysis

In order to measure the success of face recognition application, the confusion matrix was first created and performance measurements were made on this matrix. In a two-class classification problem, there are 4 basic elements of the complexity matrix; True Positive (TP), False Negative (FN), False Positive (FP), and True Negative (TN). The rows of the matrix show the actual state, and the columns the estimated states. Table I represents confusion matrix design.

TABLE I
CONFUSION MATRIX

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

Confusion matrix elements is explained below.

- TP: Number of data correctly predicted when the reference value was correct.
- FN: Number of data predicted incorrectly while the reference value is true.
- FP: The number of data correctly predicted when the reference value was incorrect.
- TN: The number of data that was incorrectly predicted when the reference value was incorrect.

The confusion matrix obtained as a result of the study is as follows in Table II.

TABLE II
CONFUSION MATRIX RESULT

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	225	64
	Negative	8	281

According to the results of Table 2, 225 of the 578 pictures in total actually belong to the right drivers and were correctly estimated as a result of the application. It was determined that the pictures of 281 different drivers belonged to the wrong drivers. 64 pictures were wrongly guessed when they belonged to the right drivers, and 8 pictures were correctly estimated when actually belonging to the wrong drivers.

Accuracy, recall, precision and F1 score metrics were used to measure the success of the face recognition system. Metric formulations have results between 0 and 1, and the higher the results, the higher the success performance of the algorithm from the angle tested.

Accuracy: This ratio simply shows how accurate the algorithm is. It gives the ratio of the number of correctly classified users in the test data set to the number of all users. That is, it shows the percentage of correctly tagged drivers among all drivers. The calculation formulation of the accuracy criterion is shown in (1).

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

When the accuracy result of the study was calculated, it was seen that 87.5% accuracy was obtained as in (2). This means that around 87 out of every 100 pictures can be tagged correctly.

$$ACC = \frac{225+281}{225+281+8+64} = 0.875 \quad (2)$$

Recall (Sensitivity): It is the value obtained by dividing the number of correctly estimated positive samples by the number of positive samples in the entire data set. That is, it gives the ratio showing how much of the data actually classified as positive were correctly classified. It gives the sensitivity of the measurement. The calculation formulation for the recall criterion is shown in (3).

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

When the formulation in (3) is applied to the confusion matrix results, the result of 77.8% is obtained as in (4). In this case, the model constructed is successful in capturing 77.8% of positive classes.

$$Recall = \frac{225}{225+64} = 0.778 \quad (4)$$

Precision: It is the value obtained by dividing the number of correctly labeled positive data by the number of positive samples in the entire data set. That is, it shows how much of the data classified as positive is actually positive. In other words, it gives the positive predictive value of the model. The precision formula is presented in (5).

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

Considering (5), the precision result is obtained as 96.5% in (6). In this case, the ability of the applied model to avoid mislabeling can be interpreted as 96.5%.

$$Precision = \frac{225}{225+8} = 0.965 \quad (6)$$

F1 Score: This criterion is a combination of the recall and precision metrics that are inversely related to each other. The F1 score provides a balance between these two criteria. So this criterion takes into account both false positives and false negatives. It is calculated as in (7) by taking the harmonic average of the sensitivity and precision classes.

$$F1 = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (7)$$

When the model is evaluated in terms of F1 score, the success of the model was determined as 86.2% as seen in

$$F1 = \frac{2*225}{2*225+8+64} = 0.862 \quad (8)$$

IV. CONCLUSION

In this study, a face recognition application was carried out by comparing the real face pictures of the drivers and the random face pictures taken while driving in order to check whether the drivers driving the public transportation vehicle are authorized to drive or not. In the developed

method, drivers were inspected with pre-trained networks using DCNNs, which is a frequently used artificial intelligence method. Application codes were prepared in Python language using DeepFace and ArcFace packages.

As a result of the application, a total of 506 of the 578 images used were correctly identified and thus 87.5% correct labeling result was achieved. In practice, since the main purpose is to detect the unauthorized driver, it is more important to minimize the cases where unauthorized drivers are mislabeled as if they were authorized. For this reason, when focusing on the rate of false positives, obtaining a precision value of 96.5% is a satisfactory result for the application. However, in future studies, it is planned to impose a driving impediment sanction on the drivers who are detected as unauthorized when the application is run on the live system. Considering this situation, it was seen that a balanced minimization should be applied between false negatives and false positives.

REFERENCES

- [1] J. Chris. "Biometrics—When the Person Is the Key." Sensor Review, 1992.
- [2] G. Matteo, D. Maio, and D. Malton. "On the error-reject trade-off in biometric verification systems." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 19.7, 1997, pp. 786-796.
- [3] S. H. Lin, "An introduction to face recognition technology", Informing Sci. Int. J. an Emerg. Transdiscipl. 3, 2000, pp. 1-7.
- [4] W. Bledsoe, "Man-Machine Facial Recognition: Report on a Large-Scale Experiment", Technical Report PRI 22, Panoramic Research, Inc., Palo Alto, California, 1966.
- [5] Ballantyne, Michael, Robert S. Boyer, and Larry Hines. "Woody bledsoe: His life and legacy." AI magazine 17.1, 1996, pp. 7-7.
- [6] M. Turk, A. Pentland, "Face recognition using eigenfaces." Proceedings, IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. IEEE Computer Society, 1991.
- [7] L. Zhao, Y.H. Yang, "Theoretical analysis of illumination in pcabased vision systems," Pattern Recognition, vol. 32, pp. 547-564, 1999.
- [8] A. Pentland, B. Moghaddam, T. Starner, "View-Based and modular eigenspaces for face recognition," Proc. IEEE CS Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 1994, pp. 84-91.
- [9] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", International Journal of Computer Vision, 2004, pp: 91– 110.
- [10] R. G. Cinbis, J. Verbeek, C. Schmid. "Unsupervised metric learning for face identification in TV video", 2011 International Conference on Computer Vision. IEEE, 2011.
- [11] T. Ahonen, A. Hadid, M. Pietikainen, "Face description with local binary patterns: Application to face recognition", TPAMI, 2006.
- [12] C. Lu, X. Tang, "Surpassing human-level face verification performance on LFW with GaussianFace." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Vol. 29. No. 1. 2015.
- [13] L. Wolf, T. Hassner, I. Maoz. "Face recognition in unconstrained videos with matched background similarity." CVPR 2011. IEEE, 2011.
- [14] Y. Gao, M. Leung. "Face recognition using line edge map." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 24.6, 2002, pp. 764-779.

- [15] N. Dalal, B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection", In IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition, CVPR 2005 Vol. 1, 2005, pp. 886–893.
- [16] J. Sivic, M. Everingham, A. Zisserman. "'Who are you?'" - Learning person specific classifiers from video." 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2009.
- [17] P.N. Belhumeur, J.P. Hespanha, D. J. Kriegman. "Eigenfaces vs. fisherfaces: Recognition using class specific linear projection." IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence 19.7, 1997, pp. 711-720.
- [18] M.S. Bartlett, "Independent component representations for face recognition." Face Image Analysis by Unsupervised Learning. Springer, Boston, MA, 2001 pp. 39-67.
- [19] I. Naseem, R. Togneri, M. Bennamoun. "Linear regression for face recognition." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 32.11, 2010, pp. 2106-2112.
- [20] L. Sirovich, M. Kirby. "Low-dimensional procedure for the characterization of human faces." Josa a 4.3, 1987, pp. 519-524.
- [21] M. Kirby, L. Sirovich. "Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces." IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine intelligence 12.1, 1990, pp. 103-108.
- [22] K. Fukushima and S. Miyake, "Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of visual pattern recognition" in Competition and Cooperation in Neural Nets., Springer, 1982, pp. 267-285.
- [23] O.M Parkhi, A. Vedaldi, A. Zisserman. "Deep face recognition.", 2015,
- [24] A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", NIPS, 2012.
- [25] Z. Qawaqneh, A.A. Mallouh, B. D. Barkana. "Deep convolutional neural network for age estimation based on VGG-face model." arXiv preprint arXiv: 1709.01664, 2017.
- [26] T. Zheng, W. Deng, J. Hu. "Cross-age lfw: A database for studying cross-age face recognition in unconstrained environments." arXiv preprint arXiv: 1708.08197, 2017.
- [27] F. Schroff, D. Kalenichenko, J. Philbin. "Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2015.
- [28] T. Baltrušaitis, P. Robinson, and L. P. Morency. "Openface: an open source facial behavior analysis toolkit." 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). IEEE, 2016.
- [29] B. Amos, B. Ludwiczuk, M. Satyanarayanan. "Openface: A general-purpose face recognition library with mobile applications." CMU School of Computer Science 6.2, 2016.
- [30] Y. Taigman, M. Yang, M. Ranzato, "Deepface: Closing the gap to human-level performance in face verification." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2014, pp. 1701-1708.
- [31] .D. Jiankang, J. Guo, N. Xue, S. Zafeiriou, "Arcface: Additive angular margin loss for deep face recognition." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019.
- [32] I. Masi, Y. Wu, T. Hassner, P. Natarajan, "Deep face recognition: A survey." 2018 31st SIBGRAPI conference on graphics, patterns and images (SIBGRAPI). IEEE, 2018.
- [33] .W. Hao, Y. Zhou, X. Ji, D. Gong, J. Zhou, Z. Li, W. Liu, "Cosface: Large margin cosine loss for deep face recognition." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2018, pp. 5265-5274.

- [34] Y. Wen, K. Zhang, Z. Li, Y.Qiao, "A comprehensive study on center loss for deep face recognition." *International Journal of Computer Vision* 127.6, 2019, pp: 668-683.
- [35] Y. Sun, X. Wang, X. Tang, "Deep learning face representation from predicting 10,000 classes." In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2014, pp. 1891– 1898.

ANN Based Removal for Salt and Pepper Noise

Bülent Turan^{*,1}

^{*}bulent.turan@gop.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0673-469X

¹Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Tokat Gaziosmanpasa University, Tokat, Turkey

Abstract Salt and pepper noise (SPN) with high intensity are difficult to removal. Both spatial and deep learning-based filters are used in SPN removal. However, according to the authors' information, there is no ANN-based filter for SPN removal. In this study, we propose an ANN-based SPN filter (ANN-bF). ANN network model was created by using the attributes of the nearest pixel values to the noisy pixel to be filtered. The features of 8 noiseless pixels closest to the noisy pixel were used in the creation of the training set. There are 3 attributes for each pixel. These are 1- the noise-free pixel value, 2- the distance in the x direction, 3- the distance in the y direction. A total of 24 attributes are used in the network input. The network output is the value of the noisy pixel before the noise is added (original value). The proposed method has been compared with Adaptive Riesz Mean Filter (ARmF), Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter (DAMRmF), Adaptive Cesáro Mean Filter (ACmF), Improved Adaptive Weighted Mean Filter (IAWMF), Iterative Mean Filter (IMF). Comparison using Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Map (SSIM), Image Enhancement Factor (IEF) quality metrics has been made. The ANN structure created gave better results than the state-of-the-art methods in removing SPN.

Keywords: ANN Based Noise Removal, SPN Removal, Salt and Pepper Noise, Noise Removal, ANN Based Filter

1. INTRODUCTION

PRE-PROCESSING is important to achieve stable results in image processing [1-4]. A lot of noise may occur during the formation and transmission of the image [5-7]. Salt and pepper noise is one of these noises [3]. Mean filters, which are linear, cannot produce good results due to the use of all pixel values in the mask [7]. In salt and pepper noise (SPN) with low density, the median filter is not affected by noise values and produces good results [8].

Adaptive filters using noise-free pixel values for high-density SPN have been developed [1-4,6,8-21]. These filters focus on using only noise-free pixel values. Thanks to this, good results are obtained even at high noise levels. As a result, adaptive versions of both median and mean filters have been developed. Especially of mean filters in SPN removal, success rates have reached high levels [1,2,12-14,19,20]. Because adaptive weighted mean filters also take into account the distance of noise-free pixels to noisy pixels, success rates have increased [1,12,13]. Also nowadays, deep learning methods are also used for SPN removal [5,7,22,23].

Spatial filters have difficulties in detecting edge regions. Therefore, although they are closer to the noisy pixel, they cannot identify the pixels that should have a lower weight. For this reason, it is seen that although the edge regions do not blur in the images obtained with adaptive spatial filters, they cannot fully preserve the edge integrity in the images (Fig. 1.).

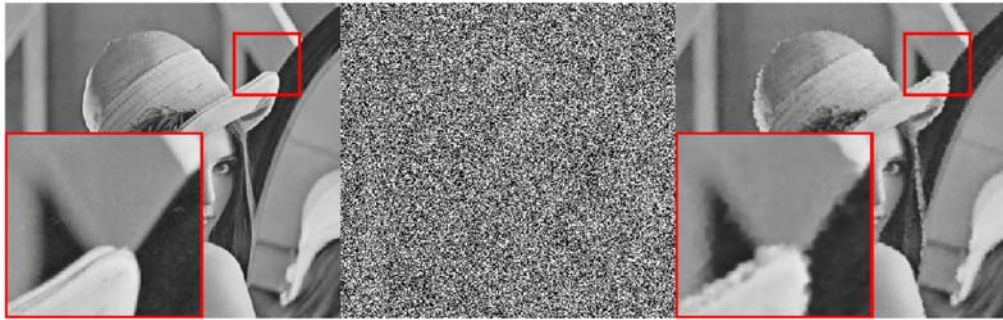


Fig. 1. a. Lena image b. Noisy Lena image 90% c. Removed Lena image with spatial filter.

Artificial intelligence filters may be more advantageous than spatial filters in maintaining edge integrity. Because it determines the relationship between input values and output values with themselves the weights. Deep CNNs are networks whose input and output are images. For this reason, they may have difficulty in determining the relationship between input and output values by focusing on a single output value.

When ANNs are used in solving problems that we can generally determine their attributes, they can provide an advantage against spatial filters and deep networks. For this reason, ANN is used to eliminate noise in the study. The noisy pixel value is related to the noiseless pixel values located nearby. In the study, noisy and noiseless pixels are determined first. Then the noiseless pixels closest to the pixel to be filtered are determined. The features of 8 noiseless pixels closest to the noisy pixel were used as the input data of ANN. At this stage, three attributes are determined for each pixel. These; 1- pixel value, 2- distance of pixel in x direction from noisy pixel, 3- distance of pixel in y direction from noisy pixel. Thus, 24 attributes are given to ANN input for each output. ANN output value is the pixel value to be filtered in the original image.

The ANN developed in the study is expected to create weights that can determine the region where the pixel belongs, especially in the calculation of the pixel values corresponding to the edge regions.

2. PROPOSED METHOD

A. Determination of Attributes

As the network input data planned to be developed in the study, the attributes of the closest 8 noiseless neighbor pixels were used. 3 features for each pixel and a total of 24 features were determined. In the calculation of the value of the noisy pixel, it is thought that the values of the neighboring noiseless pixels, as well as their location in the filter mask, are also important. In Figure 2, the features belonging to the closest noiseless pixel to the noisy pixel are 207, -1, -2 (respectively: pixel value, distance from noisy pixel in x direction, distance from noisy pixel in y

direction). 2. 3. 4. The attributes of the closest pixels are 48,2, -2 // 218, -3,1 // 220,1,3. Both the pixel value and the location of the pixel are expressed with the specified features. Thus, the created network will be able to infer ownership for the pixels corresponding to the edge regions.

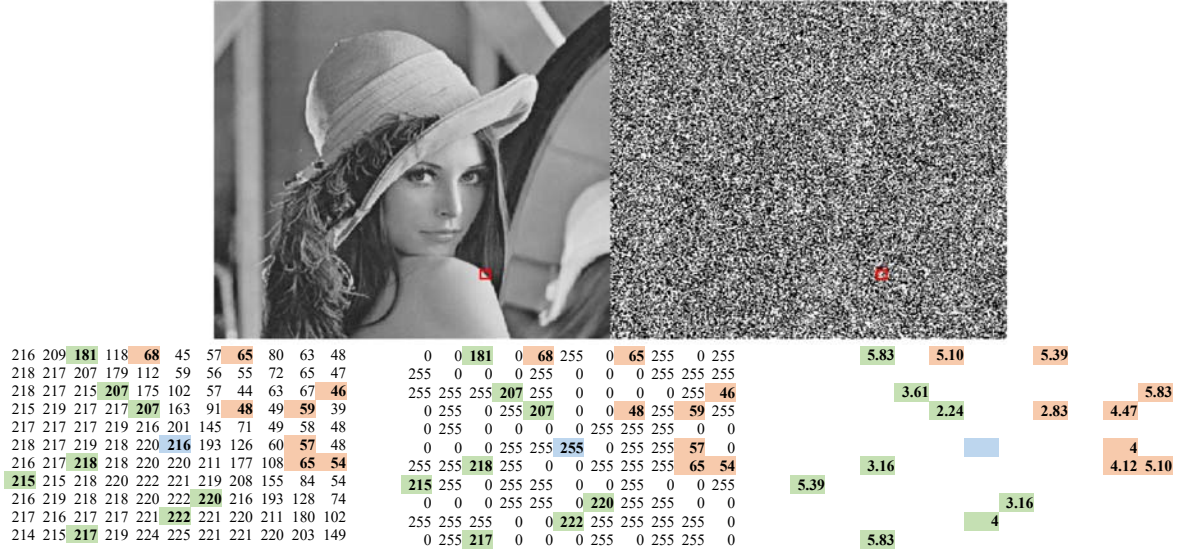


Fig. 2. (a) Original image (b) Noisy image 90% (c) Original image section 11x11 (d) Noisy image section 11x11 (e) Euclidean distances of noiseless pixels to central pixel.

An example of image section is given in Fig. 2. It is seen in the cross section that the noise-free pixels represent two different regions. However, when spatial filtering is used (classical and state-of-the-art filters), the calculation of the pixel value to be filtered is performed without knowing which region it belongs to. Better results can be obtained if the pixel value can only be calculated by using the region to which it belongs, noise-free pixel values. If the methods based on machine learning can be developed well, they can make inferences about the region to which the pixel belongs. Thus, the structure of the edge regions can be better formed during the noise removal stage with methods based on machine learning.

B. Creation the Network Structure

In the study, feedforward back propagation network structure (feedforwardnet) is used. The network structure contains 2 hidden layers consisting of 20 neurons. The education function "trainlm" was used as the transfer function "tansig".

C. Creation the Training Set

In the study, 20 images in Matlab Library were used to create the training set (autumn, sherlock, board, wagon, toysflash, coloredChips, fabric, tissue, liftingbody, pout, football, greens, gantrycrane, trailer, office_4, hands1, pears, westconcordaerial, lighthouse, onion). 9 different noise levels (10%,, 90%) were added to the images. A sample was created for each noise pixel in the images obtained. In the samples, the attributes of 8 noiseless values nearest to the noisy pixel (24 pieces) were recorded as the input value and the original value of the noisy pixel as the output value. Using these images, a training set was created with 19,886,323 samples.

D. Evaluation of the Results

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Map (SSIM), Image Enhancement Factor (IEF) image quality metrics were used to evaluate the results. The PSNR equation is as follows [15,24].

$$PSNR(X, Y) = 10 \log_{10} \left[\frac{(L-1)^2}{MSE} \right] \quad (1)$$

$$MSE(X, Y) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X(i, j) - Y(i, j)]^2 \quad (2)$$

The SSIM equation is as follows [24].

$$SSIM(X, Y) = \frac{(2\mu_X\mu_Y + C_1)(2\sigma_{XY} + C_2)}{(\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1)(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2)} \quad (3)$$

The IEF equation is as follows [15].

$$IEF(X, Y, Z) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (z_{ij} - x_{ij})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{ij} - x_{ij})^2} \quad (4)$$

3. RESULTS

The AAN-bF developed in the study was compared with the Adaptive Riesz Mean Filter (ARmF), Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter (DAMRmF), Adaptive Cesáro Mean Filter (ACmF), Improved Adaptive Weighted Mean Filter (IAWMF), Iterative Mean Filter (IMF). The comparative was made with Lena image, in the TESTIMAGES dataset image (img_600x600_1x8bit_B01C00_GRAY_building), and in the Berkeley200 dataset image (23080). 9 different levels of noise (10%, .., 90%) were added to the images and removal by using methods. PSNR, SSIM and IEF quality metrics of the removal images were obtained and the results are given in TABLE I ANN-bF gave better results than state-of-the-art methods in all comparisons.

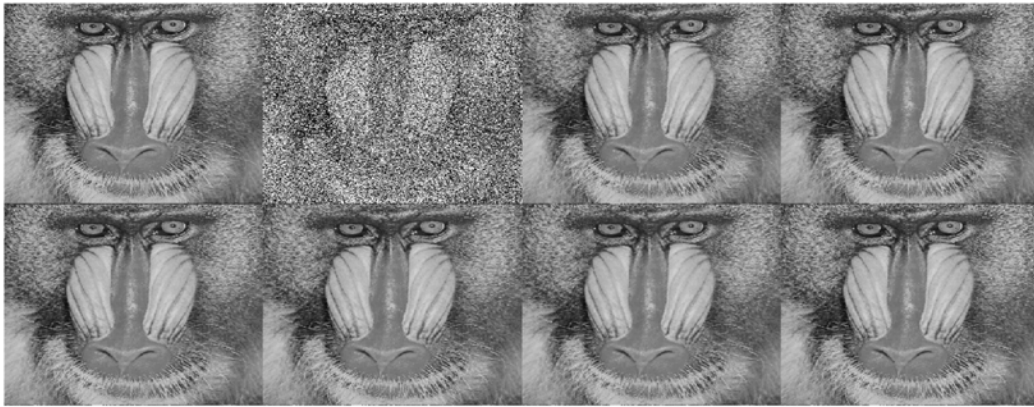


Fig. 3. (a) Original baboon image (b) %30 SPN gürültülü baboon image (c) ACmF PSNR:24.38, SSIM:0.8141, IEF:36.18 (d) ARmF PSNR:24.65, SSIM:0.8250, IEF: 38.39 (e) DAMRmF PSNR:24.75, SSIM:0.8263, IEF:39.65 (f) IAWMF PSNR:24.76, SSIM:0.8287, IEF:39.26 (g) IMF PSNR:24.57, SSIM:0.8137, IEF:38.35 (h) ANN-bF PSNR:24.93, SSIM:0.8350, IEF:40.78.

TABLE I
PSNR, SSIM AND IEF RESULTS OBTAINED BY COMPARED METHODS

			%10	%20	%30	%40	%50	%60	%70	%80	%90
Lena 512x512	ACmF	PSNR	42.74	39.24	37.26	35.43	33.77	32.35	30.58	28.66	26.31
		SSIM	0.9904	0.9796	0.9682	0.9539	0.9360	0.9149	0.8844	0.8429	0.7731
		IEF	595.83	513.25	482.86	429.52	365.41	312.52	237.44	179.12	113.84
	ARmF	PSNR	43.29	39.72	37.72	35.81	34.06	32.57	30.71	28.73	26.34
		SSIM	0.9911	0.9810	0.9701	0.9564	0.9387	0.9179	0.8869	0.8452	0.7744
		IEF	681.38	575.41	539.83	472.59	394.45	331.30	246.47	183.07	115.22
	DAMRmF	PSNR	43.29	39.72	37.72	35.82	34.16	32.80	31.09	29.24	27.00
		SSIM	0.9911	0.9810	0.9701	0.9567	0.9400	0.9212	0.8942	0.8578	0.7958
		IEF	681.20	577.29	541.34	478.09	404.32	354.63	275.85	210.80	135.55
	IAWMF	PSNR	43.16	39.67	37.71	35.81	34.13	32.75	31.02	29.16	26.89
		SSIM	0.9911	0.9810	0.9701	0.9564	0.9393	0.9201	0.8923	0.8553	0.7916
		IEF	661.21	572.15	540.49	473.21	401.41	344.74	266.87	204.29	132.74
	IMF	PSNR	42.66	39.17	37.13	35.37	33.95	32.78	31.22	29.56	27.47
		SSIM	0.9904	0.9796	0.9683	0.9546	0.9388	0.9216	0.8966	0.8631	0.8034
		IEF	589.53	511.64	483.05	437.72	394.80	358.17	291.79	230.56	156.12
	ANN-bF	PSNR	44.67	40.86	38.77	36.77	35.10	33.71	31.96	29.97	27.54
		SSIM	0.9916	0.9819	0.9715	0.9587	0.9438	0.9268	0.9028	0.8682	0.8035
		IEF	904.97	751.28	684.98	592.77	513.41	441.63	345.42	256.84	161.63
img_600x600_1x8bit_B01C00_GRAY_building 600x600 TESTIMAGES Dataset [25]	ACmF	PSNR	39.96	36.72	34.65	33.11	31.57	30.00	28.35	26.57	24.03
		SSIM	0.9907	0.9828	0.9734	0.9622	0.9472	0.9270	0.8967	0.8513	0.7604
		IEF	509.61	450.47	416.65	380.81	336.89	272.23	214.57	159.11	99.90
	ARmF	PSNR	40.87	37.58	35.39	33.77	32.08	30.37	28.60	26.72	24.08
		SSIM	0.9921	0.9855	0.9773	0.9671	0.9528	0.9330	0.9027	0.8567	0.7645
		IEF	626.23	546.41	494.10	442.13	378.38	296.20	227.69	164.82	101.30
	DAMRmF	PSNR	33.07	30.10	28.81	28.60	28.15	28.33	28.00	26.94	24.67
		SSIM	0.9825	0.9738	0.9658	0.9569	0.9437	0.9272	0.9024	0.8631	0.7843
		IEF	371.83	321.18	341.95	365.58	351.78	313.52	255.25	188.64	121.43
	IAWMF	PSNR	40.73	37.68	35.53	33.91	32.22	30.61	28.96	27.13	24.60
		SSIM	0.9916	0.9855	0.9777	0.9679	0.9542	0.9361	0.9087	0.8662	0.7832
		IEF	617.68	562.11	509.43	452.51	391.43	314.75	251.03	184.08	116.62
	IMF	PSNR	39.98	36.61	34.48	32.93	31.45	30.07	28.70	27.20	25.22
		SSIM	0.9910	0.9826	0.9724	0.9601	0.9443	0.9240	0.8950	0.8543	0.7864
		IEF	509.05	446.74	417.43	388.82	353.16	304.73	259.49	204.68	144.73
	ANN-bF	PSNR	43.41	39.71	37.01	35.10	33.18	31.44	29.66	27.78	25.22
		SSIM	0.9941	0.9893	0.9825	0.9738	0.9614	0.9447	0.9181	0.8765	0.7915
		IEF	1332.10	947.09	761.92	639.26	523.74	407.59	319.66	233.45	147.54
23080.jpg 481x321 Berkeley200 Dataset [26]	ACmF	PSNR	37.51	34.11	32.21	30.86	29.33	27.99	26.48	24.86	22.68
		SSIM	0.9840	0.9643	0.9453	0.9222	0.8917	0.8559	0.8106	0.7416	0.6374
		IEF	132.44	126.73	122.39	118.57	100.92	90.33	73.92	58.33	40.92
	ARmF	PSNR	38.28	34.79	32.80	31.38	29.75	28.31	26.68	24.97	22.73
		SSIM	0.983	0.9690	0.9518	0.9305	0.9011	0.8657	0.8196	0.7490	0.6425
		IEF	158.81	149.80	141.20	135.09	111.58	97.80	77.84	60.14	41.55
	DAMRmF	PSNR	38.08	34.69	32.77	31.30	29.80	28.45	26.97	25.41	23.42
		SSIM	0.9859	0.9687	0.9517	0.9300	0.9020	0.8687	0.8264	0.7626	0.6686
		IEF	158.17	149.50	140.89	133.61	112.71	101.08	82.36	66.09	48.08
	IAWMF	PSNR	38.32	34.94	32.93	31.49	29.90	28.51	26.97	25.35	23.22
		SSIM	0.9866	0.9702	0.9535	0.9327	0.9046	0.8714	0.8286	0.7628	0.6646
		IEF	158.80	154.88	145.52	138.23	114.91	102.40	82.55	65.36	46.00
	IMF	PSNR	37.45	34.00	32.06	30.71	29.30	28.13	26.92	25.64	23.88
		SSIM	0.9839	0.9640	0.9446	0.9212	0.8911	0.8572	0.8165	0.7588	0.6739
		IEF	129.66	122.84	116.60	112.64	98.70	91.54	79.29	67.54	51.89
	ANN-bF	PSNR	40.51	36.33	33.90	32.25	30.55	29.06	27.52	25.92	23.92
		SSIM	0.9902	0.9760	0.9598	0.9400	0.9133	0.8810	0.8401	0.7766	0.6809
		IEF	258.17	209.46	179.25	160.25	131.11	112.95	91.11	72.63	53.10

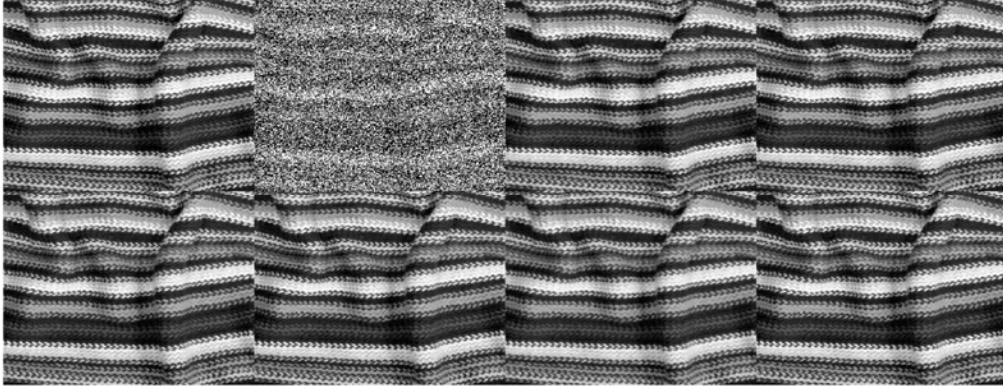


Fig. 4. (a) Original img_600x600_1x8bit_B01C00_GRAY_scarf image [25] (b) %70 SPN gürültülü img_600x600_1x8bit_B01C00_GRAY_scarf image (c) ACmF PSNR:24.76, SSIM:0.8469, IEF:83.63 (d) ARmF PSNR:24.92, SSIM:0.8531, IEF:87.25 (e) DAMRmF PSNR:25.27, SSIM:0.8586, IEF:95.04 (f) IAWMF PSNR:25.28, SSIM:0.8611, IEF:94.96 (g) IMF PSNR:25.04, SSIM:0.8406, IEF:90.52 (h) ANN-bF PSNR:26.13, SSIM:0.8771, IEF:115.67.

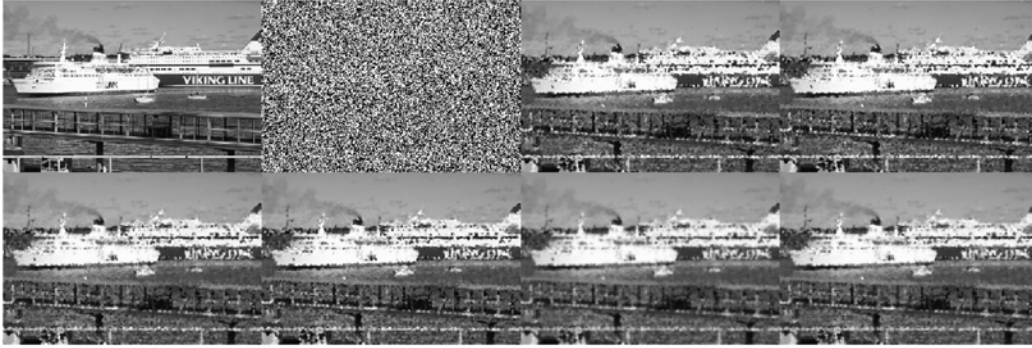


Fig. 5. (a) Original 78019 image [26] (b) %90 SPN gürültülü 78019 image (c) ACmF PSNR:16.98, SSIM:0.5455, IEF:13.59 (d) ARmF PSNR:17.06, SSIM:0.5549, IEF: 13.83 (e) DAMRmF PSNR:17.69, SSIM:0.5752, IEF:15.98 (f) IAWMF PSNR:17.55, SSIM:0.5762, IEF:15.45 (g) IMF PSNR:18.09, SSIM:0.5671, IEF:17.45 (h) ANN-bF PSNR:18.17, SSIM:0.5897, IEF:17.89.

Also, in the testing phase, 30% SPN was added to the baboon image. The noisy image was denoised with all methods and the results of the obtained images and quality metrics are given in figure 3. When the results are evaluated, it is seen that the results obtained with ANN-bF are better than all other methods. 70% SPN has been added to the img_600x600_1x8bit_B01C00_GRAY_scarf image. The noisy image was denoised with all methods and the results of the obtained images and quality metrics are given in Figure 4. When the results are evaluated, it is seen that the results obtained with ANN-bF are better than all other methods. 90% SPN was added to the 78019 image. The noisy image was denoised with all methods and the results of the obtained images and quality metrics are given in Figure 5. When the results are evaluated, it is seen that the results obtained with ANN-bF are better than all other methods.

4. CONCLUSION

In the study, an ANN-based filter has been proposed to removal SPN. ANN-based filters have not been used before in SPN removal. The proposed ANN-bF estimates the pixel value to be filtered with the determined 24 attributes. Two hidden layers are used in the network structure. Each hidden layer consists of 20 neurons. Trained ANN-bF was tested on 6 different images. 9 different levels of noise were added to 3 of them. The 27 noisy images obtained were de-noise-free with both the proposed method and the compared methods, and the results were compared. The results obtained are given in the results section as a table. The one level of noise has been added to the other 3 images. These images are removal from noise and the results are given as images in the results section. In all of the comparisons, the proposed method yielded better results.

The developed ANN-bF must be rerun to filter out all noisy pixel values. For all noisy pixels, the closest 8 noiseless pixels and 24 attributes of these pixels must be found. For this reason, ANN-bF requires longer processing time than other methods. In future studies, the focus will be on improving the network structure, finding the nearest 8 pixels and their attributes with more optimum methods and thus shortening the processing time.

REFERENCES

- [1] U. Erkan, D.N.H. Thanh, L.M. Hieu, S. Enginoglu, "An Iterative Mean Filter for Image Denoising," IEEE Access, vol. 7, pp. 167847-167859, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953924
- [2] S. Enginoglu, U. Erkan, S. Memis, "Adaptive Cesáro Mean Filter for Salt-and-Pepper Noise Removal," El-Cezeri Journal of Science and Engineering, vol. 7, issue. 1, pp. 304-314, 2020. <https://doi.org/10.31202/ecjse.646359>
- [3] N. Loya, A.G. Keskar, "Hybridization of Algorithm for Restoration of Impulse Noise Image," Procedia Computer Science vol. 54, pp. 728 – 737, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.086>
- [4] D.N.H. Thanh, N.N. Hien, P. Kalavathi, V.B.S. Prasath, "Adaptive Switching Weight Mean Filter for Salt and Pepper Image Denoising," Procedia Computer Science, vol. 171, pp. 292–301. Elsevier BV. 2020. <https://doi.org/10.1016%2Fj.procs.2020.04.031>
- [5] B. Fu, X. Zhao, Y. Li, "A convolutional neural networks denoising approach for salt and pepper noise. Multimedia Tools and Applications, vol. 78, pp. 30707–30721, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6521-4>
- [6] R. Himabindu, A. Sujatha, "Implementation of efficient Image Enhancement Factor using Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Median Filter," INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) vol. 02, issue. 09, September 2013.
- [7] Y. Xing, J. Xu, J. Tan, D. Li, W. Zha, "Deep CNN for removal of salt and pepper nose," IET Image Processing, vol. 13, issue. 9, pp. 1550-1560, 2019. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2018.6004>
- [8] B. Karthik, T. Krishna Kumar, S.P. Vijayaragavan, "Removal of high density salt and pepper noise in color image through modified cascaded filter," J Ambient Intell Human Comput, vol. 12, pp. 3901–3908 2021. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-01737-1>

- [9] U. Erkan, S. Enginoğlu, D.N.H. Thanh, L.M. Hieu, "Adaptive Frequency Median Filter for the Salt-and-Pepper Denoising Problem," IET Image Processing, vol. 14, issue. 7, pp.1291-1302, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08110-1>
- [10] Q.Q. Chen, M.H. Hung, F.M. Zou, "Effective and adaptive algorithm for pepper-and-salt noise removal," IET Image Processing, vol. 11, no. 9, pp. 709-716, 2017. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2016.0692>
- [11] X. Wang, S. Shen, G. Shi, Y. Xu, P. Zhang, "Iterative non-local means filter for salt and pepper noise removal," Journal of Visual Communication Image Representation, vol. 38, pp. 440-450, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.03.024> <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.03.024>
- [12] P. Zhang, F. Li, "A New Adaptive Weighted Mean Filter for Removing Salt-and-Pepper Noise," IEEE Signal Processing Letters, vol. 21, issue. 10, pp. 1280-1283, 2014. doi: 10.1109/LSP.2014.2333012
- [13] U. Erkan, S. Enginoğlu, D.N.H. Thanh, S. Memiş, "Improved Adaptive Weighted Mean Filter for Salt-and-Pepper Noise Removal," Proc. of the 2nd International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE), pp. 1-5, 12-13 June 2020, Istanbul, Turkey. doi:10.1109/ICECCE49384.2020.9179351.
- [14] S. Memiş, U. Erkan, "Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter For High-Density Salt-and-Pepper Noise Removal in Grayscale Images," European Journal of Science and Technology, issue. 23, pp. 359-367, 2021. <https://doi.org/10.31590/ejosat.873312>
- [15] S. Enginoğlu, U. Erkan, S. Memiş, "Pixel similarity-based adaptive Riesz mean filter for salt-and-pepper noise removal," Multimedia Tools and Application vol. 78, pp. 35401–35418, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08110-1>
- [16] D.N.H. Thanh, N.H. Hai, V.B.S Prasath, L.M. Hieu, J.M.R.S. Tavares, "A two-stage filter for high density salt and pepper denoising," Multimedia Tools and Applications, 79(29-30), 21013–21035, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08887-6>
- [17] U. Erkan, L. Gökrem, "A new method based on pixel density in salt and pepper noise removal," Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 26, issue. 1, pp.162-17, 2018. doi:10.3906/elk-1705-256
- [18] F. Duan, Y.J. Zhang, "A highly effective impulse noise detection algorithm for switching median filters," IEEE Signal Processing Letter, vol. 17, no. 7, pp. 647-650, 2010. doi: 10.1109/LSP.2010.2049515
- [19] U. Erkan, L. Gökrem, S. Enginoğlu, "Different applied median filter in salt and pepper noise," Computers & Electrical Engineering, vol. 70, pp. 789-798, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.01.019>.
- [20] U. Erkan, L. Gökrem, S. Enginoglu, "Adaptive Right Median Filter for Salt-and-Pepper Noise Removal," International Journal of Engineering Research and Development, vol. 11, issue. 2, pp. 542-550, 2019. <https://doi.org/10.29137/umagd.495904>
- [21] A. Sharadqh, B. Ayyoub, Z. Algadi, J. Al-azzeh, "Experimental investigation of method used to remove salt and pepper noise from digital color image, International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology, vol. 5, issue. 1, pp. 23-31, 2019.
- [22] K. Radlak, L. Malinski, B. Smolka, "Deep Learning Based Switching Filter for Impulsive Noise Removal in Color Images," Sensors (Basel, Switzerland), vol. 20 issue. 10, 2782, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20102782>

- [23] L. Liang, S. Deng, L. Gueguen, M. Wei. X. Wu, J. Qin, “Convolutional neural network with median layers for denoising salt-and-pepper contaminations,” *Neurocomputing*, vol. 442, pp. 26-35, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.02.010>.
- [24] B. Turan, “An Image Enhancement Method For Night-Way Images,” *Balkan Journal Of Electrical & Computer Engineering*, vol. 9, issue. 1, pp. 8-16, 2021. <https://doi.org/10.17694/bajece.802855>
- [25] N. Asuni, A. Giachetti, “TESTIMAGES: A Large Data Archive for Display and Algorithm Testing, *J. Graphics Tools*, vol. 17, no. 4, pp. 113-125, 2015. <https://doi.org/10.1080/2165347X.2015.1024298>
- [26] P. Arbelaez, C. Fowlkes, D. Martin, “The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark, UC Berkeley,” 2007. [Online]. Available: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/>. [Accessed 30 April 2021].

Design and Control of Single Axis Attitude Control System

Mustafa Atakan Afşar^{*,1}, Arif Ankaralı², Ramazan Yeşilay¹

*: maafsar@ybu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7176-6781

¹: Department of Mechanical Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey

²: Department of Aerospace Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey

Abstract Satellites are used for different purposes such as telecommunications, meteorological observations and mapping. They can perform their missions through the data sent from the ground station and have autonomous orbit control. For these reasons, satellites must have an attitude control system (ACS) in order to continue their missions successfully. They are subjected to various disturbances in space conditions like the systems in the earth. These disturbances adversely affect the orientation control of the satellites during their mission. ACS processes the data received from the sensors and sends the necessary control commands to the actuators to satisfy the desired orientation. Verification process of the ACS is tested to minimize the errors on various ground platforms before the satellite is launched to its orbit. The fundamental subject in ACS study is the dynamic responses of satellite systems. Therefore, the dynamics of the whole system regarding the satellite test setup are needed to find out the angular motion and orientation of the system. In this theoretical study, the mechanical system of a satellite test platform which has three degrees of freedom basically is simplified and limited to one degree of freedom system. The aim of this simplification is to focus on one axis control of the system and eliminate the coupling effects of the other axes. After obtaining the equation of motion of the system, the effect of the components on the orientation control is studied. The test setup is controlled with the help of equation of motion obtained. In this work, in addition to the mathematical model calculated, a low-cost experimental test setup implemented with a reaction wheel is designed. The battery, controller and other electromechanical components are all modeled and included on the CAD model. Then, the success of the control method on the system is examined through simulations. The behavior of this test setup is simulated with a PD based controller in MATLAB® Simulink® environment. Moreover, the servomotor dynamics are also modeled in the simulations.

Keywords: Single Axis Attitude Control, Attitude Control Simulations, PD Controller, Single Axis Attitude Precession Control

I. INTRODUCTION

Satellites have developed rapidly in the last 60 years and have been used for different tasks. There are many subsystems of satellites launched into the space for different missions. Examples of those subsystems are; power supply system [1,2], attitude control system (ACS) and thermal control system [3,4]. Each sub-system has its own special functions, and each component of the system cooperate with the others. ACS is an important subsystem that controls the required orientation of the satellite in its orbit [5–8]. While satellites change their orientation to the earth at

a certain time for imaging purposes, sometimes they also rotate their solar panels towards the sun for charging batteries. ACS changes orientation of satellite by driving actuators with the help of different physical sensors such as star sensors, sun sensors, horizon sensors and gyroscopes that detect the position of the satellite [9]. Actuators such as reaction wheel, magnetorquer and cold gas thruster are used in satellites [10,11]. Reaction wheels are preferred because they change the orientation of the satellite quickly and precisely by the law of conservation of angular momentum [12,13]. ACS of the satellite should be verified with some ground tests before launched. Various simulators which are used for ground tests simulate the space environment for satellites [14]. Spherical air bearing type simulators are often used to simulate the space environment [15–17]. Spherical air bearing simulators provide frictionless and torque-free environment for controlling pitch, yaw and roll angles of satellite as 3 degrees of freedom (DOF). Coincidence of center of gravity of test body and center of rotation of simulator provides torque-free environment for simulator [10]. While the design and production of spherical air bearings are challenging, design of control system also requires special expertise. The control methods such as PID control, Sliding Mode Control, H_∞ control, Fuzzy Logic control and linear quadratic regulator (LQR) control are used in attitude control of such systems [18–22].

In this study, single DOF system is designed for investigating of the satellite dynamics and the controller design of the system on one axis. The system designed is free to rotate in yaw axis in order to model the precession motion of a single axis [23]. Later, the mathematical model of the system is obtained, and PD controller has been designed for the system. The simulations related with the single axis precession motion control of the system are realized successfully in MATLAB® Simulink® environment.

II. MECHANICAL DESIGN OF THE SYSTEM

Since system's orientation will be controlled with the angular momentum generated by the wheel, the design process should be carried out as carefully as possible. Ground tests cannot fully simulate the space environment because the systems are exposed to different disturbances. The angular momentum generated by the wheel is decreased by bearings that placed on the rotation axis because of friction. Therefore, concentricity should be processed very precisely in design and manufacturing around bearing areas in order to minimize the system friction and prevent misalignment of the bearings.

Another important point in mechanical design is the inclination. The angle of inclination of the plane where system is placed must be zero or very close to zero. Since this design is suitable for the laboratory, there is an additional mechanism at the base. This mechanism is designed to adjust the angle of inclination of the system to zero if there is an inclination on the plane where the system is placed.

Many materials of the system are compatible with 3D printing. However, some aluminum parts are designed for bearing placement areas. Thus, bearings can be mounted as desired. Moreover, the coupling application for the reaction wheel and DC motor is designed as in Fig. 1. The rotor inertia of the DC motor has also been taken into account while designing the ACS system.

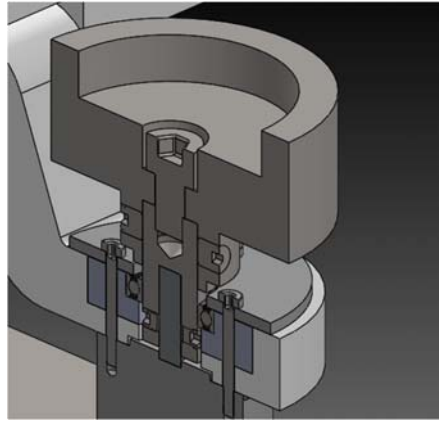


Fig. 1. Cross-section of coupling application for reaction wheel and DC motor

Similarly, important parts such as the rotation shaft are designed by suitable material selection. Microprocessor and motor controller units of the system are also replaced in CAD environment. Mechanical properties of the parts such as weight and center of gravity are calculated precisely and included in the CAD environment. Thus, the required static balance of the whole system is satisfied. Manual-balancing system has been included the design to balance the center of gravity. If the system is statically unbalanced, holes on the frame can be used to assembly screws for manual balancing. The system, whose mechanical design has been completed with all electronic and mechanical parts, is shown in Fig. 2. Design is ready for manufacturing and assembly processes. Technical drawings of the parts to be machined have been carefully prepared taking into account geometric dimensioning and tolerances.

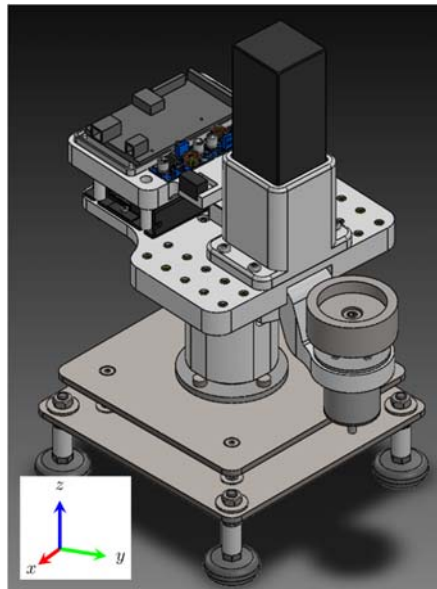


Fig. 2. System with all required components

There are some stationary parts in the design. Since these parts are not included in the dynamic equation, they will be excluded from the simulations. Subassemblies are prepared in SolidWorks® for I_w and I_{pl} calculations are explained in the fourth section. A sub-assembly is created that includes coupling mechanism of reaction wheel and DC motor. This sub-assembly is named as I_w

and generates torque around rotational axis of system. Other rotational parts except than first sub-assembly is also created to calculate inertia of platform.

III. EQUATIONS OF MOTION

Dynamics systems are divided into two main groups as particle dynamics and rigid body dynamics. In particle dynamics, calculations are usually done with vectors such as velocity, acceleration, and momentum that occur in the center of gravity (CG). In this respect, calculations are done as if the system was viewed from long distance. In the rigid body dynamics, each component in the system is evaluated separately and the effect of these components on the system is observed. In this study, rigid body dynamics is required while examining orientation and angular motion of satellite test setup. Angular momentum created by the actuators is utilized when changing the orientation of the satellites. Angular momentum of the rigid body is shown in (1) [23].

$$H_{body} = \int \mathbf{r} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) dm = \begin{bmatrix} I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_y & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \quad (1)$$

$\mathbf{H} [kg \cdot m^2/s]$ is angular momentum matrix of the system. $\mathbf{r} [m]$ is the position vector of the infinitesimal mass dm in body-fixed xyz frame. $\boldsymbol{\omega} [rad/s]$ is angular velocity vector of the system. $\mathbf{I} [kg \cdot m^2]$ is a 3x3 inertial matrix of the system. The values in the diagonal elements of inertia matrix are defined as moments of inertia. These elements always have to be positive value. However, the values of product moments of inertia $-I_{xy}$, $-I_{xz}$ and $-I_{yz}$ may be zero, negative or positive. Moments of inertia and their products are formed according to shape and mass distribution of rigid body.

The values of the products of inertia are equal to zero when the xyz orthogonal coordinate frame of a rigid body is placed on the plane of symmetry axis. In this case, xyz orthogonal coordinate frame are defined as the principal axes. In this paper, principal axes are defined as 1, 2 and 3 instead of x, y and z respectively like in (2).

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & I_2 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

It should be noted again that the principal axes are at the center of gravity of the satellite and rotate together with the xyz coordinate axes of the satellite. Angular momentum of the satellite with respect to the principal axes is given in (3).

$$\mathbf{H} = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & I_2 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1\omega_1 \\ I_2\omega_2 \\ I_3\omega_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Principal axes can be obtained by using eigen vectors of arbitrary inertia matrix. Principal axes of inertia matrix can also be calculated with values of eigen vectors. Solution of problems are simplified if principal axes of inertia matrix used in calculation.

The sum of all external torques for rotational motion is equal to the change of angular momentum about inertial frame with respect to time [23] and is shown in (4).

$$\mathbf{M} = \dot{\mathbf{H}}|_{fixed} \quad (4)$$

\mathbf{M} [$N \cdot m$] is the sum of the torques at the satellite's center of gravity. Subscript “fixed” represents that the derivative is respect to the inertial frame depending on the time. Angular momentum is defined according to rotating axes of the satellite. Therefore, absolute angular momentum can be defined as in (5) [24].

$$\dot{\mathbf{H}}|_{fixed} = \dot{\mathbf{H}}|_{rot} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} \quad (5)$$

Change of angular momentum with respect to time can be defined as in (6) for rotating axes.

$$\dot{\mathbf{H}}|_{rot} = \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} = I_1\dot{\omega}_1\mathbf{u}_1 + I_2\dot{\omega}_2\mathbf{u}_2 + I_3\dot{\omega}_3\mathbf{u}_3 \quad (6)$$

\mathbf{u} is unit vectors in principal axes. The last term of (5) can be obtained as in (7) if body-fixed frame is assumed as the principal axis.

$$\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 \\ I_1\omega_1 & I_2\omega_2 & I_3\omega_3 \end{vmatrix} = (I_3\omega_2\omega_3 - I_2\omega_2\omega_3)\mathbf{u}_1 - (I_3\omega_1\omega_3 - I_1\omega_1\omega_3)\mathbf{u}_2 + (I_2\omega_1\omega_2 - I_1\omega_1\omega_2)\mathbf{u}_3 \quad (7)$$

Moments in principal axes can be obtained as in (8) by using of (4-7).

$$M_1 = I_1\dot{\omega}_1 + (I_3 - I_2)\omega_2\omega_3 \quad (8a)$$

$$M_2 = I_2\dot{\omega}_2 + (I_1 - I_3)\omega_1\omega_3 \quad (8b)$$

$$M_3 = I_3\dot{\omega}_3 + (I_2 - I_1)\omega_1\omega_2 \quad (8c)$$

(8) is known as Euler moment equations [25]. These equations are nonlinear, coupled and first order differential equations. Angular velocities in rotating axis are obtained with the help of solution of Euler moment equations. Since system can only rotate about third axis, (8c) moment equation should be used. Moment equation on third axis can be written as (9) because of constraint about pitch and roll axes ($\omega_1 = \omega_2 = 0$).

$$M_c = I_3\dot{\omega}_3 = I_3\ddot{\phi}_3 \quad (9)$$

M_c represents the external control torque applied to the third axis and ϕ_3 [rad] represents rotation of system about third axis. $\ddot{\phi}_3$ is second order derivative of ϕ_3 with respect to time. Since the system is driven by a reaction wheel, the mathematical model of the wheel must also be obtained to find the equation of motion. I_3 can be defined as $I_{pl} + I_w$. Mechanical properties of the reaction wheel are not included into I_{pl} . I_w is the moment of inertia of the reaction wheel. Angular momentum of the system is obtained as (10).

$$\mathbf{H} = (I_{pl} + I_w)\omega_3 + I_w\omega_w = I_3\omega_3 + I_w\omega_w \quad (10)$$

ω_w is angular velocity of the reaction wheel. The moment equation is obtained by taking the derivative of (10) with respect to time. Angular momentum is constant because of no external torque on the system, and its derivative is equal to zero. Equation of motion is obtained as in (11).

$$\ddot{\phi}_3 = -\frac{I_w}{I_3}\dot{\omega}_w \quad (11)$$

$\dot{\omega}_w$ is first-order derivative of angular velocity of the reaction wheel. (11) describes the conservation of angular momentum law. The acceleration of the system is lower than the acceleration of the wheel. Because I_w / I_3 expression is always less than one.

IV. CONTROLLER DESIGN

Satellites generally have active attitude control systems in order to perform their duties. Sensors on the satellite feedback to ACS. Control algorithm of ACS sends the necessary command to the actuators on the satellite to ensure that the satellite is in the desired orientation.

The representation of the closed loop attitude control system with block diagrams is shown in Fig. 3. Euler moment equations are included in the satellite dynamics block. Different type of control methods such as PID, LQR etc. can be used in controller block. Controller compares the data received from sensors with reference input and tries to rotate the system to the desired position considering the dynamics of the satellite itself. The data received from the sensors is feedback and the controller tries to catch the required position of the system. The error occurring is the difference between the reference input and measured feedback signal.

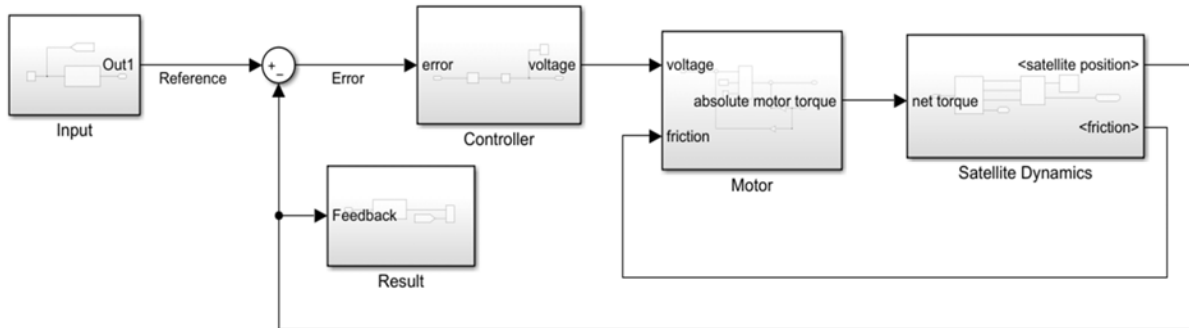


Fig. 3. Closed-loop attitude control block diagram in Simulink®

The controller, satellite dynamics block, and the sensors are shown in Fig. 3. whose can be expressed with transfer functions. The transfer function can be obtained by dividing the Laplace transform of the output to the Laplace transform of the input, and it is utilized to understand and analyze the relationship between input-output in dynamic systems [26].

A. Mathematical Models of Reaction Wheel and DC Motor

External torques applied to the wheel can be defined as motor torque T_m and friction torque $T_f = b\omega_w$. When Newton's second law is applied with the sum of these torques, (12) is obtained.

$$I_w \dot{\omega}_{w,abs} = T_m - b\omega_w \quad (12)$$

Where, b [Nms/rad] is coefficient of viscous friction. Dynamic model of the reaction wheel is obtained as in (13) after various mathematical operations are performed where $I_{pl} = I_3 - I_w$.

$$\dot{\omega}_w = \frac{I_3}{I_{pl}I_w} (T_m - b\omega_w) \quad (13)$$

The torque of DC motor is as shown in (14) and it is a linear function of the motor current.

$$T_m = K_m i_m \quad (14)$$

K_m [Nm/A] is motor torque constant. K_m changes according to strength of magnetic field of DC motor, length of winding wires and radius of rotor. i_m [A] is electrical current of DC motor. DC motors include a voltage source e_{in} [V], electrical resistance R [Ω] and inductance L [H] of the winding wires as an electrical circuit. When Kirchhoff's and Ohm's Laws are applied to DC motors, (15) is obtained. Thus, the mathematical model of DC motor is obtained.

$$T_m = \frac{K_m}{R} (e_{in} - K_b \omega_w) \quad (15)$$

B. Controller Design

A closed loop block diagram of single axis attitude control with a reaction wheel is shown in Fig. 3. The desired reference angle ϕ_{ref} is compared with the actual angle ϕ of the satellite and the orientation error ϕ_e is obtained. ϕ_e is the input of the controller block. The electrical voltage e_{in} to drive the DC motor is the output of the controller block.

Friction model of reaction wheel is not included in this paper because experimental data are needed. Thus, the wheel friction b and back-emf K_b are neglected. When various mathematical simplifications are done, the controller block $G_c(s)$ can be designed according to the solution of second order differential equation. Acceleration equation of the system is obtained in (16) and transfer function of closed loop system is given in (17).

$$\ddot{\phi} = -\frac{K_m}{RI_{pl}} e_{in} \quad (16)$$

$$\frac{\phi}{\phi_{ref}} = \frac{G_c(s) \frac{a}{s^2}}{1 + G_c(s) \frac{a}{s^2}} = \frac{G_c(s) a}{s^2 + G_c(s) a} \quad (17)$$

Where, a is $-K_m/RI_{pl}$. (18) can be obtained by rewriting of denominator of (17) for PD controller.

$$s^2 + (K_p + K_D s) a = s^2 + a K_D s + a K_p \quad (18)$$

Undamped second order characteristic equation is shown in (19) [27].

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (19)$$

ζ is damping ratio and ω_n is undamped natural frequency. When (18) is solved as (19), proportional gain and differential gain are obtained as in (20a) and (20b) respectively.

$$K_p = \frac{\omega_n^2}{a} = \frac{-RI_{pl}\omega_n^2}{K_m} \quad (20a)$$

$$K_D = \frac{2\zeta\omega_n}{a} = \frac{-2RI_{pl}\zeta\omega_n}{K_m} \quad (20b)$$

ω_n can be obtained as in (20).

$$\omega_n = \frac{4}{t_s \zeta} \quad (21)$$

Where t_s [s] is settling time.

I_{pl} and I_3 inertia matrices used in the equations is moved to center of rotation by using Parallel Axis Theorem. Then, moments of inertia in the principal axes are obtained with a code prepared in MATLAB® environment.

V. RESULTS AND DISCUSSION

Equations obtained in the third and fourth sections are solved in Simulink environment depending on time. Parameters used in the simulations are given in Table I.

TABLE I
PARAMETERS FOR SIMULATION

Symbol	DESCRIPTION	Value
ϕ_{ref}	Reference angle	110°
K_m	Torque constant of DC motor	0.0217 N · m/A
R	Terminal resistance	0.199 Ω
I_{pl}	PMI* around Z axis of platform	0.0228 kg · m ²
I_w	PMI* around Z axis of wheel and rotor	0.0175 kg · m ²
K_p	Proportional gain	-0.16159 V/rad
K_D	Derivative gain	-0.25733 V · s/rad
t_s	Settling time	6.5 s
ζ	Damping ratio	0.7

PMI* = Principal moment of inertia

In this simulation, the result of the precession motion is shown in Fig. 4a. The angular momentums of the system (blue color) and wheel (red color) were found out as expected in accordance with the angular momentum conservation law. Comparison of angular momentums are shown in Fig. 4b.

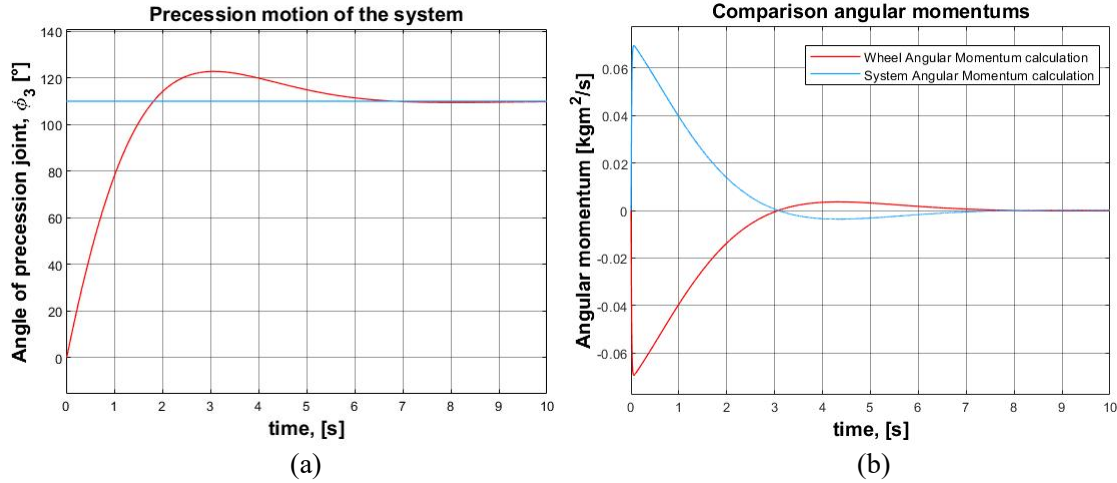


Fig. 4. a. Precession motion response of the system.
b. Angular momentums of the wheel and the system itself.

Since the frictions of the reaction wheel and rotation shaft of platform are not included, angular momentums are exactly symmetrical to each other. Friction models should be added to both the reaction wheel and the platform to improve this work. In addition to this, experiments on the real system are required to verify the response obtained through simulations.

VI. CONCLUSION

In this study, a single axis orientation control system driven by reaction wheel is designed. In addition to the mechanical design of the system, the precession motion has been successfully controlled with a PD based controller. All of the parts are designed in accordance with the desired functionality. The design includes a rotation mechanism, coupling mechanism, spring adjustment mechanism for flatness and mass-balancing systems. Some of the parts are designed for possible production with 3D printing method, while some parts are designed for conventional manufacturing methods.

A mathematical model that represents the dynamics of the system has been obtained. Euler's moment equations are utilized to obtain the equation of motion of the system. K_p and K_D gains for PD controls were calculated, and the system control was successfully simulated in Simulink® environment.

Manufacturing the prototype of this system and control studies on the real physical the-system remains for further studies. Moreover, an improved mathematical model will be developed for a better simulation by considering the frictions in the reaction wheel and in the bearings that allow precession motion.

REFERENCES

- [1] Colombo, G., Grasselli, U., De Luca, A., Spizzichino, A., and Falzini, S. "Satellite Power System Simulation." *Acta Astronautica*, Vol. 40, No. 1, 1997, pp. 41–50. [https://doi.org/10.1016/s0094-5765\(97\)00022-2](https://doi.org/10.1016/s0094-5765(97)00022-2).
- [2] Mulla, R. T., Shinde, P. N., and Shinde, J. P. "High Efficiency Electrical Power Supply System for Satellite." *Proceedings of the International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2018*, No. Icirca, 2018, pp. 425–430. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA.2018.8597270>.
- [3] Jia, L., Yunze, L., and Jun, W. Modeling and Analysis of MEMS-Based Cooling System for Nano-Satellite Active Thermal Control. 2008.
- [4] N. Sozbir, M. Bulut, M.F.Oktem, A.Kahriman, A. C. "Design of Thermal Control Subsystem for TUSAT Telecommunication Satellite." *International Journal of Computer and Systems Engineering*, Vol. 2, No. 7, 2008, p. 4.
- [5] Yang, Y., and Cao, X. "Design and Development of the Small Satellite Attitude Control System Simulator." *Collection of Technical Papers - AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, 2006*, Vol. 1, No. August, 2006, pp. 157–162. <https://doi.org/10.2514/6.2006-6124>.
- [6] Candinia, G. P., Piergentilib, F., and Santoni, F. "Miniaturized Attitude Control System for Nanosatellites." *Acta Astronautica*, Vol. 81, No. 1, 2012, pp. 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.07.027>.
- [7] Thomas, D., Wolosik, A., and Black, J. "CubeSat Attitude Control Simulator Design." *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, 2018*, 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-1391>.
- [8] Chesi, S., Perez, O., and Romano, M. "A Dynamic Hardware-in-the-Loop Three-Axis Simulator of Nanosatellite Dimensions." *Journal of Small Satellites*, Vol. 4, No. 1, 2015, pp. 315–328.
- [9] Tissera, M. S. C., Chia, J. W., Low, K. S., and Xing, Y. T. "A Novel Simulator for Measuring the Performance of Nanosatellite's Attitude Control System." *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2016. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500796>.
- [10] Oliveira, A. M. De, Kuga, H. K., and Carrara, V. Air Bearing Platforms for Simulation of Spacecraft Attitude Control Systems. 2015.
- [11] Cervettini, G., Pastorelli, S., Park, H., Lee, D. Y., and Romano, M. "Development and Experimentation of a CubeSat Magnetic Attitude Control System Testbed." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 57, No. 2, 2021, pp. 1345–1350. <https://doi.org/10.1109/TAES.2020.3040032>.
- [12] Kowalchuk, S. A., and Hall, C. D. Spacecraft Attitude Sliding Mode Controller Using Reaction Wheels. 2008.
- [13] Malekzadeh, M., Rezayati, M., and Saboohi, M. "Hardware-in-the-Loop Attitude Control via a High-Order Sliding Mode Controller/Observer." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 232, No. 10, 2018, pp. 1944–1960. <https://doi.org/10.1177/0954410017706992>.
- [14] Schwartz, J. L., Peck, M. A., and Hall, C. D. "Historical Review of Spacecraft Simulators." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 26, 2003, pp. 513–522.
- [15] Ustrzycki, T., Lee, R., and Chesser, H. Spherical Air Bearing Attitude Control Simulator

- for Nanosatellites. 2011.
- [16] Li, J., Post, M. A., and Lee, R. Nanosatellite Attitude Air Bearing System Using Variable Structure Control. 2012.
 - [17] Ousaloo, H. S., Nodeh, M. T., and Mehrabian, R. "Verification of Spin Magnetic Attitude Control System Using Air-Bearing-Based Attitude Control Simulator." *Acta Astronautica*, Vol. 126, 2016, pp. 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.03.028>.
 - [18] Li, J., Post, M., Wright, T., and Lee, R. "Design of Attitude Control Systems for CubeSat-Class Nanosatellite." *Journal of Control Science and Engineering*, Vol. 2013, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/657182>.
 - [19] Crassidis, J. L., Vadali, S. R., and Markley, F. L. "Optimal Variable-Structure Control Tracking of Spacecraft Maneuvers." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 23, No. 3, 2000, pp. 564–566. <https://doi.org/10.2514/2.4568>.
 - [20] Bang, H., Lee, J. S., and Eun, Y. J. "Nonlinear Attitude Control for a Rigid Spacecraft by Feedback Linearization." *KSME International Journal*, Vol. 18, No. 2, 2004, pp. 203–210. <https://doi.org/10.1007/BF03184729>.
 - [21] Post, M. A., Li, J., and Lee, R. "Nanosatellite Air Bearing Tests of Fault-Tolerant Sliding-Mode Attitude Control with Unscented Kalman Filter." *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2012*, No. August, 2012, pp. 1–12. <https://doi.org/10.2514/6.2012-5040>.
 - [22] Valentin-Charbonnel, C., Duc, G., and Le Ballois, S. "Low-Order Robust Attitude Control of an Earth Observation Satellite." *Control Engineering Practice*, Vol. 7, No. 4, 1999, pp. 493–506. [https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(99\)00006-4](https://doi.org/10.1016/S0967-0661(99)00006-4).
 - [23] Hibbeler, R. C. Three-Dimensional Kinetics of a Rigid Body. In *Engineering Mechanics Dynamics 14th Edition*, 2017, pp. 590–641.
 - [24] Curtis, H. D. *Orbital Mechanics for Engineering Students*. Elsevier Ltd, 2013.
 - [25] Sidi, M. J. Attitude Dynamics and Kinematics. In *Spacecraft dynamics and control: A practical engineering approach*, 1997, pp. 88–111.
 - [26] Ogata, K. Chapter 2: Mathematical Modeling of Control Systems. In *Modern Control Engineering 5th Edition*, 2010, pp. 13–60.
 - [27] Ogata, K. Chapter 5: Transient and Steady-State Response Analyses. In *Modern Control Engineering 5th Edition*, 2010, pp. 159–263.

A Comparison of Diameter Distribution Models for Uneven-aged Kazdağı Fir Stands in Kastamonu Region of Turkey

Oytun Emre Sakici^{*,1}

^{*}: oesakici@kastamonu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4961-2991

¹: Kastamonu University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Kastamonu, Turkey

Abstract The main purposes of this study were to compare Exponential, Exponential-2p, Johnson SB, Weibull-2p and Weibull-3p probability density functions for describing the diameter distribution of uneven-aged pure stands of Kazdağı fir (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) in Kastamonu region of northern Turkey and to investigate the effects of stand characteristics such as mean diameter, number of trees, basal area, stand density and stand type on determining the most appropriate distribution function. The data obtained from 345 sample plots, which were randomly selected among the sample plots in General Directorate of Forestry archives, were used as the study material. Maximum likelihood method was used to estimate the parameters of probability density functions, and Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic was used to determine the success of functions and to decide the most appropriate one. The effects of stand characteristics on the performance of distribution functions were determined by Analysis of variance and Chi-square tests. Analysis of variance was also used to compare the parameters of the most successful function according to stand types. As a result of comparisons, Johnson SB outperformed the other functions. Besides, Weibull functions also performed better than Exponential functions. There were significant differences in the success of probability density functions in terms of stand type, while the functions did not show any difference according to mean diameter, number of trees, basal area and stand density. When the success rankings of probability density functions were compared separately for each stand type, a significant difference was found, and it was determined that Johnson SB function was more successful than the other functions in all stand types. When the parameters of Johnson SB function were examined according to the stand characteristics, it was found that all parameters differed significantly according to stand types, but the other stand characteristics (mean diameter, number of trees, basal area and stand density) did not correlate with the parameters. In conclusion, Johnson SB probability density function was found to be usable for modeling diameter distributions of uneven-aged pure Kazdağı fir stands in Kastamonu region of Turkey.

Keywords: Probability density functions, Johnson SB, Maximum likelihood, *Abies*

I. INTRODUCTION

Considering the balance between the current status of forest resources and the demands of people from forests, forests should be managed in a planned way for optimal and sustainable utilization. The main information required in the arrangement of forest management plans is growth and yield data. With these data, the growth and increment potentials of forest resources and future projections of the products and services offered by forests could be determined [1]. Growth models are used to obtain these data. Depending on the size of the modeling unit, growth models are considered in three groups; (i) Whole-stand models, (ii) Diameter class models, and (iii) Individual (or Single) tree models. Stand models provide general information about the current and future status of basic stand parameters, for instance, number of trees, mean diameter, mean height, dominant height, stand basal area and stand volume as a function of various stand characteristics such as age, site index, and stand density. In diameter class models, the distribution of trees in a stand to the diameter classes (such as 1, 2 or 4 cm) is modeled. Individual tree models examine the effects of stand characteristics on growth dynamics of trees, and present the growth values of single tree characteristics such as diameter, height, basal area and volume [2,3].

In forest inventory activities, the diameters of trees in forest stands are the main data due to the features such as being the easiest to measure among the variables to be used in the development of growth models, showing high correlation with other individual tree features (such as height, basal area, and volume), and ensuring the decisive information to determine the quantities and qualities of wood-based forest products [4-6]. Information about the diameter distribution of stands is of great importance in forest planning and management. Diameter distributions reveal the possible stand structures as a result of different silvicultural interventions, and provide predictions about the variety, amount and financial returns of industrial woods produced in forests managed with the wood production function or the potential of the stand to meet decided ecological expectations in forests managed with ecological functions [7,8]. In addition, diameter distribution data are needed to determine the forest carbon stock as one of the main tools of combating global warming, which is clearly showing its effect in recent years [9-11].

Diameter distribution models are growth models explained with distribution functions, and determine the ratio of the number of trees in each diameter class to the total number of trees in a stand [12,13]. It is stated that the first studies on diameter distributions were the studies by Gram (1883) for beech stands and by De Liocourt (1898) for fir stands [14,15]. While diameter distributions were modeled with the help of mathematical series in the 1930s, the use of probability density functions has been preferred since the 1960s [15]. Probability density functions, when evaluated in forest science scale, are theoretical distribution models to predict the proportional distribution of the total number of trees to diameter classes [16]. The most preferred probability density functions for modeling diameter distributions are Beta, Gamma, Johnson SB, Normal, Lognormal and Weibull functions. [17-20]. With these functions, the ratio of the number of trees in a certain diameter class to the total number of trees in a stand is estimated [17].

It is stated that the success of the diameter distribution models depends on the successful estimation of the parameters of the selected distribution function [15]. Parameters of a distribution function could be estimated by parameter estimation methods (such as maximum likelihood, linear

regression and non-linear regression methods) or parameter recovery methods (such as moments and percentiles methods) [15,16,21]. Another important issue in modeling diameter distributions is deciding on the distribution function to be modeled. All distribution functions have strengths and weaknesses, and the usability of these functions for a subject stand depends on stand characteristics such as stand age (young or mature), stand structure (even- or uneven-aged), and species composition (pure or mixed) [22]. The functions used in the modeling of the diameter distributions give quite successful results in some cases depending on the stand characteristics, while in some cases they may fail. Therefore, no distribution function could be considered as the most successful function in all cases [23]. In order to evaluate the success of distribution functions, it is necessary to determine the characteristics of subject stands and to compare alternative functions according to statistical criteria.

In this study, Exponential, Exponential-2p, Johnson SB, Weibull-2p, and Weibull-3p probability density functions were compared for describing the diameter distributions of uneven-aged pure Kazdağı fir (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) stands in Kastamonu region of Turkey, and the effects of stand characteristics (mean diameter, number of trees, basal area, stand density, and stand type) on determining the most appropriate distribution function were investigated.

II. MATERIAL AND METHODS

This study was conducted in uneven-aged pure Kazdağı fir stands located in Kastamonu region of Turkey. According to the 2019 statistics, 47% (approximately 10.7 million ha) of Turkey forests with a total area of more than 22.7 million ha consists of pure conifer forests. Fir forests comprise 0.6 million hectares of the conifers. In Kastamonu province, where the study was carried out, forests cover a total of 0.9 million ha (66% of the province total area) [24]. The main tree species of the forests in this region are pine, beech, and fir. All fir forests of the region include Kazdağı fir only, and total area of pure Kazdağı fir forests of the region is approximately 27 thousand ha.

The data used as study material were collected from current archive of General Directorate of Forestry (Turkey). In this archive, a total of 2035 sample plot cards including diameter at breast height measurements were identified for uneven-aged pure Kazdağı fir forests of Kastamonu region. The distribution of these plots according to stand types was 687 sample plots for GA stands (old uneven-aged fir stands containing mostly thick trees), 45 for GB (young uneven-aged fir stands containing mostly thin trees), 560 for GC (middle-aged uneven-aged fir stands containing mostly medium-sized trees), and 743 for GD (actual uneven-aged fir stands consisting of a mixture of thick, thin, and middle-sized trees). To model the diameter distributions of Kazdağı fir stands in study area, it was planned to sample each stand type with 100 sample plots. However, GB stands could be sampled by 45 sample plots due to the limited number of plots. For each of other stand types (GA, GC, and GD), 100 sample plot cards were randomly selected from the archive. A weighting was made according to fir forest assets and total sample plot card counts of the forest enterprises in the study area (Table I), and this weighting was taken into account for selection of the sample plots. Thus, the study was carried out with 345 sample plots (Table II). All sample plots were circular and equal-sized (600 m²).

TABLE I
FIR ASSET AND TOTAL SAMPLE PLOTS OF STUDY AREA

Forest Enterprise	Stand Type								Total	
	GA		GB		GC		GD			
	Fir forests (ha)	Number of plot cards	Fir forests (ha)	Number of plot cards	Fir forests (ha)	Number of plot cards	Fir forests (ha)	Number of plot cards	Fir forests (ha)	Number of plot cards
Araç	328.5	20	138.7	11	836.0	97	673.6	47	1976.8	175
Azdavay	376.8	36	-	-	484.7	50	771.5	61	1633.0	147
Bozkurt	28.2	2	19.3	5	194.8	15	480.7	41	723.0	63
Cide	381.3	21	-	-	11.9	6	-	-	393.2	27
Çatalzeytin	441.6	35	-	-	20.9	1	248.9	13	711.4	49
Daday	349.4	45	-	-	569.1	29	903.6	82	1822.1	156
Hanönü	119.8	10	-	-	-	-	32.9	1	152.7	11
İhsangazi	1147.4	202	38.9	7	246.3	29	1090.4	128	2523.0	366
Karadere	633.0	80	78.3	2	227.6	27	345.6	22	1284.5	131
Kastamonu	1216.3	6	-	-	321.8	3	302.0	4	1840.1	13
Küre	744.5	35	732	11	3605.4	141	2651.6	94	7733.5	281
Pınarbaşı	295.8	34	19.2	1	730.5	46	889.5	41	1935.0	122
Samatlar	816.2	123	-	-	38.3	2	763.1	101	1617.6	226
Taşköprü	132.5	17	-	-	-	-	151.6	10	284.1	27
Tosya	227.3	21	146.3	8	1169.4	114	1040.7	98	2583.7	241
Total	7238.6	687	1172.7	45	8456.7	560	10345.7	743	27213.7	2035

TABLE II
NUMBER OF SAMPLE PLOTS SELECTED FOR THE STUDY

Forest Enterprise	Stand Type				Total
	GA	GB	GC	GD	
Araç	5	11	10	7	33
Azdavay	6	-	6	7	19
Bozkurt	2	5	2	5	14
Cide	5	-	-	-	5
Çatalzeytin	6	-	-	2	8
Daday	5	-	7	9	21
Hanönü	3	-	-	-	3
İhsangazi	17	7	3	11	38
Karadere	10	2	3	3	18
Kastamonu	6	-	3	3	12
Küre	11	11	42	26	90
Pınarbaşı	5	1	9	9	24
Samatlar	12	-	1	7	20
Taşköprü	3	-	-	1	4
Tosya	4	8	14	10	36
Total	100	45	100	100	345

Stand characteristics such as mean diameter, number of trees, growing stock, stand density, site quality etc. directly affect the growth dynamics of stands. So, quadratic mean diameter, number of trees, basal area, and stand density [25] were calculated for each sample plot to evaluate the effect of these characteristics on diameter distribution (Table III).

TABLE III
DESCRIPTIVE STATISTICS OF SAMPLE PLOTS

Stand Characteristics		Stand Type				Total (n=345)
		GA (n=100)	GB	GC	GD	
Mean diameter (cm)	Minimum	19.8	14.4	14.7	17.6	14.4
	Maximum	42.1	29.7	34.3	36.3	42.1
	Mean	28.7	20.7	23.7	23.9	24.8
	Std. deviation	4.4	3.5	3.8	3.8	4.8
	Coef. of var. (%)	15.3	16.9	16.0	15.9	19.4
Number of trees (trees/ha)	Minimum	217	367	433	500	217
	Maximum	983	1883	1317	1133	1883
	Mean	583.1	944.1	803.5	739.3	739.3
	Std. deviation	154.2	321.4	196.4	150.1	226.8
	Coef. of var. (%)	26.4	34.0	24.4	20.3	30.7
Basal area (m ² /ha)	Minimum	16.36	10.58	9.33	16.07	9.33
	Maximum	67.97	57.95	59.57	68.99	68.99
	Mean	36.60	30.94	34.90	33.30	34.41
	Std. deviation	8.44	11.03	9.13	10.06	9.62
	Coef. of var. (%)	23.1	35.6	26.2	30.2	28.0
Stand Density	Minimum	3.31	2.79	2.43	3.69	2.43
	Maximum	11.73	13.02	10.73	11.45	13.02
	Mean	6.82	6.78	7.13	6.74	6.88
	Std. deviation	1.36	2.21	1.60	1.63	1.64
	Coef. of var. (%)	19.9	32.6	22.4	24.2	23.8

After the attempts for numerical analysis of stem diameter distributions in early 1900s, many different procedures to represent the diameter distributions of stands have been tested. To characterize the diameter distributions of forest stands, various probability density functions such as Normal [26,27], Log-normal [28-30], Gamma [27,31,32], Beta [26,33-35], Johnson's SB [36-39], Weibull [17,33,40-44], and Exponential [45] have been utilized in literature. In this study, Johnson SB and Weibull functions due to the compatibilities for various stand types and Exponential function because of its suitability for uneven-aged stands were selected to determine their achievements for Kazdağı fir stands of Kastamonu region. Exponential and Weibull functions were evaluated with different parameter numbers, i.e. one and two parameters for Exponential (called Exponential and Exponential-2p in this study) and two and three parameters for Weibull (called Weibull-2p and Weibull-3p). Hence, five probability density functions (Exponential, Exponential-2p, Johnson SB, Weibull-2p, and Weibull-3p) were used (Table IV).

TABLE IV
PROBABILITY DENSITY FUNCTIONS USED IN THE STUDY

Distribution Model	Probability Density Function	Statement
Exponential	$f(x) = \lambda e^{(-\lambda x)}$	λ : Parameter $\lambda > 0$
Exponential-2p	$f(x) = \lambda e^{(-\lambda(x-\gamma))}$	λ, γ : Parameters $\lambda > 0, \gamma \leq x \leq +\infty$
Johnson SB	$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right)}$	$\delta, \lambda, \gamma, \zeta$: Parameters, $z = \frac{x-\zeta}{\lambda}$ $\zeta \leq x \leq \zeta + \lambda, \delta > 0, \gamma > 0$
Weibull-2p	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$	α, β : Parameters $\alpha > 0, \beta > 0$
Weibull-3p	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha}$	α, β, γ : Parameters $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma \leq x \leq +\infty$

To exhibit the diameter distributions of sample plots, the diameters measured in sample plots were grouped into diameter classes of 4 cm starting from 8 cm, which was the minimum diameter measured in sample plots, for each plot. Then, the frequencies of each diameter class were expanded to hectare values in order to be suitable for analysis. To determine the parameters of distribution models, probability density functions were fitted by EasyFit software. In this software, maximum likelihood method is used for parameter estimation, and Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling and Chi-square statistics of functions fitted are given.

The statistical fitness and success of the functions were analyzed with Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic. When comparing the functions, it is assumed that the function with lower KS value is more successful. The functions were ranked from 1 to 5 based on KS values, and these ranks were used to compare functions' success. In addition to the rank evaluations, to exhibit the prediction abilities of the successful functions, distribution graphs based on observed and predicted frequencies were also prepared for some sample plots.

Variance analysis (ANOVA) was used to compare the effect of stand characteristics except stand type (i.e., mean diameter, number of trees, basal area, and stand density) on success of distribution functions. The effect of stand type on performance of functions was analyzed with Chi-square test. ANOVA was also performed to determine parameter differentiations of the most successful function according to stand types. IBM SPSS Statistics 23 software was used for statistical analyzes performed during the study.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Five common probability density functions (Exponential, Exponential-2p, Johnson SB, Weibull-2p, and Weibull-3p) were fitted to describe diameter distributions of uneven-aged pure Kazdağı fir stands in Kastamonu region. Fittings were employed using the data obtained from 345 sample plots, and Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic of each function was determined for each plot. Mean KS statistics of probability density functions and standard deviations were given in Table

V. When the sample plots were evaluated totally, mean KS values of functions ranged from 0.099 (Johnson SB) to 0.326 (Exponential). The minimum KS means belonged to Johnson SB function also for all stand types, and had similar values from 0.096 (GD) to 0.104 (GA). Weibull functions (2p and 3p) had similar results between 0.127 and 0.152 among stand types. The mean values for Exponential-2p function were slightly worse than those for Weibull functions, while Exponential function had the worst results (between 0.300-0.361). With these results, it could be stated that Johnson SB function is more suitable for diameter distributions of Kazdağı fir stands in study area.

TABLE V
MEAN (STD. DEV.) VALUES OF KOLMOGOROV-SMIRNOV (KS) STATISTICS

Distribution Model	GA (n=100)	GB (n=45)	GC (n=100)	GD (n=100)	Total (n=345)
Exponential	0.300 (0.040)	0.361 (0.040)	0.332 (0.038)	0.330 (0.037)	0.326 (0.043)
Exponential-2p	0.179 (0.052)	0.169 (0.049)	0.194 (0.058)	0.169 (0.055)	0.179 (0.055)
Johnson SB	0.104 (0.030)	0.101 (0.035)	0.097 (0.030)	0.096 (0.025)	0.099 (0.030)
Weibull-2p	0.152 (0.040)	0.143 (0.044)	0.127 (0.033)	0.140 (0.039)	0.140 (0.039)
Weibull-3p	0.143 (0.041)	0.144 (0.058)	0.137 (0.048)	0.133 (0.047)	0.139 (0.047)

Distribution functions were ranked from 1 to 5 based on KS statistics for each sample plot. Ranking results were presented in Table VI. When the results were evaluated regardless stand type distinction, Johnson SB function was the best distribution model for 260 sample plots (75.4%) while Weibull-3p for 53 (15.4%), Weibull-2p for 22 (6.4%), and Exponential-2p for 10 sample plots (2.9%). Johnson SB function had also great success for stand types separately. This function was the most successful model for 77, 30, 76, and 77 sample plots of GA, GB, GC, and GD stands, respectively. Although Weibull-3p and Weibull-2p functions had the second and third positions, respectively, their success were on a limited number of sample plots for all stand types. Exponential-2p function was also successful in a few plots. However, Exponential function had not been the most successful model in any sample plot, and had the lowest achievement. Mean ranks of distribution models were 1.29, 2.53, 2.80, 3.39, and 4.99 for Johnson SB, Weibull-3p, Weibull-2p, Exponential-2p, and Exponential functions, respectively, for general evaluation. These results also showed that Johnson SB function was the most compatible distribution model in this study. When the ranking frequencies were compared with Chi-square tests, there were significant differences for all forest types ($p < 0.05$). According to the test results, the success of Johnson SB function was well ahead of other functions, while Exponential function was the worst.

In order to investigate the effect of stand characteristic on distribution models' success, ANOVA tests were used for mean diameter, number of trees, basal area, and stand density and Chi-square test for stand type. ANOVA results showed that the stand characteristics tested had no significant effect on being the best among distribution models ($p > 0.05$). In other words, mean diameter, number of trees, basal area, and stand density values were significantly non-different when sample plots were separated according to the best models (Table VII). However, stand type significantly affected the distribution of the best position among the distribution models ($p < 0.05$). Chi-square test results were given in Table VIII.

TABLE VI
RANKING RESULTS FOR DISTRIBUTION MODELS

Stand Type	Distribution Model	Rank					Mean Rank
		1	2	3	4	5	
GA (n=100)	Exponential	0	0	0	3	97	4.97
	Exponential-2p	2	11	35	51	1	3.38
	Johnson SB	77	20	3	0	0	1.26
	Weibull-2p	4	30	34	31	1	2.95
	Weibull-3p	17	39	28	15	1	2.44
GB (n=45)	Exponential	0	0	0	0	45	5.00
	Exponential-2p	5	6	12	22	0	3.13
	Johnson SB	30	11	4	0	0	1.42
	Weibull-2p	5	13	13	14	0	2.80
	Weibull-3p	5	15	16	9	0	2.64
GC (n=100)	Exponential	0	0	0	0	100	5.00
	Exponential-2p	0	3	29	68	0	3.65
	Johnson SB	76	22	1	1	0	1.27
	Weibull-2p	9	42	37	12	0	2.52
	Weibull-3p	15	33	33	19	0	2.56
GD (n=100)	Exponential	0	0	0	0	100	5.00
	Exponential-2p	3	16	33	48	0	3.26
	Johnson SB	77	18	5	0	0	1.28
	Weibull-2p	4	34	28	34	0	2.92
	Weibull-3p	16	32	34	18	0	2.54
Total (n=345)	Exponential	0	0	0	3	342	4.99
	Exponential-2p	10	36	109	189	1	3.39
	Johnson SB	260	71	13	1	0	1.29
	Weibull-2p	22	119	112	91	1	2.80
	Weibull-3p	53	119	111	61	1	2.53

TABLE VII
ANOVA RESULTS FOR THE EFFECT OF STAND CHARACTERISTICS ON SUCCESS OF THE MODELS

Distribution Model	Mean diameter (cm)		Number of trees (trees/ha)		Basal area (m ² /ha)		Stand density	
	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p
Exponential (n=0)	-	0.182	-	0.051	-	0.477	-	0.288
Exponential-2p (n=10)	22.8		821.9		32.68		6.80	
Johnson SB (n=260)	24.9		748.4		34.87		6.98	
Weibull-2p (n=22)	23.5		772.7		32.64		6.66	
Weibull-3p (n=53)	25.5		665.5		33.20		6.53	

TABLE VIII
CHI-SQUARE TEST RESULTS FOR THE EFFECT OF STAND TYPE ON SUCCESS OF THE MODELS

Distribution Model	GA (n=100)	GB (n=45)	GC (n=100)	GD (n=100)	p
Exponential (n=0)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0.022
Exponential-2p (n=10)	2 (2%)	5 (11%)	0 (0%)	3 (3%)	
Johnson SB (n=260)	77 (77%)	30 (67%)	76 (76%)	77 (77%)	
Weibull-2p (n=22)	4 (4%)	5 (11%)	9 (9%)	4 (4%)	
Weibull-3p (n=53)	17 (17%)	5 (11%)	15 (15%)	16 (16%)	

Parameters of Johnson SB function were subjected to further analysis, since it was the most

successful diameter distribution model for Kazdağı fir stands in study area. When the parameters of Johnson SB function were examined according to the stand characteristics, it was found that all parameters differed significantly according to stand types ($p < 0.05$), but the other stand characteristics (mean diameter, tree number, basal area, and stand density) did not correlate with the parameters ($p > 0.05$). Test results for stand type were given in Table IX. The mean values of γ (shape), δ (shape), λ (scale), and ξ (location) parameters were 0.5784, 0.7734, 46.7380, and 5.6784, respectively, when the sample plots investigated totally. The evaluation according to stand types showed that minimum values of γ , λ , and ξ parameters were observed in GC stands with means as 0.3897, 41.6436, and 4.9215, respectively, while the minimum δ parameters were seen in GA stands with 0.6541 mean value. The maximum values of γ and δ parameters were observed in GB stands, while that of λ and ξ parameters in GA stands. Consequently, it could be stated that, to obtain more reliable results, parameter estimation of diameter distribution models should be made separately for each stand type in Kazdağı fir stands of Kastamonu region.

TABLE IX
ANOVA TEST RESULTS FOR THE PARAMETERS OF JOHNSON SB MODEL*

Stand Type	γ		δ		λ		ξ	
	Mean	p	Mean	p	Mean	p	Mean	p
GA (n=100)	0.4893 ^{ab}	<0.001	0.6541 ^a	<0.001	51.7542 ^b	<0.001	6.6520 ^b	0.011
GB (n=45)	0.9017 ^c		0.8955 ^b		44.9036 ^a		5.3382 ^{ab}	
GC (n=100)	0.3897 ^a		0.8101 ^b		41.6436 ^a		4.9215 ^a	
GD (n=100)	0.6922 ^{bc}		0.8009 ^b		47.3700 ^{ab}		5.5737 ^{ab}	

* Superscripts within table represent homogeneous groups.

In order to exhibit the prediction abilities of the most successful function (Johnson SB), diameter distribution graphs of some sample plots were created for different stand types (Fig. 1). As seen in the graphs, estimations of the Johnson SB function were very similar to observed frequencies for all diameter classes. However, the differences between the measured and observed frequencies were more pronounced in old uneven-aged fir stands (GA) than the other stand types. This result is due to the fact that GA stands contain more diameter classes. Besides, young uneven-aged fir stands (GB) had the closest estimates due to their more compact diameter class structures than other stand types.

There are limited number of studies for diameter distribution of uneven-aged stands in literature. The diameter distribution of uneven-aged beech (*Fagus orientalis*) stands in Turkey were modeled by reverse-J shaped distribution [46]. For a variety of tree species with uneven-aged stand structure, Gamma, Johnson SB, Normal, Lognormal and Weibull functions were compared in Malaysia, and Johnson SB had the most successful results to explain diameter distributions [47]. This result is similar to present study's outcomes. In another study conducted for uneven-aged beech oriented mixed stands located in Iran [48], it is found that the model achievements were related to stand age. The results of the study showed that Lognormal function for young stands, Weibull function for middle-aged stands and Johnson SB functions for old stands were successful.

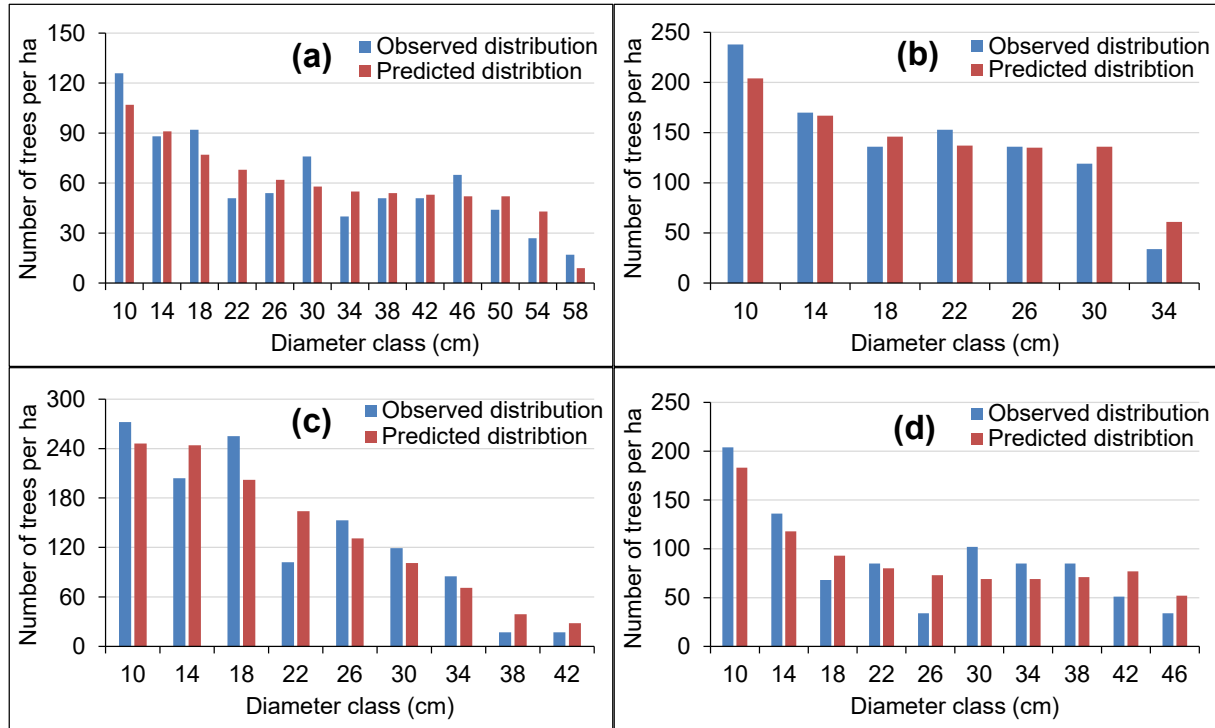


Fig. 1. Prediction performance examples of Johnson SB function for GA (a), GB (b), GC (c), and GD (d) stand types.

These results were only similar to the present study for old stands. While the results differed according to the stand structures in [48], Johnson SB function was successful for all stand types in present study. In other study carried out in a region close to the study area of this study, Exponential, Exponential-2p, Weibull-2p, and Weibull-3p functions were employed to model diameter distributions of Kazdağı fir in mixed stands [45]. According to the study results, Exponential-2p and Weibull-3p functions had similar success in contrast to the present study.

IV. CONCLUSION

In this study, it is aimed to model diameter distributions for uneven-aged pure Kazdağı fir stands in Kastamonu region of Turkey. Exponential, Exponential-2p, Johnson SB, Weibull-2p, and Weibull-3p probability density functions were analyzed based on the data from 345 sample plots, and Johnson SB function was found the most successful function according to Kolmogorov-Smirnov statistic comparisons. When the effect of stand characteristics such as mean diameter, number of trees, basal area, stand density, and stand type on prediction success of functions were investigated, the stand characteristics except stand type had no important effects. However, the frequencies of being best function was statistically different in regard to stand types. In comparisons for parameters of Johnson SB function depending on stand characteristics, there were also non-significant results for these characteristics except stand type. All parameters of Johnson SB function were differed among stand types. In conclusion, parameter estimation of this model should be made separately for each stand type in Kazdağı fir stands of Kastamonu region.

For stands of main forest tree species distributed in Turkey, diameter distribution studies should be continued regarding different ecological conditions of the stands. The results of these studies crucial to reveal the stand projections for managing forests. Instead of temporary sample plots, permanent plots provide more efficient estimates about the diameter distributions of the stands. Thus, effects of various changes in stand characteristics and environmental conditions on the stand diameter distribution could be revealed.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank General Directorate of Forestry (Turkey) for providing the study data.

REFERENCES

- [1] J.K. Vanclay, Modelling forest growth: Applications to mixed tropical forests, Copenhagen: CAB International, 1994, pp. 1-13
- [2] H.E. Burkhart, Growth and yield of southern pines-State of the art, Southern Forest Economists Workshop, 11 p., 1979.
- [3] K.V. Gadow and G. Hui, Modeling forest development, Dordrecht: Springer, pp. 29-179, 1999.
- [4] H.T. Schreuder and W.T. Swank, "Diameter distribution and growth Loblolly pine," Forest Science, vol. 10, pp. 105-114, 1964.
- [5] H. Yavuz, A.U. Gül, N. Mısır, R. Özçelik, and O.E. Sakıcı, Meşcerelerde çap dağılımının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere öğeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, pp. 203-211, 2002 (in Turkish).
- [6] S. Carus and Y. Çatal, "Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde 7-ağaç örnek nokta yöntemiyle meşcere ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının belirlenmesi," Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, vol. 9, pp. 158-169, 2008 (in Turkish).
- [7] D.M. Hyink and J.W. Moser, "A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions," Forest Science, vol. 29, pp. 85-95, 1993.
- [8] A. Laar and A. Akça, Forest mensuration. Dordrecht: Springer, pp. 99-113, 2007.
- [9] W. Chen, "Tree size distribution functions of four boreal forest types for biomass mapping," Forest Science, vol. 50, pp. 436-449, 2004.
- [10] D.A. Coomes and R.B. Allen, "Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests," Journal of Ecology, vol. 95, pp. 27-40, 2007.
- [11] R. Özçelik, T.J. Fidalgo Fonseca, B.R. Parresol, and Ü. Eler, Ü, "Modeling the diameter distributions of brutian pine stands using Johnson's SB distribution," Forest Science, vol. 62, pp. 587-593, 2016.
- [12] F. Loetsch, F. Zöhrer, and K.E. Haller, Forest inventory, Volume II, München: BLV, pp. 41-107, 1973.
- [13] J.J. Gorgoso, J. A. González, A. Rojo, and J.A. Grandas-Arias, "Modelling diameter distributions of *Betula alba* L. stands in northwest Spain with the two-parameter Weibull function," Forest Systems, vol. 16, pp. 113-123, 2007.
- [14] W.B. Leak, "The J-shaped probability distribution," Forest Science, vol. 11, pp. 405-409, 1965.

- [15] K.P. Poudel and Q.V. Cao, "Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions," *Forest Science*, vol. 59, pp. 243-252, 2013.
- [16] H.E. Burkhart and M. Tomé, *Modeling forest trees and stands*. Dordrecht: Springer, pp. 261-298, 2012.
- [17] R.L. Bailey and T.R. Dell, "Quantifying diameter distributions with the Weibull function," *Forest Science*, vol. 19, pp. 97-104, 1973.
- [18] K. Rennolls, D.N. Geary, and T.J.D. Rollinson, "Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution," *Forestry*, vol. 58, pp. 57-66, 1985.
- [19] M. Maltamo, "Comparing basal area diameter distributions estimated by tree species and for the entire growing stocks in mixed stand," *Silva Fennica*, vol. 31, pp. 53-65, 1997.
- [20] C. Liu, L. Zhang, C.J. Davis, D.S. Solomon, and J.H. Gove, "A finite mixture model for characterizing the diameter distributions of mixed-species forest stands," *Forest Science*, vol. 48, pp. 653-661, 2002.
- [21] D.H.B. Binoti, M.L.M.S. Binoti, H.G. Leite, L. Fardin, and J.D.C. Oliveira, "Probability density functions for description of diameter distribution in thinned stands of *Tectona grandis*," *Cerne*, vol.18, pp. 185-196, 2012.
- [22] F. Liu, F. Li, L. Zhang, and X. Jin, "Modeling diameter distributions of mixed-species forest stands," *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 29, pp. 653-663, 2014.
- [23] M. Wang and K. Rennolls, "Tree diameter distribution modelling: introducing the logit logistic distribution," *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 35, pp. 1305-1313, 2005.
- [24] Forestry Statistics of Turkey, [https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Istatistikler/Ormancılık İstatistikleri/Ormancılık İstatistikleri 2019.rar](https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Istatistikler/Ormancılık%20Istatistikleri/Ormancılık%20Istatistikleri%202019.rar), 2019.
- [25] R.O. Curtis, G.W. Clendenan, and D.J. Demars, *A new stand simulator for Coast Douglas-fir: DFSIM Users Guide*, USA: Forest Service Technical Report, 1981.
- [26] J.L. Clutter and F.A. Bennet, *Diameter distributions in old-field slash pine plantation*, Georgia Forest Research Council, Report No: 13, USA, 1965.
- [27] R.L. Bailey, "Individual tree growth derived from diameter distribution models," *Forest Science*, vol. 26, pp. 626-632, 1980.
- [28] C.I. Bliss and K.A. Reinker, "A lognormal approach to diameter distributions in even-aged stands," *Forest Science*, vol. 10, pp. 350-360, 1964.
- [29] J. Lappi and R.L. Bailey, "Estimation of the diameter increment function or other tree relations using angle-count samples," *Forest Science*, vol. 33, pp. 725-739, 1987.
- [30] J.U. Ezenwenyi, A.O. Oladoye, O. Chukwu, and A.O. Basiru, "Diameter distribution of *Nauclea diderrichii* (D Wild) Merr. Plantations in a restricted tropical rainforest of Nigeria," *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, vol. 10, pp. 25-32, 2018.
- [31] T.C. Nelson, "Diameter distribution and growth of Loblolly pine," *Forest Science*, vol. 10, pp. 105-114, 1964.
- [32] S. Carus, "Aynı yaşlı doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky). meşcerelerinde çap dağılımının bonitet ve yaşa göre değişimi," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 46, pp. 171-182, 1996 (in Turkish).
- [33] M. Maltamo, J. Puumalainen, and R. Päivinen, "Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*," *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 10, pp. 284-295, 1995.
- [34] Q.V. Cao, "A method to distribute mortality in diameter distribution models," *Forest Science*, vol. 43, pp. 435-442, 1997.

- [35] J.J. Gorgoso-Varela, A. Rojo-Alboreca, E. Afif-Khoury, and M. Barrio-Anta, M. "Modelling diameter distributions of birch (*Betula alba* L.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in northwest Spain with the beta distribution," *Forest Systems*, vol. 17, pp. 271-281, 2008.
- [36] W.L. Hafley and H.T. Schreuder, "Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands," *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 7, pp. 481-487, 1977.
- [37] J.R.S. Scolforo, F.C.V. Tabai, R.L.G. Macedo, F.W. Acerbi, F. W., and A.L. Assis, "SB distribution's accuracy to represent the diameter distribution of *Pinus taeda*, through five fitting methods," *Forest Ecology and Management*, vol. 175, pp. 489-496, 2003.
- [38] T.F. Fonseca, C.P. Marques, and B.R. Parresol, "Describing Maritime pine diameter distributions with Johnson's SB distribution using a new all-parameter recovery approach," *Forest Science*, vol. 55, pp. 367-373, 2009.
- [39] R.C. Mayrinck, A.C.F. Filho, A. Ribeiro, X.M.D. Oliveira, and R.R.D. Lima, "A comparison of diameter distribution models for *Khaya ivorensis* A. Chev. plantations in Brazil," *Southern Forests*, vol. 80, pp. 373-380, 2018.
- [40] B.E. Borders, R.A. Souter, R.L. Bailey, and K.D. Ware, "Percentile based distributions characterize forest table," *Forest Science*, vol. 33, pp. 570-576, 1987.
- [41] M. Palahí, T. Pukkala, and A. Trasobares, "Calibrating predicted tree diameter distributions in Catalonia, Spain," *Silva Fennica*, vol. 40, pp. 487-500, 2006.
- [42] J.J. Gorgoso, A. Rojo, A. Cámara-Obregón, and U. Diéguez-Aranda, "A comparison of estimation methods for fitting Weibull, Johnson's SB and beta functions to *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris* stands in northwest Spain," *Forest Systems*, vol. 21, pp. 446-459, 2012.
- [43] M.J. Diamantopoulou, R. Özçelik, F. Crecente-Campo, and Ü. Eler, "Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods," *Biosystems Engineering*, vol. 133, pp. 33-45, 2015.
- [44] P. Pogoda, W. Ochał, and S. Orzeł, "Modeling diameter distribution of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) stands in Poland," *Forests*, vol. 10, 412, 2019.
- [45] O.E. Sakıcı and M. Gülsunar, "Diameter distribution of Bornmullerian fir in mixed stands," *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 12, pp. 263-270, 2012.
- [46] E. Atıcı, Değişik Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Ormanlarında Artım ve Büyüme, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998 (in Turkish).
- [47] A.K. Kamziah, M.I. Ahmad, and Y. Ahmed Zuhaidi, "Modelling diameter distribution in even-aged and uneven-aged forest stands," *Journal of Tropical Forest Science*, vol. 12, pp. 669-681, 2000.
- [48] M.K. Larsary, K.T. Abkenar, D. Pothier, H. Pourbabaei, and F.F. Khoshkebijari, "Comparison of probability distribution functions applied to tree diameter and height of three development stages in a mixed beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest in Hyrcanean region of Iran," *Forestry Ideas*, vol. 22, pp. 65-84, 2016.

A Review Paper: The Dynamics, Kinematics, Design and Control Of Satellite Simulators With Spherical Air Bearing

Ramazan Yeşilay^{*,1}, Arif Ankarali², Mustafa Atakan Afşar¹

*: ramazan.yesilayy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9705-8580

¹: Department of Mechanical Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey

²: Department of Aerospace Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey

Abstract Because of the high cost and the long-life requirements of the satellites, they are subjected to various tests on ground before launching. So that all the units assembled to the satellite are tested and checked if they are working properly. The space conditions like near zero friction must be satisfied in the laboratory so that the satellite's orientation controls may be studied. For this reason, different types of simulators are utilized to test these space devices. Spherical air bearing simulators which are often used for checking and validating the attitude control systems are used to simulate only the frictionless space environment where different types of external disturbances are also available. Attitude control systems use different type of actuators that change the orientation of the satellite with the help of the information received from the sensors. In this paper, simulators with spherical air bearing used for testing the attitude control systems available in the literature are examined. Many challenges are encountered that may adversely affect the working conditions during the process from design to manufacturing of the spherical air bearings. Moreover, it is observed that, modeling of the attitude control systems together with the disturbances are also be taken into consideration. So, the required studies from numerical simulations to the ground tests are carefully planned to check the behavior of the attitude control systems. Aim of this study is to make a survey on the dynamic and kinematic analysis, attitude control methods and disturbances on the different types of ground test simulators and various friction models present in the literature. The studies that have contributed to the literature and based on the attitude control systems on simulators, especially in the last 15 years, are examined.

Keywords: *Spherical Air Bearing Simulator, Satellite Attitude Control Systems, Dynamic and Kinematic Equations of Satellite Attitude, Design of Satellite Simulator*

I. INTRODUCTION

Space technology competition between developed countries has increased rapidly with the first satellite launched into space in 1957. Many countries have started to contribute more to technology by launching their artificial satellites to various orbits with the technology developed in the early 2000s. Satellites are one of the strategic technologies for countries due to their duties. Communication satellites, meteorology satellites, navigation satellites, surveillance satellites and space stations are examples of various satellite types. Because satellites have sensitive

technologies, some of their parts are very expensive to produce. Hardware and software tests of satellites are carried out on the earth to minimize the errors of their systems before the satellites are launched. Many simulators have been developed to test satellites from the past to the present. One of the most common method used in simulators is air bearings. Air bearings used to simulate a frictionless environment such as in space. Planar system, rotational system and combined system of air bearings are reviewed [1]. In this paper, spherical type of air bearing simulators is investigated. Orifices placed on several region of the spherical air bearing surface are supplied with clean and dry compressed air from the compressor. The air from the orifices creates a thin air film between satellite body and air bearing. Thus, an almost frictionless environment is simulated. The major purpose of simulators is to test attitude control systems (ACS) of satellites [2]. ACS is a model that includes dynamic and kinematic equations of satellites, mathematical models of hardware and external disturbances in space. ACS changes the orientation of the satellite's solar panels to charge its batteries for maximum efficient or to send and receive information to the ground with the aid of using sensor data.

The space environment can be simulated with reducing the undesirable torques by coinciding with the center of rotation of the air bearing and the center of gravity of the satellite body. Some designs need to mass-balance system for reducing offset between the center of rotation of the air bearing and the center of gravity of the satellite body [3–12].

Orientation of simulator is controlled by actuators which can be classified as cold gas thruster, magnetorquer and reaction wheels [13]. Magnetorquers and reaction wheels are generally used in simulator. An important actuator used in spherical air bearing simulators and satellites is reaction wheels. The reaction wheels are driven by a motor change the orientation of the satellite by generating angular momentum. Bearing is needed between reaction wheels and electric motor because of high speed of rotation of mass. Bearing lubrication is an issue that can cause the ACS to not work effectively [14]. Vibration may occur due to lubrication problem and adversely affect the system components [15].

The kinematic and dynamic equations of simulators are mathematical expressions that must be derived to control the system. Dynamics equations of satellite for control consist of angular momentum, Euler's torque equation, disturbance torques, mathematical model of electrical motor, inertia matrices of satellite components, and frictional models of bearing of reaction wheels. Kinematics, in orientation control describe the angular motion of satellite. Quaternion and Euler rotational angles are two major approaches to model kinematic analysis of satellites [13,16–18].

A system whose dynamics and kinematics are well modeled is convenient to be controlled. The general working principle of the control mechanism is that the actuators ensure the desired torque in the body-fixed frame of platform with the help of the feedback it receives from the sensors and perform this process until the platform reaches the desired orientation.

II. SPHERICAL AIR BEARING SIMULATOR

Spherical air bearings are one of the most common simulators used to test and verify control of satellite attitude. They are known in the literature as aero-static bearings [19]. Spherical air bearings consist of two main parts which are inner hemi-sphere and outer hemi-sphere. Inner hemi-

sphere (top) and outer hemi-sphere (bottom) are shown in Fig. 2. While the inner hemi-sphere has locomotion in the x-y-z axes, the outer hemi-sphere is stator. The spacecraft to be tested is mounted on the inner hemi-sphere. There are no ACS components and the platform design shown in the Fig. 1.a is mounted on the inner sphere. In Fig. 1.b, the simulator with all system components is shown.

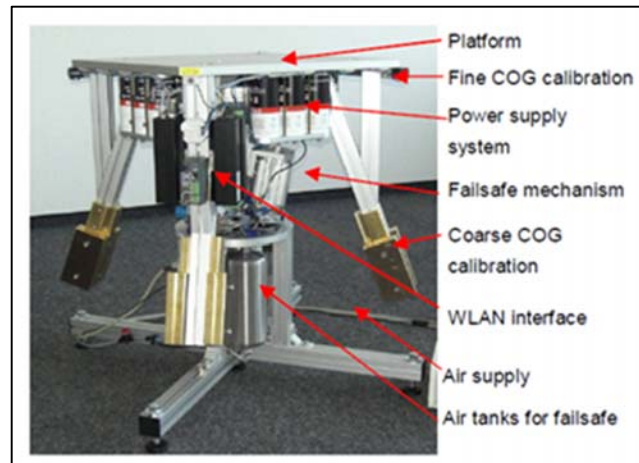


Fig. 1.a. Spherical air bearing platform [20]



Fig. 1.b. Simulator with ACS components and spherical air bearing [21]

ACS verification can be tested because the inner sphere has the ability of rotating about three principal axes like in the space. Whereas the inner sphere has the ability to rotate 360° around the yaw, roll and pitch turns are limited due to mechanical conditions [5,6,20,22]. There are orifices on the outer hemi-sphere surface to supply the inner hemi-sphere. These orifices should be placed symmetrically on the outer hemi-sphere surface to avoid undesirable gravitational torque [23,24].

Orifice can be placed on central of the outer hemi-sphere surface with a single air hole, or orifices can be placed symmetrically on the surface with 5-10 holes. Orifices, air inlet and thin film are shown in Fig. 2. New types of porous air bearing are also available in the market with the developing technologies in the field of metallurgy [25]. Porous air bearing has lots of micropores on the stator structure. The air coming from the compressor is transmitted to the air bearing through these holes. Thus, the air bearing, which is much more stable and minimized disturbances, has been presented to the use of researchers. The outer hemi-sphere is supplied with clean and compressed air from the compressor. Undesired gravitational torques on the simulator are eliminated by coinciding with the center of gravity of the moving body and the center of rotation of the air bearing [26]. Thus, it is possible to simulate the space environment almost frictionlessly.

The thin film is created between the moving structure and the stator to provide an almost frictionless environment. However, the compressed air used to create the thin film occurs the undesired friction torque in the spherical bearing. Inner and outer sphere must be machined precisely in order to supply smooth air flow that is passing over them. Surface quality is usually $0.4\text{ }\mu\text{m}$. Inner and outer spheres are generally machined from 6061 Aluminum alloy material. Because this material is easy to form and suitable for hard coating [21,27].

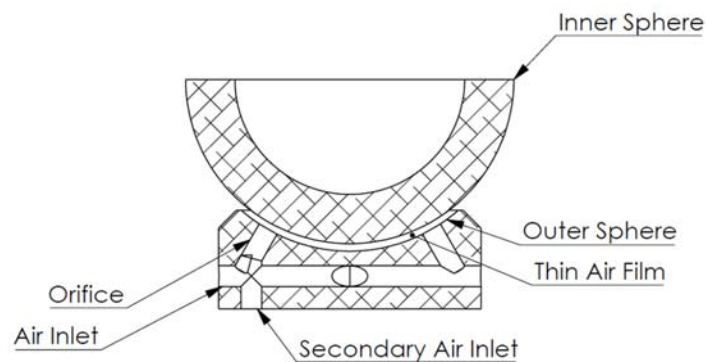


Fig. 2. Section of spherical air bearing

Spherical air bearing simulators generally provide 3-axis rotational motion, but 5-axis degree of freedom simulators have been studied. While the inner hemi-sphere is stationary connected to the ground in 3-axis simulators, pad type air bearing is used in addition to provide the ability to move along x-y planes on the ground. 5-DOF simulators have 2-DOF for translational motion with the help of pad type air-bearing and 3-DOF rotational motion with spherical air bearing. These combinations of motion make the simulator behave like in deep space, so it is referred to as 5-DOF [7,22,28–31]. The working mechanism of 5 DOF simulators is shown in Fig. 3.

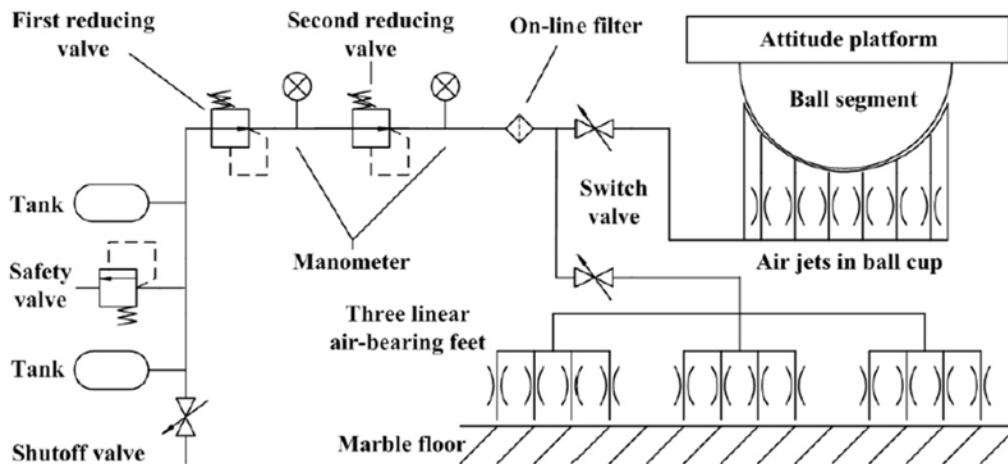


Fig. 3. The working mechanism of 5 DOF simulators [22]

There are also gimbal type simulators that test the ACS without using an air bearing. The biggest disadvantage of these simulators is the friction that occurs in the gimbal connections. Angular momentum of actuators is wasted because of the frictions in the gimbal bearings. Therefore, the mathematical friction models of the simulator should be carefully obtained while designing the controller of the gimbal [32].

Some researchers have developed spherical air bearing simulators to perform verification processes of ACS created for both educational and research purposes [33]. A simulator with automatic mass balance system has been developed at the University of Utah [34,35]. At the Air Force Institute of Technology, studies have been carried out on an attitude model with reaction wheel and fixed thruster actuators [36] and a satellite dynamic and control simulator [37]. An air bearing simulator which only use reaction wheels as actuators have been developed at MIT [38]. At the Virginia Polytechnic Institute and State University, a spherical air bearing simulator with control moment gyro and reaction wheels was studied [39], then hardware upgrading continued on the test setup [40]. At Naval Postgraduate School in 2009, works were performed on the spherical air bearing simulator [4] and the spherical air bearing with Helmholtz cage to provide magnetic field [41]. Spherical air bearing satellite simulators were developed in the Universidad Nacional Autonoma de Mexico in 2005 [42] and 2007 [43]. At Yonsei University, a spherical air bearing with only reaction wheel actuators has been enhanced [44].

Different types of disturbances also occur on spherical air bearing. Disturbances such as static-dynamic unbalance, anisotacticity, material instability, stress-temperature-humidity-evaporation and gravity gradients are occurred on the inner hemi-sphere shown in Fig. 2. There may be disturbances such as air flow in the test room, vibration in the ground, which originate from the environment where the test setup is located. In addition, hardware-induced disturbances such as battery discharge, loose fits in bearing of reaction wheel and electrical wires can also affect the simulator [21].

A. Components of Spherical Air Bearing Simulator

Sensors are one of the significant hardware as feedback control is used. Sensors are used to verify the ACS in both simulators and satellites. The star sensor that can detect by tracking the stars with the help of the images stored in its memory, the sun sensor to detect the direction of the sun, the three-axis magnetometer for the magnetic field measurement and the inertial measurement unit (IMU) sensor that measures the speed and acceleration of the system by using the position change are the types of sensors that can be found in simulators [6,7,10,22,45–56].

Satellites need actuators such as cold-gas thrusters, magnetorquers and reaction wheels to perform their motion in the orbit. Cold-gas thrusters systems contain compressed gas in the tank and valves and piping systems for the transmission of these gases [57]. Since have low-cost, low energy consumption and reliable systems, they may be preferred for getting the satellite into orbit as planned [58–61]. Magnetorquers type of actuators provide magnetic torque for attitude control of satellite with the help of using electrical current that is passing through their coils [62,63]. Reaction wheels placed on the principal axes of the satellite generate angular momentum due to the change in its rotational motion and are used for attitude control according to the law of conservation of angular momentum [17,64]. At least four reaction wheels are generally used in case one of the reaction wheels breaks down for ACS. Therefore, power consumption for torque generation is high and reaction wheels can be added to satellite systems in different configurations [65]. Studies have been conducted to reduce the energy consumption of different systems with reaction wheels [66]. Works have also been done on the dimensions of the reaction wheels and the reduction of energy consumption by improving ACS [67–69]. The angular momentum generated by the reaction wheels is limited due to the motor characteristics. Because of this limit, the reaction wheel cannot change the orientation of the satellite and a saturation event may occur. Momentum dumping should be applied to get rid of the reaction wheel from saturation [70]. As an alternative to reaction wheels, a control moment gyroscope (CMG) is used, and their first studies have started at SKYLAB [71]. There is a 3-axes control study that the tilt mechanism controls two axes by generating angular momentum vectors and the change of wheel speed provides control of third axis [72].

On-board computers are needed to process the data received from the sensors and to drive the actuators. Besides, motor drivers are needed to control the motors. Therefore, control mechanisms including ACS and motor control are used in air bearing simulators [5,22,46,52,72,73]. Various batteries are used to power the system. In order to observe the simulator's behavior, wireless connection components are also used that enable it to connect with the remote desktop [22].

B. Theory of Spherical Air Bearings

It is possible to calculate the pressure distribution of the air coming from the compressor on spherical air bearing surface and numerical calculation of the load capacity [74]. The parameters used in the calculation are shown in Fig. 4. Where h is gap height between sphere and socket, O is orifice, pl is gas plenum, R is radius of bearing sphere, ΔR is concentric radius increment between the bearing sphere and the socket, $R + \Delta R$ is socket radius, R_0 is recess radius, θ is angle between the orifice center line and any point on the bearing sphere with respect to the socket center,



Where p is pressure, p_0 is pressure in recess, p_1 is exit pressure, and

Similarly, load capacity of spherical air bed can be obtained as in (2) [74].

III. DYNAMIC AND KINEMATIC EQUATIONS

$$M_x = I_x \dot{\omega}_x + \omega_y \omega_z (I_z - I_y) \quad (3a)$$

$$M_y = I_y \dot{\omega}_y + \omega_x \omega_z (I_x - I_z) \quad (3b)$$

$$M_z = I_z \dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y (I_y - I_x) \quad (3c)$$

The result in (4) is obtained by deriving Euler's moment equation and Newton's 3rd Law together

[76,77]. For the reasons explained in previous chapters, (4) was obtained by using the reaction wheel and magnetorquer as the actuators.

$$I \cdot \dot{\omega}_{IE/B} = T_d + T_m - \omega_{IE/B} \times (I \cdot \omega_{IE/B} + h_w) - T_w \quad (4)$$

Where I is diagonal inertia matrix of satellite, $\dot{\omega}$ is angular acceleration vector of satellite relative to inertial frame, T_d is external disturbance torques vector, T_m is magnetic torque vector of magnetorquers, ω is angular speed vector of satellite relative to inertial frame, h_w is angular momentum vector of reaction wheel, and T_w is torques vector of reaction wheel.

As seen in (4), the satellite's net torque matrix can be defined as $T = T_d + T_m - T_w$. Therefore, we can write the dynamic equation of the satellite as seen in (5).

$$\dot{\omega}_x = \frac{T_x - (I_y - I_z)\omega_z\omega_y + h_{wz}\omega_y - h_{wy}\omega_z}{I_x} \quad (5a)$$

$$\dot{\omega}_y = \frac{T_y - (I_z - I_x)\omega_x\omega_z + h_{wx}\omega_z - h_{wz}\omega_x}{I_y} \quad (5b)$$

$$\dot{\omega}_z = \frac{T_z - (I_x - I_y)\omega_y\omega_x + h_{wy}\omega_x - h_{wx}\omega_y}{I_z} \quad (5c)$$

In satellite kinematics, rotational sequences can be defined by using rotational matrix with Euler angles or Quaternion method. Firstly, directional cosine matrix (rotational matrix) is derived in (6) where ψ , θ , and ϕ Euler angles respectively yaw, pitch and roll [75].

$$[A_{321}] = [A_{\psi\theta\phi}] = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & c\theta s\psi & -s\theta \\ -c\phi s\psi + s\phi s\theta c\psi & c\phi c\psi + s\phi s\theta s\psi & s\phi c\theta \\ s\phi s\psi + c\phi s\theta c\psi & -s\phi c\psi + c\phi s\theta s\psi & c\phi c\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

Although Quaternion Method is complex, it is generally using in attitude representation. Because rotational matrix with Euler angles has singularity [78] for some conditions that is known as gimbal-lock [79] in the literature. Kinematic differential matrix equation can be obtained by using Quaternion Method given in (7). Therefore, dynamic equations can be calculated with the help of obtaining desired angular rate of velocity from Quaternion Method.

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_4 & -q_3 & q_2 & q_1 \\ q_3 & q_4 & -q_1 & q_2 \\ -q_2 & q_1 & q_4 & q_3 \\ -q_1 & -q_2 & -q_3 & q_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & \omega_3 & -\omega_2 & \omega_1 \\ -\omega_3 & 0 & \omega_1 & \omega_2 \\ \omega_2 & -\omega_1 & 0 & \omega_3 \\ -\omega_1 & -\omega_2 & -\omega_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

IV. FRICTION MODELS

Friction is a phenomenon that exists in all mechanical systems and has a high effect on performance. In order to model a mechanical system correctly, the effect of friction on the system must be investigated and compensation techniques must be known. There are static and dynamic model methods used for modeling friction [80].

Although an almost frictionless environment is created with the thin film between the air bearing and the spacecraft model, friction occurs in the reaction wheel bearing due to mechanical

components. Modeling of friction in bearings used in reaction wheels has been investigated in many works and included in the simulation. Coulomb friction model, viscous friction model, Stribeck's model or Dahl model can be used in the friction modeling of the reaction wheel, which is generally used with ball bearings [72,81–88]. These models are generally developed with the help of parameters taken from the experimental setup. There are also ball bearing friction estimation models for systems with no experimental setup and simulation studies [89].

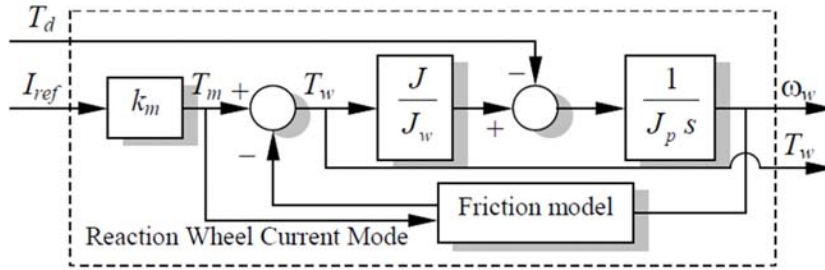


Fig. 5. Current mode control with reaction wheel [86,90].

Driving of reaction wheels can be performed with techniques such as current control mode, speed control mode and torque control mode according to the design of ACS. In the control of the reaction wheel with the current mode, it is necessary to successfully transmit the current to the motor. A current control and friction model block diagram is given in Fig. 5. In speed control, a feedback control is used with the help of the sensors in the motor to reduce the error and the error is tried to be minimized. In other words, errors caused by friction in the reaction wheel are eliminated with the data received from the motor's sensor. However, current control is also used, as speed control is electronically complex and there are delays. Dynamic Model Compensator is used to reduce the error of ACS using the current control method [81,86]. In addition, current control method and speed control method were compared [54]. It is also important to compensate for friction in models that use an alternative instead of an air bearing [32].

V. CONTROL METHODS

There are many methods to control the satellite's orientation dynamics. Each method has its own advantages and disadvantages. PID (Proportional–Integral–Derivative), LQR (Linear–Quadratic Regulator), Fuzzy Logic, Nonlinear Lyapunov Control, SMC (Sliding Mode Control) and H-infinity methods are frequently used in ACS design. ACS designs vary according to the objectives of the studies. While a controller is designed to reduce energy consumption in some studies, a controller is designed for the best trajectory control in others. Similarly, it has other purposes such as minimizing the effect of disturbances on the system, generating the desired angular momentum of the reaction wheels as soon as possible, and minimizing the vibration caused by the hardware.

While the satellite is moving in its orbit, the control system must control its required orientation, at the same time, it must also be stable. Lyapunov control method is used in ACS designs due to the fact that satellite dynamic equations are non-linear. The purpose of Lyapunov based controllers is to minimize the error of the non-linear Lyapunov function [39,91–100].

The purpose of PID controllers is to correct the error between the reference value and the actual value. PID controllers are simpler to apply to studies as they are not operationally complex. If stability is not important for applications, it is possible to design a robust system with PID. The disadvantage of the PID controller is that the plant must be well defined. In some applications, the controller is improved by applying an additional control method to the PID controller. PD applications in ACS designs have also been presented to the literature [26,51,52,54,72,101–105].

The SMC method allows for a robust design despite uncertainties. However, this may make the actuators reach saturation more easily. A low-pass filter or integral actuation can be used to overcome this [106–111].

The LQR optimizes the orientation performance by using the torque generated by the actuators effectively, minimizing the error in the yaw-pitch-roll axes. LQR is a type of controller developed for linear systems. Since the satellite's dynamic equation is non-linear, it must be linearized using various methods (e.g., MPC). Moreover, Riccati equation can solve gains of LQR [112]. The requirement for mathematical equations can be remarked as the disadvantage of this method [102,103,110,113–115].

There are sets with various control rule base and membership functions in the Fuzzy Logic Controller. Researcher knowledge and experience are required for these pre-created sets for control. Fuzzy Logic Control is useful because attitude dynamic equations are non-linear, and the mathematical model is complex. Hybrid studies have also been designed using the Fuzzy Logic Controller with another control method [51,55,116–120].

H-Infinity control providing both robust performance and stabilization, has complex mathematical equations. However, a stable controller is designed by solving its mathematical equations. H-Infinity control is useful when system has disturbances, actuator noises, aggressive motion (that cause saturation for actuators) and uncertainties [77,121–125].

It should be noted that almost all the studies in this section include an acceptable controller design. References should be carefully examined for the control method aimed to be studied. Only simulation results are investigated in some studies, and the results of both simulation and ACS designs on the experimental system is examined in some studies.

VI. CONCLUSION

Spherical air bearing simulators, which have a key role in testing and verifying ACS, are important ground test platforms. In this paper, many issues from the design to the control of spherical air bearing simulators used for testing ACS are reviewed in detail. Each of the subjects presented under four main headings: the introduction to the simulators, the dynamic and kinematic equations of the simulators, the friction models needed in the simulators, and the control of the simulators.

Spherical air bearing simulators consist of two main parts and these systems are used to best model the space environment. In addition to the mechanical parts, these simulators have various components such as sensors and actuators for modeling the satellite as in the space. In order to ensure the proper testing of the spherical air bearing, its theory must be well known before design. Moreover, dynamic and kinematic equations of spacecraft must also be known to test ACS in the simulators. Friction should also be added to the model for adding the reaction wheel bearings

frictions in satellites. For the best attitude control, designing a robust and stable controller is important because of the external disturbances available in the space. Each one of these studies require expertise in the fields of materials, machinery, electrical-electronics and aviation. In this paper, important sources that have guided to this study and the current papers available in the literature for spherical air bearing simulators are examined. By this way, many important aspects needed for the design and control of the spherical air bearing simulators are searched and included in the paper.

REFERENCES

- [1] Schwartz, J. L., Peck, M. A., and Hall, C. D. "Historical Review of Spacecraft Simulators." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 26, 2003, pp. 513–522.
- [2] Smith, G. A. Dynamic Simulators for Test of Space Vehicle Attitude Control Systems. 1964.
- [3] Simone Chesi, Qi Gong, Veronica Pellegrini, Roberto Cristi, M. R. "Automatic Mass Balancing of a Spacecraft Three-Axis Simulator: Analysis and Experimentation." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2013, pp. 37:197-206.
- [4] Kim, J. J., and Agrawal, B. N. "Automatic Mass Balancing of Air-Bearing-Based Three-Axis Rotational Spacecraft Simulator." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 32, No. 3, 2009, pp. 1005–1017. <https://doi.org/10.2514/1.34437>.
- [5] Kwan, T. H., Lee, K. M. B., Yan, J., and Wu, X. "An Air Bearing Table for Satellite Attitude Control Simulation." *Proceedings of the 2015 10th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2015*, 2015, pp. 1420–1425. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2015.7334330>.
- [6] Thomas, D., Wolosik, A., and Black, J. "CubeSat Attitude Control Simulator Design." *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, 2018, 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-1391>.
- [7] Qi, N., Xu, Z., Chen, Y., Wang, G., and Wu, F. "System Design and Attitude Control Experiment of a 5-DOF Spacecraft Simulator." *Proceedings - 2014 International Conference on Mechatronics and Control, ICMC 2014*, 2014, pp. 876–880. <https://doi.org/10.1109/ICMC.2014.7231679>.
- [8] Kim, J. J., and Agrawal, B. N. System Identification and Automatic Mass Balancing of Ground-Based Three-Axis Spacecraft Simulator. 2006.
- [9] Peck, M. A., and Cavender, A. R. An Air Bearing-Based Testbed for Momentum-Control Systems and Spacecraft Line of Sight. 2003.
- [10] Woo, H., and Perez, O. R. "CubeSat Three Axis Simulator (CubeTAS)." *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference 2011*, 2011.
- [11] Kato, T., Heidecker, A., Dumke, M., and Theil, S. "Three-Axis Disturbance-Free Attitude Control Experiment Platform: FACE." *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 12, 2014, p. Td_1-Td_6.
- [12] Modenini, D., Bahu, A., Curzi, G., and Togni, A. "A Dynamic Testbed for Nanosatellites Attitude Verification." *Aerospace*, Vol. 7, No. 3, 2020. <https://doi.org/10.3390/aerospace7030031>.
- [13] Sidi, M. J. *Spacecraft Dynamics and Control: A Practical Engineering Approach*. Cambridge University Press, 1997.

- [14] Aurer, W. Test Results and Flight Experience of Ball Bearing Momentum and Reaction Wheels. 1990.
- [15] Boesiger, E., and Warner, M. Spin Bearings Retainer Design Optimization. 1991.
- [16] Wertz, J. *Spacecraft Attitude Determination and Control*. Springer Netherlands, 1978.
- [17] Markley, F. L., and Crassidis, J. L. *Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control*. Springer New York, 2014.
- [18] Curtis, H. D. *Orbital Mechanics for Engineering Students*. Elsevier Ltd, 2013.
- [19] Brian Rowe, W. *Hydrostatic, Aerostatic and Hybrid Bearing Design*. Elsevier Inc., 2012.
- [20] Raschke, C., Roemer, S., and Grossekatthoefer, K. *Test Bed for Verification of Attitude Control System*. 2011.
- [21] Ousaloo, H. S., Nodeh, M. T., and Mehrabian, R. "Verification of Spin Magnetic Attitude Control System Using Air-Bearing-Based Attitude Control Simulator." *Acta Astronautica*, Vol. 126, 2016, pp. 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.03.028>.
- [22] Jian, X., Gang, B., Yang Qin Jun, and Jun, L. Design and Development of a 5-DOF Air-Bearing Spacecraft Simulator. 2009.
- [23] Wang, F. S., and Bao, G. "Static Characteristics of New Type Externally Pressurized Spherical Air Bearings." *Journal of Central South University of Technology (English Edition)*, Vol. 18, No. 4, 2011, pp. 1133–1138. <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0814-3>.
- [24] Charki, A., Diop, K., Champmartin, S., and Ambari, A. "Numerical Simulation and Experimental Study of Thrust Air Bearings with Multiple Orifices." *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 72, 2013, pp. 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2013.03.006>.
- [25] Rybus, T., Barciński, T., and Lisowski, J. "New Planar Air-Bearing Microgravity Simulator for Verification of Space Robotics Numerical Simulations and Control Algorithms." *12th Symposium on Advanced Space Technologies in Robotics and Automation 'ASTRA 2013,'* No. 1, 2013, p. 8.
- [26] Oliveira, A. M. De, Kuga, H. K., and Carrara, V. Air Bearing Platforms for Simulation of Spacecraft Attitude Control Systems. 2015.
- [27] Farhat, A., Ivase, J., Lu, Y., and Snapp, A. *Attitude Determination and Control System for CubeSat*. Worcester Polytechnic Institute, 2013.
- [28] Kim, B. M., Velenis, E., Kriengsiri, P., and Tsiotras, P. "A Spacecraft Simulator for Research and Education." *Advances in the Astronautical Sciences*, Vol. 109 II, No. November, 2002, pp. 897–914.
- [29] Cho, D. M., Jung, D., and Tsiotras, P. "A 5-Dof Experimental Platform for Autonomous Spacecraft Rendezvous and Docking." *AIAA Infotech at Aerospace Conference and Exhibit and AIAA Unmanned...Unlimited Conference*, No. April, 2009.
- [30] Jung, D., and Tsiotras, P. "A 3-DoF Experimental Test-Bed for Integrated Attitude Dynamics and Control Research." *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, No. August, 2003. <https://doi.org/10.2514/6.2003-5331>.
- [31] Regehr, M. W., Acihese, A. B., Ahmed, A., Aung, M., Bailey, R., Bushnell, C., Clark, K. C., Hicke, A., Lytle, B., Macneal, P., Rasmussen, R. E., Shields, J., and Singh, G. "The Formation Control Testbed." *Jet Propulsion*, 2004, pp. 557–564.
- [32] Kabganian, M., Nadafi, R., Tamhidi, Y., and Bagheri, M. A Novel Mechanical Attitude Simulator with Adaptive Control for Micro-Satellite. 2011.

- [33] Samuels, M. A. *The Design and Testing of a Three-Degree-of-Freedom Small Satellite Simulator Using a Linear Controller with Feedback Linearization and Trajectory Generation*. Utah State University, 2014.
- [34] Olsen, T. A. *Design of an Adaptive Balancing Scheme for the Small Satellite Attitude Control Simulator (SSACS)*. Utah State University, 1995.
- [35] Young, J. S. *Balancing of a Small Satellite Attitude Control Simulator on an Air Bearing*.
- [36] Smith, J. E. *Attitude Model of a Reaction Wheel/Fixed Thruster Based Satellite Using Telemetry Data*. Air Force Institute of Technology, 2005.
- [37] Snider, R. E. *Attitude Control of a Satellite Simulator Using Reaction Wheels and a PID Controller*. Air Force Institute of Technology, 2010.
- [38] Crowell, C. W. *Development and Analysis of a Small Satellite Attitude Determination and Control System Testbed*. Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [39] Skelton II, C. E. *Mixed Control Moment Gyro and Momentum Wheel Attitude Control Strategies*. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [40] Schwartz, J. L. *The Distributed Spacecraft Attitude Control System Simulator: From Design Concept to Decentralized Control*. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [41] Meissner, D. M. *A Three Degrees of Freedom Test-Bed for Nanosatellite and Cubesat Attitude Dynamics, Determination, and Control*. Naval Postgraduate School, 2009.
- [42] Prado, J., Bisiacchi, G., Reyes, L., Vicente, E., Contreras, F., Mesinas, M., and Juárez, A. "Three-Axis Air-Bearing Based Platform for Small Satellite Attitude Determination and Control Simulation." *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 3, No. 3, 2005, pp. 222–237.
- [43] Vicente-vivas, E., Jiménez, E., Alva, R., and Córdova, R. "Attitude Subsystem Development for an Educative Satellite Based on Reaction / Momentum Wheel and Magnetic Torquing Coils." Vol. 31, 2007, pp. 133–142.
- [44] Kim, D.-H., Park, S.-Y., Kim, J.-W., and Choi, K.-H. "Development of a Hardware-in-Loop (HIL) Simulator for Spacecraft Attitude Control Using Momentum Wheels." *Journal of Astronomy and Space Sciences*, Vol. 25, No. 4, 2008, pp. 347–360. <https://doi.org/10.5140/jass.2008.25.4.347>.
- [45] Yang, Y., and Cao, X. "Design and Development of the Small Satellite Attitude Control System Simulator." *Collection of Technical Papers - AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, 2006*, Vol. 1, No. August, 2006, pp. 157–162. <https://doi.org/10.2514/6.2006-6124>.
- [46] Candinia, G. P., Piergentilib, F., and Santoni, F. "Miniaturized Attitude Control System for Nanosatellites." *Acta Astronautica*, Vol. 81, No. 1, 2012, pp. 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.07.027>.
- [47] Tissera, M. S. C., Chia, J. W., Low, K. S., and Xing, Y. T. "A Novel Simulator for Measuring the Performance of Nanosatellite's Attitude Control System." *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2016. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500796>.
- [48] Cervettini, G., Pastorelli, S., Park, H., Lee, D. Y., and Romano, M. "Development and Experimentation of a CubeSat Magnetic Attitude Control System Testbed." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 57, No. 2, 2021, pp. 1345–1350. <https://doi.org/10.1109/TAES.2020.3040032>.
- [49] Tavakoli, A., Faghihinia, A., and Kalhor, A. "An Innovative Test Bed for Verification of

- Attitude Control System." *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 32, No. 6, 2017, pp. 16–22. <https://doi.org/10.1109/MAES.2017.150198>.
- [50] Chesi, S., Perez, O., and Romano, M. "A Dynamic Hardware-in-the-Loop Three-Axis Simulator of Nanosatellite Dimensions." *Journal of Small Satellites*, Vol. 4, No. 1, 2015, pp. 315–328.
- [51] Li, J., Post, M., Wright, T., and Lee, R. "Design of Attitude Control Systems for CubeSat-Class Nanosatellite." *Journal of Control Science and Engineering*, Vol. 2013, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/657182>.
- [52] Ustrzycki, T., Lee, R., and Chesser, H. Spherical Air Bearing Attitude Control Simulator for Nanosatellites. 2011.
- [53] Steffen, V., Rade, D. A., Oliveira, A. M. De, Kuga, K., and Carrara, V. Air Bearing Platforms for Simulation of Spacecraft Attitude Control Systems. 2015.
- [54] Carrara, Valdemir and Siqueira, R. and Oliveira, D. "Speed and Current Control Mode Strategy Comparison in Satellite Attitude Control with Reaction Wheels." *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, Vol. 5, No. March, 2011, pp. 533–542.
- [55] Post, M. A., Li, J., and Lee, R. "Nanosatellite Air Bearing Tests of Fault-Tolerant Sliding-Mode Attitude Control with Unscented Kalman Filter." *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2012*, No. August, 2012, pp. 1–12. <https://doi.org/10.2514/6.2012-5040>.
- [56] Costa, R. F. da, and Saotome, O. "Satellite Attitude Control System Validation in an Air Beared Sphere." *2016 Brazilian Technology Symposium*, 2016, pp. 1–3.
- [57] Arestie, S., Lightsey, E., and Hudson, B. "Development of a Modular, Cold Gas Propulsion System for Small Satellite Applications." *Journal of Small Satellites*, Vol. 1, No. 2, 2012, pp. 63–74.
- [58] Holcomb, L. B. *Satellite Auxiliary-Propulsion Selection Techniques*. 1971.
- [59] Bzibziak, R. Miniature Cold Gas Thrusters. No. 92, 1992.
- [60] Bzibziak, R. Update of Cold Gas Propulsion at Moog. 2000.
- [61] Sutton, G. P. Rockets for Maneuvering, Orbit Adjustments, or Attitude Control. In *Rocket Propulsion Elements, An Intriduction to the Engineering of Rockets*, 1992, pp. 228–230.
- [62] Haryadi, D. R., Wijanto, H., Syihabuddin, B., and Prasetyo, A. D. Design of Attitude Determination and Control System Using Microstrip Magnetorquer for Nanosatellite. 2016.
- [63] Talebi, H. A., Khorasani, K., and Tafazoli, S. "A Recurrent Neural-Network-Based Sensor and Actuator Fault Detection and Isolation for Nonlinear Systems with Application to the Satellite's Attitude Control Subsystem." *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 20, No. 1, 2009, pp. 45–60. <https://doi.org/10.1109/TNN.2008.2004373>.
- [64] Sidi, M. J. Attitude Maneuvers in Space. In *Spacecraft dynamics and control: A practical engineering approach*, 1997, pp. 152–208.
- [65] Ismail, Z., and Varatharajoo, R. A Study of Reaction Wheel Configurations for a 3-Axis Satellite Attitude Control. *Advances in Space Research*. 6. Volume 45, 750–759.
- [66] Grassi, M., and Pastena, M. "Minimum Power Optimum Control of Microsatellite Attitude Dynamics." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 23, No. 5, 2000, pp. 798–804.
- [67] Zhaowei, S., Yunhai, G., Guodong, X., and Ping, H. "The Combined Control Algorithm for Large-Angle Maneuver of HITSAT-1 Small Satellite." *Acta Astronautica*, Vol. 54, No. 7, 2004, pp. 463–469. [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(03\)00223-6](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(03)00223-6).

- [68] Ma, K. B., Zhang, Y., Postrekhin, Y., and Chu, W. K. "HTS Bearings for Space Applications: Reaction Wheel with Low Power Consumption for Mini-Satellites." *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 13, No. 2, 2003, pp. 2275–2278. <https://doi.org/10.1109/TASC.2003.813064>.
- [69] Grant, C. C., and Zee, R. E. Enabling Reaction Wheel Technology for High Performance Nanosatellite Attitude Control. 2007.
- [70] Mashtakov, Y., Tkachev, S., and Ovchinnikov, M. "Use of External Torques for Desaturation of Reaction Wheels." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 41, No. 8, 2018, pp. 1663–1674. <https://doi.org/10.2514/1.G003328>.
- [71] Morine, L., O'Connor, T., Carnazza, J., Varner, E., and Pool, D. *Control Moment Gyroscope Gimbal Actuator Study*. 1966.
- [72] Inumoh, L. O., Forshaw, J. L., and Horri, N. M. "Tilted Wheel Satellite Attitude Control with Air-Bearing Table Experimental Results." *Acta Astronautica*, Vol. 117, 2015, pp. 414–429. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.09.007>.
- [73] Shengmin, G., and Hao, C. A Comparative Design of Satellite Attitude Control System with Reaction Wheel. 2006.
- [74] Laub, J. H., and Norton, R. H. "Externally Pressurized Spherical Gas Bearings." *ASLE Transactions*, Vol. 4, No. 1, 1961, pp. 172–180. <https://doi.org/10.1080/05698196108972429>.
- [75] Sidi, M. J. Attitude Dynamics and Kinematics. In *Spacecraft dynamics and control: A practical engineering approach*, 1997, pp. 88–111.
- [76] Kim, B. J., Lee, H., and Choi, S. D. "Three-Axis Reaction Wheel Attitude Control System for KITSAT-3 Microsatellite." *Space Technology*, Vol. 16, Nos. 5–6, 1996, pp. 291–296.
- [77] Won, C. H. "Comparative Study of Various Control Methods for Attitude Control of a LEO Satellite." *Aerospace Science and Technology*, Vol. 3, No. 5, 1999, pp. 323–333. [https://doi.org/10.1016/S1270-9638\(00\)86968-0](https://doi.org/10.1016/S1270-9638(00)86968-0).
- [78] Dasdemir, J. "Quaternion-Based Robust Satellite Attitude Tracking Control." *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 6, No. 1, 2018, pp. 53–61. <https://doi.org/10.17694/bajece.402013>.
- [79] Hemingway, E. G., and O'Reilly, O. M. "Perspectives on Euler Angle Singularities, Gimbal Lock, and the Orthogonality of Applied Forces and Applied Moments." *Multibody System Dynamics*, Vol. 44, No. 1, 2018, pp. 31–56. <https://doi.org/10.1007/s11044-018-9620-0>.
- [80] Åström, K. J. *Control of Systems with Friction*. 1995.
- [81] Carrara, V., and Kuga, H. K. "Estimating Friction Parameters in Reaction Wheels for Attitude Control." *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2013, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/249674>.
- [82] Malekzadeh, M., and Shahbazi, B. "Robust Attitude Control of Spacecraft Simulator with External Disturbances." *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, Vol. 30, No. 4, 2017, pp. 567–574. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2017.30.04a.15>.
- [83] Wu, S., Wang, R., Radice, G., and Wu, Z. "Robust Attitude Maneuver Control of Spacecraft with Reaction Wheel Low-Speed Friction Compensation." *Aerospace Science and Technology*, Vol. 43, 2015, pp. 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.03.005>.
- [84] Malekzadeh, M., Rezayati, M., and Saboohi, M. "Hardware-in-the-Loop Attitude Control via a High-Order Sliding Mode Controller/Observer." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 232, No. 10, 2018,

- pp. 1944–1960. <https://doi.org/10.1177/0954410017706992>.
- [85] Carrara, V., Silva, A. G. da, and Kuga, H. K. “A Dynamic Friction Model for Reaction Wheels.” *Proceedings of the 1st IAA Conference on Dynamics and Control of Space Systems (DyCoSS '12)*, Vol. 145, No. Adv. Astronaut. Sci., 2012, pp. 343–352.
 - [86] Carrara, V., and Kuga, H. K. “Current and Speed Control Operating Modes of a Reaction Wheel.” *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 706, 2014, pp. 170–180. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.706.170>.
 - [87] Moreira, M. de L. B., Lopes, R. V. da F., and Kuga, H. K. Estimation of Torque in a Reaction Wheel Using a Bristle Model for Friction. 2005.
 - [88] Shengmin, G., and Hao, C. A Comparative Design of Satellite Attitude Control System with Reaction Wheel. No. 2006, 2006, pp. 359–362.
 - [89] Gao, W., Lyu, Y., Liu, Z., and Nelias, D. “Validation and Application of a Numerical Approach for the Estimation of Drag and Churning Losses in High Speed Roller Bearings.” *Applied Thermal Engineering*, Vol. 153, No. March 2018, 2019, pp. 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.028>.
 - [90] Carrara, V., and Kuga, H. K. Torque and Speed Control Loops of a Reaction Wheel. 2013.
 - [91] Wen, J. T. Y., and Kreutz-Delgado, K. “The Attitude Control Problem.” *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 36, No. 10, 1991, pp. 1148–1162. <https://doi.org/10.1109/9.90228>.
 - [92] Malekzadeh, M., and Sadeghian, H. Attitude Control of Spacecraft Simulator with Reaction Wheels Regulation. 2017.
 - [93] Tsiotras, P. “New Control Laws for the Attitude Stabilization of Rigid Bodies.” *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 27, No. 13, 1994, pp. 321–326. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)45820-4](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)45820-4).
 - [94] Tsiotras, P. “Stabilization and Optimality Results for the Attitude Control Problem.” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 19, No. 4, 1996, pp. 772–779. <https://doi.org/10.2514/3.21698>.
 - [95] Long, M. R. *Spacecraft Attitude Tracking Control*. Virginia Tech University, 1999.
 - [96] Akella, M. R., Halbert, J. T., and Kotamraju, G. R. “Rigid Body Attitude Control with Inclinometer and Low-Cost Gyro Measurements.” *Systems and Control Letters*, Vol. 49, No. 2, 2003, pp. 151–159. [https://doi.org/10.1016/S0167-6911\(02\)00320-1](https://doi.org/10.1016/S0167-6911(02)00320-1).
 - [97] Tafazoli, S., and Khorasani, K. Attitude Recovery of Flexible Spacecraft Using Nonlinear Control. No. D, 2004.
 - [98] Tafazoli, S. *On Attitude Recovery of Spacecraft Using Nonlinear Control*. Concordia University, 2005.
 - [99] Kristiansen, R., and Nicklasson, P. J. Satellite Attitude Control by Quaternion-Based Backstepping. No. 2, 2005, pp. 907–912.
 - [100] Ousaloo, H. S. “Globally Asymptotic Three-Axis Attitude Control for a Two-Wheeled Small Satellite.” *Acta Astronautica*, Vol. 157, 2019, pp. 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.11.055>.
 - [101] Schaub, H., Akella, M. R., and Junkins, J. L. Adaptive Control of Nonlinear Attitude Motions Realizing Linear Closed-Loop Dynamics. No. 3, 1999, pp. 1563–1567.
 - [102] Kristiansen, R. *Attitude Control of a Microsatellite*. NTNU, 2000.
 - [103] Makovec, K. L. *A Nonlinear Magnetic Controller for Three-Axis Stability of Nanosatellites*. Virginia Tech, 2001.

- [104] Sadati, N., Meghdari, A., and Tehrani, N. D. Optimal Tracking Neuro-Controller in Satellite Attitude Control. No. 1, 2002, pp. 54–59.
- [105] Yamashita, T., Ogura, N., Kurii, T., and Hashimoto, T. “Improved Satellite Attitude Control Using a Disturbance Compensator.” *Acta Astronautica*, Vol. 55, No. 1, 2004, pp. 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.02.004>.
- [106] McDuffie, J. H., and Shtessel, Y. B. De-Coupled Sliding Mode Controller and Observer for Satellite Attitude Control. No. 1, 1997, pp. 564–565.
- [107] Kirn, J., and Crassidis, J. L. A Comparative Study of Sliding Mode Control and Time-Optimal Control. 1998.
- [108] Crassidis, J. L., Vadali, S. R., and Markley, F. L. “Optimal Variable-Structure Control Tracking of Spacecraft Maneuvers.” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 23, No. 3, 2000, pp. 564–566. <https://doi.org/10.2514/2.4568>.
- [109] Walchko, K. *Robust Nonlinear Attitude Control with Disturbance Compensation*. University of Florida, 2003.
- [110] Bang, H., Lee, J. S., and Eun, Y. J. “Nonlinear Attitude Control for a Rigid Spacecraft by Feedback Linearization.” *KSME International Journal*, Vol. 18, No. 2, 2004, pp. 203–210. <https://doi.org/10.1007/BF03184729>.
- [111] Kowalchuk, S. A., and Hall, C. D. Spacecraft Attitude Sliding Mode Controller Using Reaction Wheels. 2008.
- [112] Fadali, M. S., and Visioli, A. Optimal Control. In *Digital Control Engineering*, Elsevier BV, Netherlands, 2013, pp. 399–438.
- [113] Topland, M. P. *Nonlinear Attitude Control of the Micro-Satellite ESEO*. NTNU, 2004.
- [114] Taei, H., Mirshams, M., Ghobadi, M., D, M. A. V., and Haghi, H. “Optimal Control of a Tri-Axial Spacecraft Simulator Test Bed Actuated by Reaction Wheels.” Vol. 8, No. 4, 2016, pp. 35–44.
- [115] Chessab Mahdi, M., and Jaafar AL-Bermani, M. “LQR Controller for Kufasat.” *JOURNAL OF KUFA-PHYSICS*, Vol. 6, No. 1, 2014.
- [116] Walchko, K. *Development of a Fuzzy Sliding Mode Controller for Satellite Attitude Control*. 2000.
- [117] Thongchet, S., and Kuntanapreeda, S. “A Fuzzy-Neural Bang-Bang Controller for Satellite Attitude Control.” *The Journal of KMITNB*, Vol. 11, No. 4, 2001, pp. 11–17.
- [118] Guan, P., Liu, X. J., Lara-Rosano, F., and Chen, J. B. Adaptive Fuzzy Attitude Control of Satellite Based on Linearization. No. 2, 2004, pp. 1091–1096.
- [119] Li, J., Post, M. A., and Lee, R. Nanosatellite Attitude Air Bearing System Using Variable Structure Control. 2012.
- [120] Mahdi, M. C., Shehab, A.-R., and Bermani, M. J. F. Al. “Direct Fuzzy Logic Controller for Nano-Satellite.” *Journal of Control Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 3, 2014, pp. 210–219. <https://doi.org/10.14511/jcet.2014.040307>.
- [121] Valentin-Charbonnel, C., Duc, G., and Le Ballois, S. “Low-Order Robust Attitude Control of an Earth Observation Satellite.” *Control Engineering Practice*, Vol. 7, No. 4, 1999, pp. 493–506. [https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(99\)00006-4](https://doi.org/10.1016/S0967-0661(99)00006-4).
- [122] Bai, H., Huang, C., and Zeng, J. “Robust Nonlinear H_∞ Output-Feedback Control for Flexible Spacecraft Attitude Manoeuvring.” *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, Vol. 41, No. 7, 2019, pp. 2026–2038. <https://doi.org/10.1177/0142331218794378>.

- [123] Wu, F. X., and Zhang, W. J. Robust Control of the Aircraft Attitude. 2001.
- [124] Wiśniewski, R., and Stoustrup, J. “Periodic H2 Synthesis for Spacecraft Attitude Determination and Control with a Vector Magnetometer and Magnetorquers.” *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 34, No. 12, 2001, pp. 119–124. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)34072-7](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)34072-7).
- [125] Prieto, D., and Bona, B. Orbit and Attitude Control for the European Satellite GOCE. No. 2005, 2005, pp. 728–733.

Sensör Tabanlı Solunum Apnesi Algılama Yöntemi

Sensor Based Respiratory Apnea Detection Method

Ayşe Atak^{*,1}, Selim Aras¹, Mehmet Öztürk²

* ayse.atakk95@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9694-4510

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Samsun, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Trabzon, Türkiye

Özet Bir hastanın yaşamsal belirtileri, hastanın bilinci, solunumu, nabızı, vücut ısısı, oksijen saturasyonu ve kan basıncı gibi değerli bilgiler içerir. Solunum verilerinin vücutta meydana gelen kardiyovasküler ve metabolik bozukluklar gibi çeşitli patolojik olaylar hakkında bilgi içerebileceği de bilinmektedir. Solunumu ölçmek için halihazırda mevcut ve kullanımda olan birçok farklı biyomedikal cihaz bulunmaktadır. Ancak son zamanlarda, doğrudan solunum sistemine saldıran Covid-19 hastalığı nedeniyle yoğun bakımlarda hasta takibinin zorlaştığı ve bazı özel duruma sahip hastalarda (örn: uzuv kaybından dolayı pulse oksimetrenin takılamaması gibi) solunum takibinin otomatik olarak gerçekleştirilemediği görülmüştür. Bu ve bunun gibi özel durumlar nedeniyle solunum takibinin yapılabilmesi için hızlı, kolay, güvenilir ve mümkünse uygun maliyetli bir sistemin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmada, farklı sensörler kullanılarak sensör tabanlı bir solunum ölçme yönteminin araştırılması, sensörlerden solunumun ve solunum apnesinin tespiti için uygun yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Termistör, polivinildin florür (PVDF) film ve piezo sensörleri kullanarak vücudun çeşitli bölgelerinden (sırasıyla burun, trakea ve göğüs) alınan solunum sinyalleri üzerinde çalışılmıştır. Sensörler aracılığıyla eş zamanlı olarak alınan analog sinyaller bir mikrodenetleyici yardımıyla sayısallaştırılmış ve bu sinyaller bir bilgisayarda saklanmıştır. Çeşitli sayısal sinyal filtreleme yöntemleri uygulanarak sinyaller üzerinde bazı ön işlemler gerçekleştirilmiştir. Solunum, solunum hızı ve solunum apnesini tespit etmek için sürekli dalgalı dönüşümü tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, etkinliğini test etmek için beş kişiden (dört kadın, bir erkek) alınan otuz iki farklı solunum sinyaline uygulanmış ve üç farklı sensörden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Algoritmanın performansına bağlı olarak, piezo sensörün solunum eylemi sinyallerini toplamak için en uygun sensör olduğu sonucuna varılmıştır. Geliştirdiğimiz yöntemin solunum problemi olan yenidoğan bebeklerde de kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

Keywords: Solunum; Sensör; Dalgalı Dönüşümü; Sayısal İşaret İşleme

Abstract Vital signs of a patient contain valuable information such as the patient's consciousness, respiration, heart rate, body temperature, oxygen saturation, and blood pressure. It is also known that respiratory data may contain information about various pathological events such as cardiovascular and metabolic disorders occurring in the body. There are many different biomedical devices currently available and in use to measure respiration. Recently, however, it has been observed that patient monitoring in intensive care units is difficult due to Covid-19, which directly attacks the respiratory system and automatic respiration monitoring cannot be performed in

patients with some special conditions (such as the inability to attach a pulse oximeter due to limb loss). Due to these and other special situations, it was necessary to develop a fast, easy, reliable and, if possible, cost-effective system for respiratory monitoring. In this study, it was aimed to investigate a sensor-based respiratory measurement method by testing different sensors for their effectiveness and to develop a method for measuring respiration rate as well as detecting respiratory apnea automatically. We worked on respiratory signals acquired using thermistor, polyvinylidene fluoride (PVDF) film and piezo sensors from various parts of the body (nose, trachea, and thorax, respectively). Simultaneously acquired analog signals through sensors were digitized with the help of a microcontroller and these signals were stored in a computer. Some pre-processing has been performed on the signals by applying various digital signal filtering methods. A continuous wavelet transform-based method has been developed to detect respiration, respiratory rate, and respiratory apnea. This method has been applied on thirty-two different respiratory signals taken from five people (four female, one male) to test its effectiveness, and the results obtained from the three different sensors were compared. Based on the performance of the algorithm, it is concluded that the piezo sensor is the most suitable one to gather the signals of respiratory action. It is predicted that the method we developed can also be used in newborn babies with respiratory problems.

Keywords: *Respiration; Sensor; Wavelet Transform; Digital Signal Processing*

I. GİRİŞ

SOLUNUM, kişinin kontrolü altında istemsiz olarak gerçekleşen hayati aktivitelerden biridir[1]. Ayrıca beyin ve kalbin işlevini gerçekleştirebilmesi için oksijene ihtiyaç duyması sebebiyle çok kritik ve önemli vital parametrelerdendir[2]. Solunum hızı ölçümü, temaslı ya da temassız olarak gruplandırılabilir. Temaslı ölçümler, veri alınacak kişiye takılan sensörler veya cihazlar ile gerçekleştirilirken; temassız ölçümler, kişiyi izleyerek ya da veri alınacak kişi ile herhangi bir şekilde teması olmayan cihazlar ile gerçekleştirilir[3].

Solunum tespiti üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok farklı yöntemle veri alımı ve analizi yapıldığı görülmektedir. Bunlardan ilk göze çarpanlar ise elektrokardiyogramdan (EKG) ve fotopletizmogramdan (PPG) solunum hızının(RR) tahminidir. EKG'den ve PPG'den solunum hızının tahmin edilmesi için 100'den fazla algoritma önerilmiştir. Bu algoritmalar sistematik olarak karşılaştırılmaları sebebiyle hangisinin en iyi performans gösterdiği bilinmemektedir. Charlton ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada 314 farklı algoritmayı karşılaştırarak EKG'nin PPG'den daha fazla performans gösterdiğini belirtmişlerdir[4]. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda solunum tespiti gibi önemli bir hayati parametre için güvenilirlik ve zaman kavramları göz önünde bulundurulursa yatan hastalar harici bu sistemlerin yeterli olmadığı görülmektedir.

Solunum tespiti için alternatif yöntemlerden biri de kamera tabanlı yöntemlerdir. Lyra ve arkadaşları, yayınladıkları makalede termografi görüntüleriyle yaşamsal belirti izlemek için kamera tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. 26 yoğun bakım hastasından aldıkları verileri derin öğrenmeye dayalı inceleyen Lyra ve arkadaşları, solunum hızı tespiti konusunda istedikleri başarıyı elde edememişlerdir. Kamera tabanlı sistemler her ne kadar temassız solunum hızı ölçüm imkanı sunsa dahi solunum verisinde meydana gelen hareket artefaktlarının tamamının

temizlenememesi sebebiyle veri doğruluğu açısından problemler oluşturduğu bilinmektedir [5].

Bir diğer alternatif yöntem ise radar tabanlı solunum tespittir. Lee ve Yoo tarafından yapılan araştırma ile radar tabanlı sistemler ve solunum kemeri ile solunum hızı tespiti arasında hiçbir fark olmadığı gözlemlenmiştir[6]. Öte yandan iki sistem karşılaştırıldığında radar tabanlı sistemlerin daha maliyetli olduğu görülmektedir.

Yapılan bir başka çalışmada ise Gautam ve arkadaşları, fiber optik bir sensör sayesinde solunum hızı ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Fiber bragg grating (FBG) sensörü sayesinde solunum hızını ölçerek daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan optik sensörlerden daha az(% 5'ten daha az) optik gürültü tabanı ölçmüşlerdir. Fakat yapılan çalışma için belirlenen maliyetin oldukça yüksek olduğu görülmektedir[7].

Nispeten daha uygun maliyetli solunum algılama sistemlerine baktığımızda Li ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmayla trakea üzerine yerleştirdikleri bir sistem sayesinde solunum seslerini algıladıkları görülmüştür. Bu sistemin temeli PVDF film sensörü ile veri alımına dayanmaktadır. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda solunumun doğru bir şekilde izlenme ihtimalinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca geliştirilen sistem, solunumla ilgili anormal semptomların tespiti için de kullanılabilir[8].

Bir diğer solunum ölçme yönteminde kullanılan sensörler, piezo sensörlerdir. Peng ve arkadaşları, piezo sensörleri kullanarak bir yatak hazırlamış ve uyku sırasında biyosinyal tespiti yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarla piezo sensörlerle uyku sırasında solunum tespiti yapıldığını göstermişlerdir[9]. Bu alanda bir başka çalışma ise Jegan ve arkadaşları yapmışlardır. Hayati parametre izleme üzerine yaptıkları çalışmada, piezo sensörünü kemere yerleştirerek göğüsten solunum algılamışlardır. Elde ettikleri sonuçları, ticari olarak mevcut sensörlerle karşılaştırarak düşük hata oranına sahip olduklarını belirtmişlerdir[10].

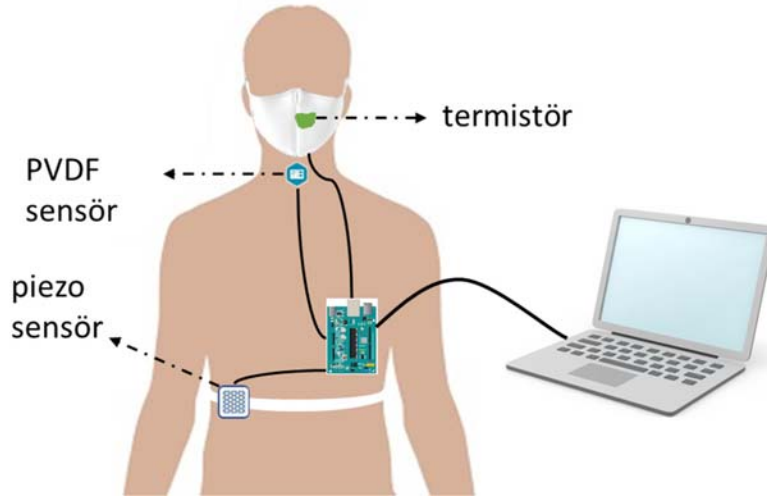
Qudsi ve Gupta yaptıkları çalışma ile bir nebulizatör maskesinin içine yerleştirilen termistörden soluk alıp verme sırasında oluşan sıcaklık sayesinde veriler alarak bir cihaz geliştirmişlerdir. Bu sayede elde edilen verilerle solunum tespiti yapmışlardır. Uygun maliyetli olması sebebiyle tercih sebebi olabilecek bir yöntemdir[11]. Termistör temel alınarak yapılan bir diğer çalışma ise Kim ve arkadaşlarının yaptığı uyku apnesi tespiti için yaşamsal parametre takibidir. Bu çalışma ile solunum algılama için burun kenarına yerleştirilen bir termistörden yardım alınır. Elde edilen sonuçlar ışığında solunum apnesi tespit edilmiş ancak sistem tasarımında düzeltmelere gidilmesi gerektiği belirtilmiştir[12].

Güncel çalışmalar incelendiğinde solunum tespiti üzerine en fazla iki farklı sensörle tespit yapıldığı görülmektedir. Ayrıca verilerin doğruluğu açısından aynı anda alınmaları ve solunum tespitinin önemi temel alındığında uygun maliyetli bir sistem tasarımının yapılması elzem görünmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, üç farklı sensör ile üç farklı bölgeden eş zamanlı solunum verilerinin alınması amaçlanmıştır. Elde edilen verilerin analizi ile solunum varlığı/yokluğu (yapay apne) ve solunum hızı tespiti yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla piezo sensörü ile alınan verinin bu bilgileri elde etmede en uygun yöntem olduğuna karar verilmiştir. Bu karar verme sürecinde kullanılan veri alma yönteminin uygulama kolaylığı, maliyeti ve sinyal işleme yöntemindeki başarımı etkili olmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Sensör Tabanlı Solunum Kayıt Devresi Tasarımı

Sistem tasarlanırken solunum tespiti için en kolay veri alınabilecek üç bölge(burun, trakea, thorax) belirlenmiştir. Sistem, belirlenen bölgelerden veri alabilecek şekilde üç sensörden oluşur. Bu sensörler termistör, piezo sensör, PVDF film sensörüdür. Şekil 1’de görüldüğü üzere sistem tasarımı verilmiştir.



Şekil. 1. Solunum kayıt devresi tasarımı ve kayıt alım prosedürüne göre vücut üzerine yerleştirilen sensörlerin konumları.

Termistörler, sıcaklıkla değişen dirençlerdir. Sıcaklığın artışına bağlı olarak direncin arttığı termistörler, pozitif katsayılı termistörler(PTC); sıcaklığın düşmesi sonucu direncin azaldığı termistörler, negatif katsayılı termistörler(NTC) denir[13]. Bu çalışmada, NTC tipi 20K termistör kullanılmıştır. Bu termistör, -55 ila 150 °C aralığında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir ve ± 0.1 °C hassasiyete sahiptir. Medikal maske içine yerleştirilmiş bu sensör sayesinde, nefes alıp verirken meydana gelen sıcaklık değişimleri ölçülerek solunum tespiti gerçekleştirilmiştir.

Piezo sensörler, solunum olayı sırasında artan ya da azalan göğüs hacmindeki basınç değişimlerine göre ölçüm yapmaktadır[10]. Yapılan çalışmada, piezo sensörün yerleştirilebilmesi için solunum kemeri tasarlandı. 10 mm çapındaki sensör, kişinin sağ T11 thorax bölgesine gelecek şekilde solunum kemerine yerleştirildi.

Trakeadan solunum döngüsünün tespiti için kullanılan PVDF film sensörü, diyaframın kasılıp gevşemesi sırasında trakea içine girip çıkan hava akışının sebep olduğu titreşimleri algılayarak ölçüm yapar[8].

Sensörler, ATmega328 mikrodenetleyici kullanılarak programlanmış ve veriler Arduino ara yüzünü kullanarak MATLAB ortamına kaydedilmiştir.

B. Solunum Kayıt Alım Prosedürü

Bu çalışma, beş gönüllü katılımcı(4 kadın, 1 erkek) ile gerçekleştirilmiştir.

Sensörler, her birinin özelliğine göre veri alımı sağlayacak şekilde programlandı. Veri alınacak kişinin oturur pozisyonda olması sağlandı. Sensörler, çift taraflı yapışkan bantlar ile veri alınacak

kısımlara sabitlendi.

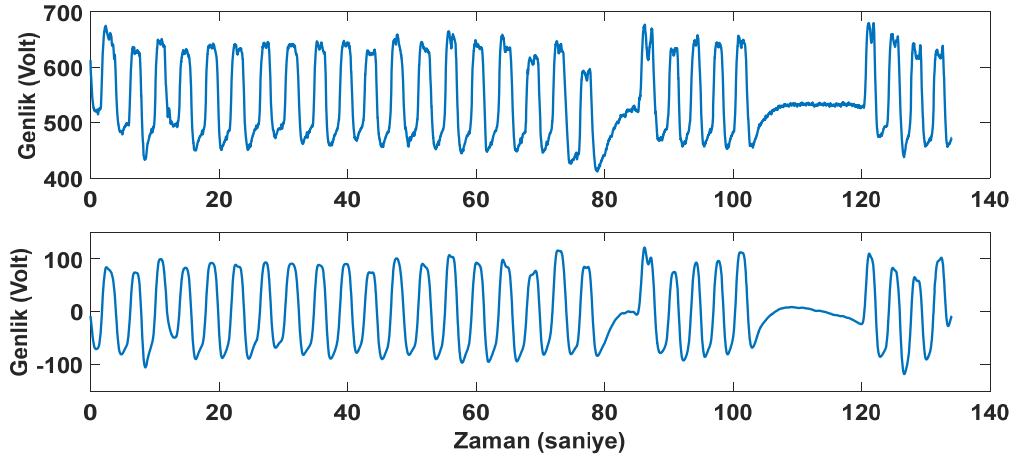
Kişilerden rahat olmaları, ilk bir dakika boyunca normal nefes alıp vermeleri, bir dakikanın sonunda nefes alıp vermeye devam etmeleri ve ilk komutla 5 saniye nefeslerini tutmaları sonrasında normal bir şekilde nefes alıp vermeye devam etmeleri, sonraki komut ile beraber ortalama 10-15 saniye nefeslerini tutmaları ve aynı şekilde sonrasında nefes alıp vermeye devam etmeleri istendi. Böylelikle kişilerden 2 dakika boyunca veriler alındı.

C. Ön İşlem

Sinyallerdeki DC bileşenlerin zaman-frekans analizi sonuçlarını etkilememesi için sinyaller Butterworth tipi 8.derece bir yüksek geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Filtrenin kesim frekansı, olası minimum solunum frekansı olan dakikada 12 nefes alma değerinin, yani 0.2Hz'in altında 0.05Hz (dakikada 3 nefes) olarak ayarlanmıştır.

Sinyaldeki DC bileşen atıldıktan sonra sinyalde yer alan kuantalama gürültüsü gibi yüksek frekanslı gürültülerin elenmesi için 250 ms standart sapmaya sahip bir Gauss tipi alçak geçiren filtre ile kullanılmıştır.

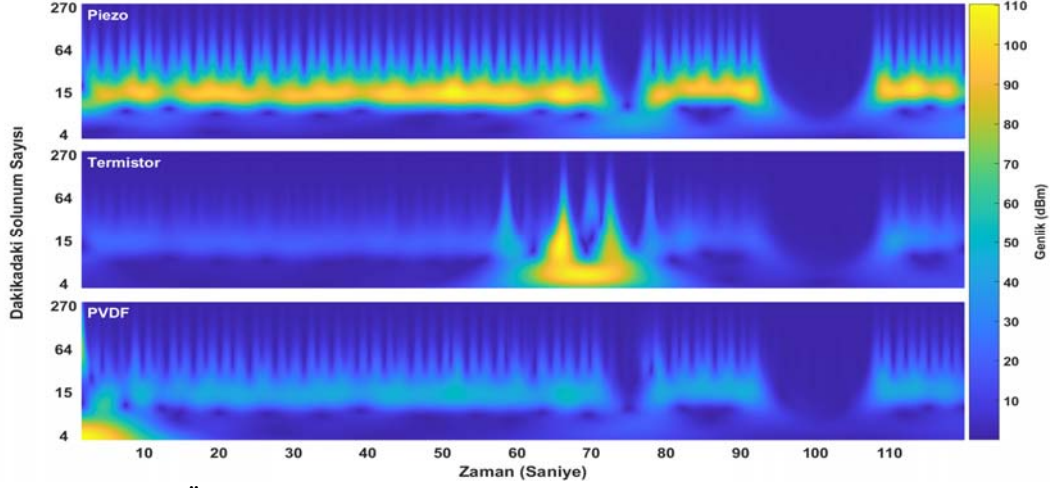
Şekil 2'de piezo sensörden elde edilen orijinal işaret ile birlikte filtrelenmiş işaretler gösterilmiştir.



Şekil 2. Piezo sensörden alınan ham solunum verileri ve filtrelenmiş solunum verileri.

D. Analiz için Kullanılacak İşaretin Belirlenmesi

Solunum periyodunun ve solunumun durduğu zaman aralıklarının tespiti için farklı sensörlerden alınan veriler zaman-frekans analizi yöntemiyle öncelikle incelenmiştir. Zaman-Frekans analizi yöntemleri için kullanılan iki yöntem Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) ve Sürekli Zaman Dalgacık Dönüşümü (SZDD) yöntemleridir. Bu çalışmada ilgilenilen işaretlerde aranan özellikler düşük frekans bölgesinde yer aldıkları için, düşük frekans çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle SZDD yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 3'te alınan işaretlere ait bir örneğin ön işlemden geçirildikten sonra SZDD dönüşümü sonucu elde edilen zaman-frekans örüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Üç farklı sensörden alınan ölçümlerin zaman-frekans örüntüleri.

Örüntüler incelendiğinde solunum döngüsüne ait bilginin her üç işarette de belirgin şekilde gözlemlenebildiği (zaman eksenı boyunca 15 solunum/dakika seviyesinde seyreden genlik seviyesi) söylenebilir. Ayrıca solunum döngüsündeki kesintiler (75.s. civarı ve 90 ila 110.s arası) de gözlemlenebilmektedir. Zaman-frekans analizi üzerinden solunuma ait bilgi en net şekilde Piezo sensörüyle elde edilen işaretten elde edilebilmektedir. Bu nedenle solunumun ortalama değeri ve solunum apnesinin otomatik tespiti için tasarlanan algoritma için piezo sensörden elde edilen veri üzerinden gidilmiştir.

E. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, zaman-frekans ilişkisini ortaya koyma yeteneğine sahiptir ve durağan olmayan gerçek sinyallerin analizinde kısa zamanlı fourier dönüşümüne göre daha ayrıntılı bilgiler sunmaktadır. Ayrıca dalgacık dönüşümü, kısa süreli fourier dönüşümünün aksine düşük frekanslarda yüksek frekans çözünürlüğü, yüksek frekanslarda ise yüksek zaman çözünürlüğü sağlamaktadır [14]. Araştırmamızda, farklı sensörlerden kaydedilen ve düşük frekans bilgisi içeren solunum sinyalleri kullanıldığından, bu sinyallerin spektral analizi için sürekli dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılmıştır.

Sürekli zaman dalgacık dönüşümü (SZDD), $x(t)$ sinyalinin, dalgacık fonksiyonu $\Psi_{\tau,s}(t)$ ile konvolüsyonu olarak tanımlanır ve şu şekilde verilir;

$$SZDD_x^\Psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \Psi^* \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt \quad (1)$$

burada $\Psi_{\tau,s}(t)$, dalgacık fonksiyonu $\Psi(t)$ 'nin genişletilmiş ve kaydırılmış versiyonudur ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\Psi_{\tau,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi \left(\frac{t - \tau}{s} \right) \quad (2)$$

Burada t zaman parametresini, τ kaydırma parametresini ve s ise ölçek parametresini belirtir [15]. Dalgacık fonksiyonu $\Psi_{\tau,s}(t)$, aşağıda da verildiği gibi sıfır ortalamaya sahiptir.

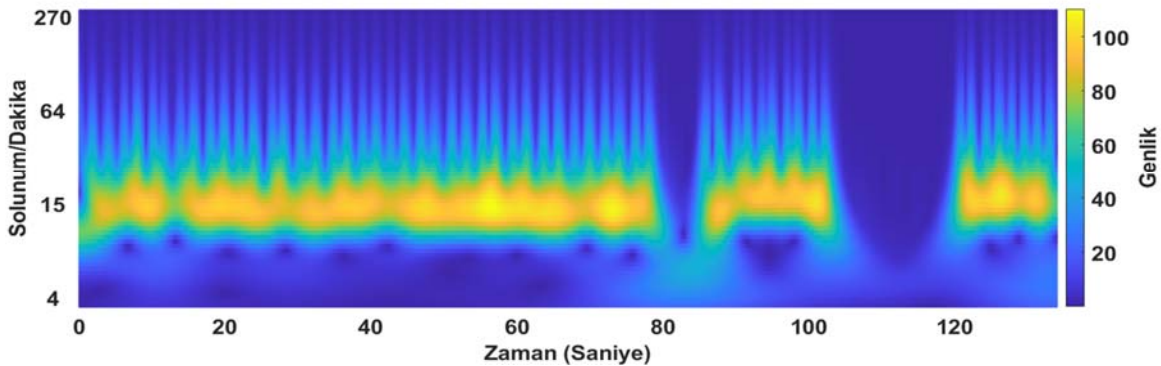
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi_{\tau,s}(t) dt = 0 \quad (3)$$

Dalgacık analizinde belirli bir dalgacık fonksiyonunun $\Psi(t)$ seçimi en önemli noktalardan biridir. Solunum sinyalleri ve dalgacık fonksiyonları incelendiğinde içlerinde uygun olan Morse dalgacık fonksiyonunu seçtik. Çünkü, yerel süreksizlikleri ve zamanla değişen genlik ve frekansa sahip sinyalleri analiz etmek için kullanışlıdır [16]. Öte yandan, dalgacık fonksiyonunun ve analiz edilecek sinyallerin benzerliği, yararlı bilgiler elde etmek için önemlidir. Diğer dalgacık türleri ile karşılaştırıldığında, Morse dalgacık fonksiyonunun, analiz edilecek sinyallere en çok benzeyen şekle sahip olduğu görülmüştür. Dalgacık dönüşümü, farklı sensörlerle alınmış birçok solunum verisinin analizi uygulamasında kullanılmıştır [17-19].

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Morse dalgacık fonksiyonunun SZDD analizinde kullanıldığında simetrisini ayarlayan parametre (γ) ve zaman-bant genişliği çarpımı parametresi (ZB) yapılacak olan analize göre belirlenebilmektedir. γ parametresi tam simetrik Morse dalgacığı için 3 olarak alınmıştır. ZB büyük seçilirse (geniş zaman aralığı üzerinde dalgacık analizi) frekans çözünürlüğünün artmasına karşın zamansal çözünürlükten taviz verilmiş olur. Tersisi durumda ise zamansal çözünürlük artarken frekans çözünürlüğü azalmış olacaktır. Solunum periyodu tespiti yanı sıra solunumun durduğu ve tekrar başladığı zaman noktalarının daha net olarak belirlenebilmesi için zamansal çözünürlük burada daha ön planda tutulmuştur ve ZB minimum olabilecek değer olan 5 olarak seçilmiştir.

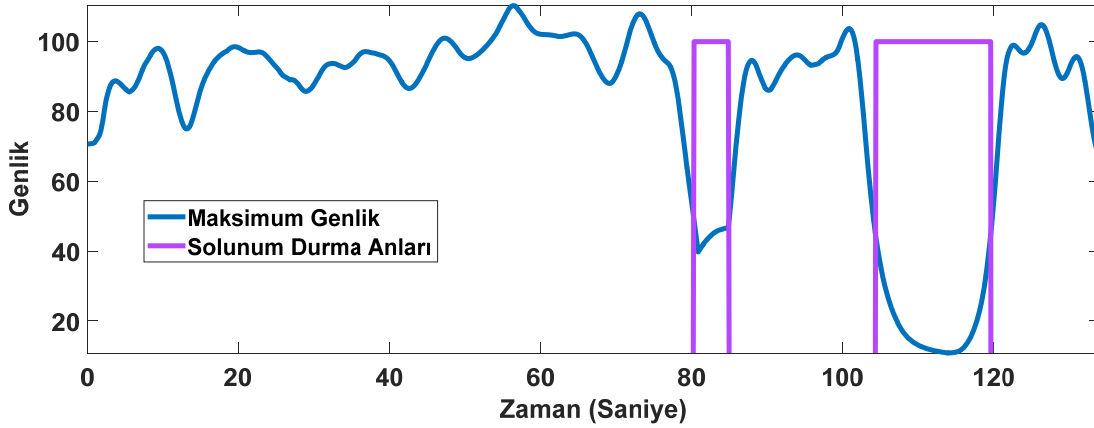
Şekil 4, örnek bir veri için işaretin her bir anına ait gücün frekansa göre dağılımını göstermektedir. İşarete yer alan frekans güçleri renkler ile temsil edilmiştir. Baskın frekanslar sarı tonlarında gösterilmektedir. Zaman eksenı boyunca en yüksek güç yoğunluğuna sahip genlik ve frekans değerleri elde edildiğinde sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'daki grafikler elde edilmektedir.



Şekil 4. Morse dalgacık fonksiyonunun solunum işaretlerine uygulanmış hali.

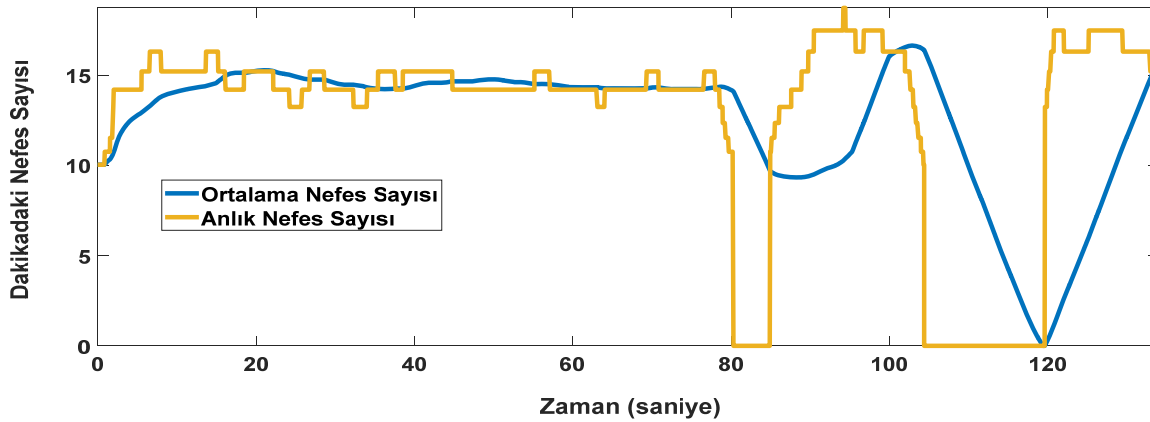
En yüksek güce sahip frekansa ait genlik-zaman grafiğinde solunum durduğu noktalar genlikte belirgin bir düşüş şeklinde kendini belli etmektedir. Bu noktaların tespiti için, genlikteki değişimi de dikkate alabilecek, adaptive bir yöntem geliştirilmiştir. Sinyalin başlangıcında normal solunum içerecek en az 30 s uzunluğuna bir bölüm olduğu kabul edilir. Bu bölümün ortalama genlik değerinin yarısı (3db düşüş noktası) sonra gelen değer için referans olarak kullanılır. Sonraki değer

referans değerden büyük ise solunumun devam ettiği an olarak işaretlenir (mor çizgide alçak seviye). Eğer referans değerden daha küçük bir değer varsa solunumun durduğu an olarak işaretlenir (mor çizgideki yüksek seviye). Solunumun devam ediyor olarak işaretlendiği anlar üzerinden referans genlik hesaplamaları yürütülür. Bu işlem sinyalin sonuna kadar 1 örnek aralıklarla tekrarlanarak yürütüldüğünde Şekil 5'teki grafikte mor renkle gösterilen, solunumun durmuş olarak tespit edildiği işaret hesaplanır.



Şekil 5. En yüksek güce sahip frekansa ait genlik-zaman grafiği.

Zaman-frekans analizi grafiği üzerinden dakikadaki anlık nefes sayısı hesaplanabilmektedir. Maksimum genliğe sahip frekans bilgisi ile elde edilen bu değeri geriye dönük 15 s boyunca ortalama olarak daha anlamlı bir hale getirmek mümkündür. Anlık ve son 15 s içindeki ortalama nefes sayısını gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Anlık ve ortalama solunum frekansı

Grafikten de görüldüğü üzere nefes durmasından önce dakikada 14 civarında seyreden solunum sayısı nefes durması sonrasında 16 seviyelerine çıkmıştır.

Sonuç olarak; sensörlerden elde edilen veriler ön işlemden geçirildikten sonra SZDD dönüşümü

sayesinde elde edilen zaman-frekans örüntüleri ile solunumun varlığının ve solunum apnesinin tespit edilebildiği doğrulanmıştır. Solunum apnesin algılanması açısından yapılan değerlendirmeler neticesinde geliştirdiğimiz yöntemin, grafiklerden de anlaşılacağı üzere piezo sensörden alınan verilerin diğer sensörlerden alınan verilere göre en daha net bilgiler verdiği görülmüştür.

Çalışmamızın sınırlaması, kişilerden verilerin sadece oturarak yani dinlenme durumunda alınmasıdır. Verilerin daha dinamik; kişiler hareket halindeyken, koşarken ya da yutkunma gibi fizyolojik olarak solunum tespitinde etkili olabilecek etkenler de dahil edilerek genişletilmesi geliştirdiğimiz yöntemin uygulama alanını da genişletecektir. Bundan sonraki çalışmalarımızda dinamik veri alım prosedürü için uygun kayıt yöntemi araştırması yapılacak ve geliştirdiğimiz yöntemin dinamik veriler üzerindeki başarımının denetlenerek artırılması üzerine çalışmalar yürütülecektir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Yıldız ve E. Yılmaz Coşkun, "Yaşamsal Bulguların Değerlendirilmesi ve Klinik Karar Verme," içinde, Sağlıkın Değerlendirilmesi ve Klinik Karar Verme, F. Eti Aslan, Ed. Ankara: Akademisyen Kitabevi, 2017, s.70-102.
- [2] J. V. Stewart, Vital Signs and Resuscitation, Texas: Landes Bioscience, 2003.
- [3] F.Q. Al-Khalidi, R. Saatchi, D. Burke, H. Elphick and S. Tan, "Respiration rate monitoring methods: a review," *Pediatr Pulmonol*, vol. 46, pp. 523-529, June 2011.
- [4] P.H. Charlton, T. Bonnici, L. Tarassenko, D.A. Clifton, R. Beale, et al., "An assessment of algorithms to estimate respiratory rate from the electrocardiogram and photoplethysmogram," *Physiol Meas.* vol. 37, pp. 610-626, April 2016.
- [5] S. Lyra, L. Mayer, L. Ou, D. Chen, P. Timms, et al., "A Deep Learning-Based Camera Approach for Vital Sign Monitoring Using Thermography Images for ICU Patients," *Sensors*, Basel, vol. 21, p. 1495, February 2021.
- [6] J. Lee and S.K. Yoo, "Radar-Based Detection of Respiration Rate with Adaptive Harmonic Quefrency Selection," *Sensors*, Basel, vol. 20, p. 1607, March 2020.
- [7] A. Gautam, K. Kinjalk, A. Kumar and V. Priye, "FBG-Based Respiration Rate Sensing With Arduino Interface," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, pp. 9209-9217, August 2020.
- [8] X. Li, S. H. Lee, S. M. Chae, K. H. Hwang, M. J. Ch, et al., "Detection and Analysis of Breathing Sounds from Trachea," 2018 11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), pp. 1-5, 2018.
- [9] M. Peng, Z. Ding, L. Wang and X. Cheng, "Detection of Sleep Biosignals Using an Intelligent Mattress Based on Piezoelectric Ceramic Sensors," *Sensors*, Basel, vol. 19, pp. 3843, 2019.
- [10] R. Jegan, W. S. Nimi and S. R. J. Ramson, "Sensors based Biomedical Framework to Monitor Patient's Vital Parameters," 2020 5th International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS), pp. 96-100, 2020.
- [11] H. Qudsi and M. Gupta, "Low-Cost, Thermistor Based Respiration Monitor," 2013 29th Southern Biomedical Engineering Conference, pp. 23-24, 2013.
- [12] D. Kim, E. Lee, J. Kim, P. Park, et al., "A Sleep Apnea Monitoring IC for Respiration, Heart-Rate, SpO2 and Pulse-Transit Time Measurement Using Thermistor, PPG and Body-Channel Communication," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, pp. 1997-2007, February 2020.

- [13] B. Arunachalam, R. D. V., A. Patvardhan, A. R., et al., "Embedded Temperature Monitoring and Control Unit," 2010 International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing, pp. 293-297, 2010.
- [14] N. Kehtarnavaz, Digital Signal Processing System Design, 2nd, in Discrete Wavelet Transform (DWT), 2008, p. 178.
- [15] H. Adeli, Z. Zhou and N. Dadmehr, "Analysis of EEG records in an epileptic patient using wavelet transform," Journal of Neuroscience Methods, vol. 123, pp. 69–87, 2003.
- [16] Olhede, SC ve AT Walden. "Genelleştirilmiş Mors Dalgacıkları." Sinyal İşleme IEEE İşlemleri, Cilt. 50, s. 2661-2670, 2002.
- [17] D. Clifton, J.G. Douglas, P.S. Addison and J.N. Watson, "Measurement of respiratory rate from the photoplethysmogram in chest clinic patients," Journal of clinical monitoring and computing, vol. 21, pp.55-61, 2007.
- [18] H. Miwa and K. Sakai, "Development of heart rate and respiration rate measurement system using body-sound," 2009 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, pp. 1-4, 2009.
- [19] F. Erden, A.Z. Alkar ve A.E. Cetin, "Contact-free measurement of respiratory rate using infrared and vibration sensors," Infrared Physics & Technology, vol. 73, pp. 88-94, 2015.

Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Farklı Tasarım Seçimlerinin Güç Kaybı ve Maliyet Analizleri

Power Loss and Cost Analysis of Different Design Choices in Electricity Distribution Networks

Oğuzhan Asiltürk^{*,1}, Vekil Sarı²

*: oguzhan.asilturk@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-5011-5111

¹: Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği, Sivas, Türkiye

²: Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Sivas, Türkiye

Özet Elektrik enerjisinin son tüketiciye ulaşma basamakları üretim, iletim ve dağıtım olarak 3 grupta nitelendirilmektedir. Enerjinin nitelikli, emniyetli ve sürdürülebilir bir şekilde tüketicilere iletilmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda yapılması gereken üretim maliyetlerini düşürmeye çalışmamıza ek olarak ileriye dönük projelerin öngörülerek, kaynakları en faydalı şekilde kullanarak; tüketiciye düşük maliyet ile bu enerjiyi sağlamaktır. Nitelikli enerji ve iş gücü kaybını engellemenin bir yolu da şebeke tasarımının doğru planlanmış olmasıdır. Büyüyen ve gelişen şehirlerin, sanayileşmenin ve yaşam alanlarının olduğu her bölgede enerjinin arzı arttığı gibi bu arzın güvenliği, verimi ve tasarımı da önem kazanmaktadır. Türkiye’de 2013 yılında elektrik dağıtım tesislerinin özel şirketlere devredilmesinin tamamlanması ile bu yatırımlar dağıtım şirketi tarafından yatırım politikası ve kapsamında olan bölgelerde sürdürüldüğü gibi özel müteşebbisler tarafından gerekli izin ve belgeler alınarak ta yapılabilmektedir. Fakat gelişmesi hızlı olan sanayi bölgelerinde müteşebbis yatırımları her geçen gün dağıtım şirketinin planlarının çok önünde ve parça parça yapıldığı için yatırım maliyetleri, şebeke güvenliği ve tasarımı sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu çalışmada Kocaeli İli Başiskele İlçesi Karadenizliler Mahallesinde 150 bin m² alana sahip bir bölgede enerji ihtiyacı ve mevcut durumda 19 adet müteşebbis yatırımlar ile yapılan trafo tesisleri yerine düzenli bir yatırım planlaması ile oluşacak güç kaybı ve maliyet farklılıkları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda oluşan bulgular yeni planlamanın maliyet ve güç kaybı açısından daha verimli olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Dağıtım Tesisleri, Enerji Arzı, Güç Kaybı.

Abstract The steps of electrical energy reaching the end consumer are classified in 3 groups as generation, transmission and distribution. It is aimed to transmit energy to consumers in a qualified, safe and sustainable manner. In this case, what needs to be done is to foresee future projects in addition to trying to reduce production costs, using resources in the most beneficial way; to provide this energy with low cost to the consumer. One way to prevent the loss of qualified energy and workforce is to have the network design planned correctly. Following the transfer of electricity distribution facilities to private companies in Turkey in 2013, these investments are

carried out in areas of investment policy by the distribution companies and scope. In addition, the necessary permits and documents can be obtained by private entrepreneur and this process can be done. However, investment costs, network security and design do not yield healthy results, as the entrepreneur investments are made far ahead of the plans of the distribution company in the rapid development industrial areas day by day. In this study, energy requirement in a region which 150.000 m² in Karadenizliler Quarter of Başiskele District of Kocaeli Province and power loss and cost differences that will occur with a regular investment planning instead of transformer facilities made with 19 entrepreneur investments are examined. Findings resulting from the study show that the new planning is more efficient in terms of cost and power loss.

Keywords: *Electricity Distribution Facilities, Energy Supply, Power Loss.*

I. GİRİŞ

Kaynakların sınırlı olması ve bu kaynakların yanlış kullanılması enerjinin üretim maliyetlerini artırmaktadır. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 304,2 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 304,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizin 2019 yılı itibariyle kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı; % 31,4'ü hidrolik enerji, % 29,0'sı doğal gaz, % 22,4'ü kömür, % 8,0'ı rüzgâr, % 6,0'ı güneş, % 1,5'i jeotermal ve % 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir. Elektrik tüketiminin 2023 yılında baz senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artışla 375,8 TWh'e ulaşması beklenmektedir [1].

Enerji ihtiyacının bu denli artışı kayıpların azaltılması ve yatırım politikalarını denetlemeye itmektedir. Gelişmesi hızlı olan sanayi sitelerinde müteşebbis yatırımları her geçen gün dağıtım şirketinin planlarının çok önünde ve parça parça yapılandığı için yatırım maliyetleri, şebeke güvenliği ve tasarımı sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalarda; Düzgün'e göre dağıtım şebekelerindeki kayıplarının azaltılmasında yüksek gerilim seviyelerinde iletim sağlanması, iletkenlerin ve kabloların boşa bekletilmemesi, dağıtım yapılan alanda kompanzasyonun sağlanması, maksimum verim için çift devre hatlarda eşit güç paylaşımının yapılması, transformatörlerin ihtiyaca uygun olarak seçilmesi alınabilecek tedbirler olarak sıralandırılmıştır [2]. Diğer bir çalışmada Uyanık; konut yapılanmasının yoğun olduğu bir alanda transformatör ve hatlardaki güç kayıplarını ve yatırım maliyetini incelemiştir. Konut projelerinin ve daha sık bir yapılanmanın olduğu bu alanda yeraltı kablolu AG hatlarında havai hatlı AG hatlarına göre daha az güç kaybı meydana geldiği görülmüştür [3]. Başka bir çalışmada Örne; deneyimlerini ve dağıtım şirketlerinde gördüğü aksaklıkları incelediği çalışmasında dağıtım şirketlerinin müteşebbis yatırımlarındaki yaşadığı sorunları enerji arzının kalitesizliğine vurgu yaparak açıklamış ve çözüm önerilerinde bulunmuştur [4]. Diğer bir çalışmada, enerji dağıtım tesislerinde oluşan teknik olmayan kayıpların çoğunluğunun tüketicilerin kasıtlı veya kasıtsız olarak oluşturduğu kayıplar olduğunu belirtilmiştir [5]. Başka bir çalışmada Pekiner'in yaptığı analizde teknik olan kayıpları ise akıma bağlı kayıplar(iletken dirençleri), akımdan bağımsız kayıplar (kaçak akımlar), boşa kayıplar (yükten bağımsız, trafo boşa kayıpları vb.) ve yükte kayıplar (sargı ve demir kayıpları) olarak ayrılmıştır [6]. Bu çalışmada, bunlara ek olarak farklı tipteki yüksek gerilim dağıtım tesislerinin güç kaybı ve maliyet analizleri incelenecektir. Bu

çalışmada Kocaeli İli Başiskele İlçesi 154/34,5kV İzmit TM Gölcük-II Hattından Enerjili, DM285 Carrefour Köprü Altı Kabinden Besli, TR628 Kullar TR16 Binadan besli, TR614 Kullar TR18 kabinden besli şu anki mevcut hali havai ve müşterilere göre bireysel (müteşebbis yatırımları) olarak tasarlanan elektrik dağıtım şebeke sisteminin yeraltına alınarak müşterilere ortak kullanım noktaları oluşturulması sonucu, arasındaki oluşacak maliyet farkları ve kayıp analizleri ele alınmıştır. Çalışma mevcut durumun verileri ile gerçekleştirilmiştir. TR614 Köşk tipi dağıtım merkezinden beslenen Ali İslam Caddesi, Türkkan Sokak, Keskin Sokak, Fulya Sokak, Köklü Sokak adreslerindeki 8 adet 100 kVA, 1 adet 160 kVA, 4 adet 250 kVA ve 5 Adet 400 kVA direk tipi trafo merkezi, 400 kVA köşk tipi trafo merkezi ve bunlara ait alt müşteriler incelenmiştir. Bu tesisler üzerinde farklı şebeke tasarımının sağlıklı çalışması ve tesislerin kullanılabilirliğini denetlemek amacı ile her aboneye ait kısa devre hesapları, gerilim düşümü hesapları, işletme ve koruma topraklaması hesapları yapılmıştır.

Şebeke tasarımında veriler sahada mevcut durum baz alınarak Autocad programı üzerinde planlı olarak işlenmiştir.

II. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ

Elektrik enerjisi gerilim seviyesine göre 1 kV' a kadar olan değerler için alçak gerilim 1kV-34,5kV değerleri arasında orta gerilim ve 34,5kV değeri üzerindeki gerilimler için yüksek gerilim olarak adlandırılır [7].

Elektrik enerjisinin iletiminde akım seviyesinin düşürülerek yüksek gerilim seviyelerinde iletilmesi bu sayede iletken kesitlerini düşürmek ve akım düşürüldüğü için iletimdeki kayıpları azaltmak hedeflenmektedir [8]. Elektrik üretim santrallerinden yüksek gerilim değerleri ile çıkış yapan elektrik enerjisi, iletim hatları ile yüksek kV değerini güç trafoları vasıtasıyla orta gerilim seviyesine düşürdüğü için indirici merkez olarak adlandırılan dağıtım merkezlerine iletilir.

Ülkemizde yüksek gerilim iletim hatlarımızın gerilim seviyesi 154 kV ve 380 kV 'tur. İndirici merkezlerimizde buna bağlı olarak 154kV/34,5kV ve 380kV/34,5kV olarak gerilim değerlerine sahiptir [9]. Dağıtım Merkezlerinden orta gerilim seviyesinde çıkış yapan enerji şehir, köy, sanayi tesislerinde kullanılmak üzere belirli noktalarda alçak gerilim seviyesine düşürülerek tüketiciye hizmet sunulmuş olur. İndirici merkezlerden tüketicinin kullanımına kadar kurulan bu sisteme elektrik dağıtım şebekesi adı verilir [10].

Elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılabilecek gerilimler TS EN 60038 numaralı Türk Standartlarında belirtilmiş olup alçak gerilim tesisleri için tek fazlı sistemlerde faz-toprak anma geriliminin 230 V, üç fazlı sistemler için faz-faz arası anma gerilimi 400 V olarak belirtilmiştir. Orta gerilim tesisleri için maksimum gerilim seviyesi standartları ise 24kV, 36kV, 40,5kV olarak verilmiştir [11]. Son kullanıcının bu gerilim seviyelerinden \pm %5 değerinde etkilenmesi istenir [12].

Ülkemizde dağıtım sistemleri tasarımında kullanılan yer altı kabloları ile iletimin sağlandığı köşk tipi trafo tesisleri ve havai hatlar ile iletimin sağlandığı direk tipi trafo tesisleri olarak iki baz model bulunmaktadır.

Köşk tipi trafo tesislerinde tüketim noktasında ölçüm eğer trafo tesisi özel müşterilere ait ise

orta gerilim seviyesinden ölçü hücreleri vasıtasıyla ölçüm yapılmakta ve tek abonelik oluşturulabilmektedir. Trafo tesisi dağıtım şirketine ait ise alçak gerilim seviyesinden ölçüm yapılmakta ve trafo tesisinin gücüne göre abonelik verilebilmektedir.

Direk tipi trafo tesislerinde ise trafo tesisi özel müşteriye ait olsa dahi alçak gerilim seviyesinden ölçüm yapılmaktadır. Trafo tesisinin özel müşterilere ait olduğu alanlarda dağıtım şirketinin belirlediği sayıda abonelik verilerek enerji ihtiyacı sağlanmaktadır. Bölgelere göre farklılık gösteren dağıtım şirketlerinde bu tesislerde maksimum 3,4,5 abonelik imkânı sunmaktadırlar.

Yapılacak çalışmada mevcut durumu havai hatlar ile iletim sağlanan özel müşteri isteklerine göre tasarlanan direk tipi trafo tesisinin yoğun olarak kullanıldığı bir alanın yer altı orta gerilim kablolarının köşk tipi trafo tesislerinin ve box sistemi ile dağıtım yapılan bir dağıtım şebekesi karşılaştırılacaktır.

Bu tasarımlarda farklılık göstermeyecek olan değişkenler olarak kabul edeceğimiz sayaç sonrası kayıplar, kompanzasyon kayıpları hesap edilmeyecektir. Alanda bulunan 45 adet depo, üretim tesisi, fabrika için tam yükte çalışma göz önünde bulundurulacaktır. Bu sayede yapılan analizler arasında güç farklılıkları oluşmayacaktır.

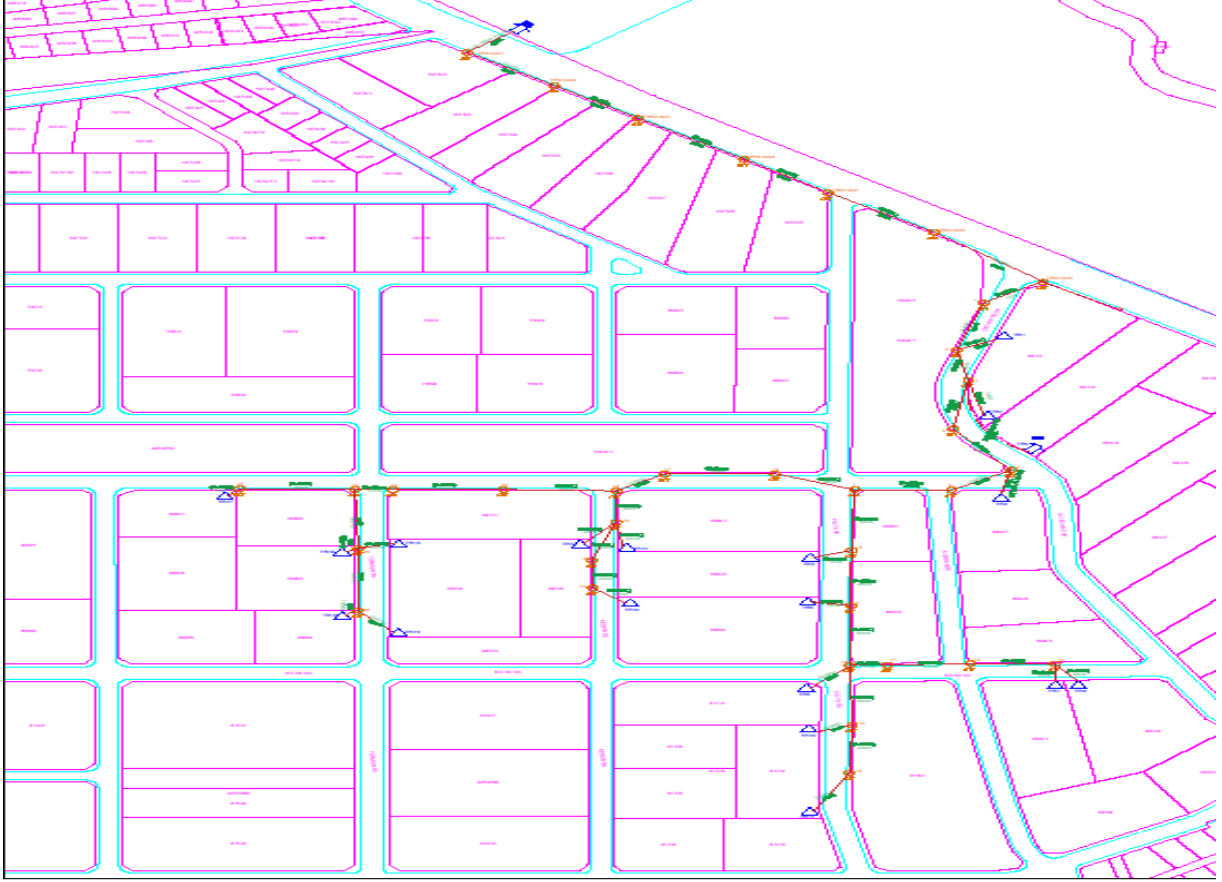
Kullanılan transformatörler TEDAŞ yönetmeliklerine göre zorunlu koşulan TEDAŞ-MLZ/95.012.F veya TEDAŞ-MLZ/99.032.E no'lu OG/AG Dağıtım Güç Transformatörleri (Atmosfere Açık, Genleşme Depolu) veya Hermetik Tip OG/AG Dağıtım Güç Transformatörlerinin Teknik Şartnamesinde belirtilen boştaki kayıp ve yük kaybı değerlerine uygun değerlerde seçilmelidir [13].

III. DAĞITIM ŞEBEKE UYGULAMALARI

A. Mevcut Durum Dağıtım Şebekesi

Şekil 1'de gösterildiği gibi, incelenen alanda mevcut durumda 19 adet bireysel müşterilere ait toplam kurulu gücü 4360 kVA trafo tesisi bulunmaktadır. Yeni imar planları ile sanayi ve depolama alanı olarak kullanılacak bu alanda trafo tesislerin sayısında yoğun bir artışta öngörülmektedir.

Trafo tesislerinin yapılması yapı sahibinin güç ihtiyacına bağlı olarak bölge elektrik dağıtım şirketi olan SEDAŞ'ın vereceği enerji müsaadesi ile sağlanmaktadır. Bu müsaadeye istinaden yapı sahibi kendi imkânları ile kurmuş olduğu trafo tesisini mevcut hatta bağlantı yaparak enerji ihtiyacını sağlamaktadır. Bu tesislerde alçak gerilim üzerinden yapılacak ölçüm noktası için dağıtım şirketi 1 direk tipi trafo tesisi için 400 kVA güce kadar, 4 bağımsız bölümün enerjilendirilmesine izin vermektedir. 630 kVA ve üzeri güçler için köşk tipi yapılan tesislerde ölçüm noktası orta gerilim bölümünden yapılmakta olup tek abone olunması gerekmektedir.



Şekil. 1. Mevcut Durum Planı

Yapı sahipleri maliyet ve alan tasarrufunu ön planda tutarak direk tipi trafo tesisi tercih etmektedir. İncelenen alanda 19 trafo tesisine ait toplam 45 adet abone bulunmaktadır. Bu alanın projelendirilmesi zamanla teker teker yapılmış olup her yapı sahibi kendi güç ve ihtiyacına göre trafo tesis etmiş bulunmaktadır. Tablo II’de bulunan maliyet analizi 2020 yılı TEDAŞ birim fiyat kitabına göre yapılmıştır [14].

Bu tesisler için ayrıca 2020 yılı boyunca fiziki irtibat ve bakım onarım yapılabilmesi için 29 adet kesintide toplam 107 saat enerji kesintisi uygulanmıştır. Alanda aktif olarak çalışan 382 adet personelin elektrik kesintisi sebebi ile iş durdurmaya gitmesi yarı yükte bir çalışma için ortalama olarak 513.312,5 TL maliyet oluşturmuştur. Bu kesintilerin dağıtım şirketine elektrik satışı yapamadığından kaynaklı olarak yarı yükteki bir çalışma potansiyeli için 206.603,625 TL zarara uğramaktadır [15]. Trafo tesislerinin Elektrik Kuvvetli Akımlar Yönetmeliğine göre bir yüksek gerilim işletme sorumluluğu hizmeti aldığı da düşünülürse Elektrik Mühendisleri Odası birim fiyatlarına göre toplam 99.204 TL ekstra maliyet oluşturmuştur [16].

Mevcut Durumda bulunan trafolarla güç kayıpları yüklenme oranları ve trafoların TEDAŞ-MYD/99.032.E no’lu OG/AG Dağıtım Güç Transformatörleri (Atmosfere Açık, Genleşme

Depolu) veya Hermetik Tip OG/AG Dağıtım Güç Transformatörlerinin Teknik Şartnamesinde belirtilen boşa kayıp ve yük kaybı değerlerine uygun değeri baz alınarak hesap edilmiştir.

Trafoalarda verim çıkış gücünün giriş gücüne oranıdır. Giriş gücüne P_p , çıkış gücüne P_s , toplam kayıp güçler P_k olarak adlandırılırsa trafolarda verimin yüzde olarak ifadesi

$$\eta = ((P_s) / (P_p + P_k)) * 100 \quad (1)$$

olarak gösterilir.

Trafoalarda toplam kayıp boşa çalışmadaki kayıplar (P_{fe}) ve bakır kayıplarının (P_{cu}) yüklenme oranının (9) karesi ile orantılı olarak $P_k = P_{fe} + (P_{cu} * \vartheta^2)$ dır [17]. Verim ifadesini bu bilgiler ile düzenlemiş olursak;

$$\eta = ((P_s) / (P_p + P_{fe} + (P_{cu} * \vartheta^2))) * 100 \quad (2)$$

Havai hatlı iletim hatlarında güç kaybı (ΔP); hat uzunluğu (L(km)), kullanılan iletken sabiti C ve yük faktörleri (P) ile

$$\Delta P = 10^{-6} C * P^2 * L \quad (3)$$

formülü kullanılarak hesap edilmektedir. C sabiti kablo rezistans direnci(R(Ω /km)) ve işletme gerilimi(U) üzerinden

$$10^{-6} C = R / U^2 \quad (4)$$

alınarak hesaplanmaktadır [18].

Analizi yapılan alanda 34,5 kV değeri için Swallow iletken ve 2 adet trafonun hat ile bağlantısı yer altı 3x(1x50) XLPE kablo ile sağlanmaktadır. Üretici değerlerine göre swallow iletkeninin direnci R=1,0742 Ω /km ve 3x(1x50) XLPE kablo direnci R=0,387 Ω /km dir [19,20]. Denklem (4)'e göre yapılan hesaplar ile swallow iletken için C sabiti 0,902 ve 3x(1x50) XLPE kablo için C sabiti 0,325 bulunarak hesap edilmiştir.

Trafoalardan Ana Dağıtım Panolarına geçiş iletkenleri mevcutta alüminyum kullanılmış olup öz iletkenlik katsayısı 35 m/($\Omega.mm^2$) alınmıştır. Mevcut durumda oluşan güç kaybı Tablo II'de belirtilmiştir.

TABLO I
MEVCUT DURUM KEŞİF MALİYETİ

Poz.No	Açıklama	Br.	Mik.	Malzeme		Montaj	
				Birim Fiyat	Tutarı	Birim Fiyat	Tutarı
3.1.2	8 Mm Çapında Daire Kesitli Bakır Bara	Kg.	180	52,06	9.370,80	40,04	7.207,20
5.5.2	Galvanizli Demir Konstrüksiyon	Kg.	230	4,72	1.085,60	18,40	4.232,00
5.6.1	12/3 Beton Direk	Ad.	4	745,00	2.980,00		
5.6.1	12/6 Beton Direk	Ad.	6	1.150,81	6.904,86		
5.6.1	12/8 Beton Direk	Ad.	7	1.421,35	9.949,45		
5.6.1	12/12 Beton Direk	Ad.	2	1.825,07	3.650,14		
5.6.1	13/8 Beton Direk	Ad.	2	1.604,48	3.208,96		
5.6.1	14/6 Beton Direk	Ad.	3	1.469,21	4.407,63		
5.6.1	14/8 Beton Direk	Ad.	1	1.781,36	1.781,36		
5.6.1	14/10 Beton Direk	Ad.	2	2.273,13	4.546,26		
5.6.2	14/16 Trafo Direği	Ad.	18	3.317,17	59.709,06		
5.6.5.	Pl 250 Platform	Ad.	13	1.065,49	13.851,37		
5.6.5.	Pl 400 Platform	Ad.	5	1.395,21	6.976,05		
5.6.6	Beton Direk Ve Platform Montajı	Kg.				1,51	195.122,20
5.7.1	T 27/200 Beton Travers	Kg.	18	101,74	1.831,32		
5.7.6.	N 70/200 Beton Travers	Ad.	45	258,38	11.627,10		
5.7.11.	KT27/200 Beton Travers	Ad.	2	111,02	222,04		
5.7.23	Beton Travers Montajı	Kg.				1,13	7.859,15
7.5	1" Galvaniz Boru	Mt.	189	18,52	3.500,28	22,07	4.171,23
8.1	2 mm'lik Galvanizli Saç Tava	Kg.	540	8,49	4.584,60	2,87	1.549,80
8.2.2.	110 mm Kablo Muhafaza Borusu	Mt.	54	9,43	509,22	1,50	81,00
9.3.1	Swallow İletken Awg 3 (109.96)	Kg.	469	12,42	5.824,11	14,94	7.005,81
11.4.	36 KV VHD 35 (20 Mm/Kv) Normal Tip	Ad.	128	80,62	10.319,36	34,49	4.414,72
11.5	C 35 Demir Taşıyıcı	Ad.	95	24,40	2.318,00		
11.5	C 35 Demir Orta	Ad.	33	18,61	614,13		
11.6.3.	Kompozit Silikon Gergi İzolatörü 40kn/11B	Ad.	96	46,39	4.453,44	11,94	1.146,24
11.8.	Tek Gergi Tertibatı : Swollow	Ad.	96	36,68	3.521,28	38,72	3.717,12
15.2	36kv 10 Ka Metal Oksit Parafudur	Ad.	57	158,64	9.042,48	358,74	20.448,18
17.7	36 Kv Harici Tip Sigortalı Seksiyoner	Ad.	18	2.616,54	47.097,72	1.607,93	28.942,74
17.8	36 Kv Harici Tip Sigortalı Topraklı Seksiyoner	Ad.	3	2.714,56	8.143,68	1.633,14	4.899,42
17.9.	OG Sigorta Patronu 36 KV 2-20 A L=635 mm 0=45mm	Ad.	39	63,64	2.481,96		
17.9.	OG Sigorta Patronu 36 KV 25 A L=635 mm 0=45 Mm	Ad.	18	66,57	1.198,26		
17.9.	OG Sigorta Patronu 36 KV 30-40 A L=635mm 0=45mm	Ad.	6	70,61	423,66		
17.9.	OG Sigorta Patronu 36 KV 63 A L=635 mm 0=45 mm	Ad.	3	135,52	406,56		
24.4.2.	100 kva Harici Tip A.G panosu	Ad	8	4.231,58	33.852,64	1.939,15	15.513,20
24.4.2.	160 kva Harici Tip A.G panosu	Ad	1	4.418,19	4.418,19	1.943,43	1.943,43
24.4.2.	250 kva Harici Tip A.G panosu	Ad	4	6.328,72	25.314,88	2.254,91	9.019,64
24.4.2.	400 kva Harici Tip A.G panosu	Ad	6	7.370,17	44.221,02	2.265,94	13.595,64
30.2.2	50 mm nyy kablo ve gömülmesi	Mt	380	19,55	7.429,00	16,82	6.391,60
30.4.1	95 mm2 Galvaniz Örgülü Çelik İletken	Mt.	665	6,12	4.069,80	31,80	21.147,00
30.4.2	Topraklama Elektrodu 65x65x7mm 2mt	Ad.	230	69,00	15.870,00	116,90	26.887,00
30.4.2	Topraklama Elektrodu Bakır 22mm 2,5mt	Ad.	57	201,69	11.496,33	116,90	6.663,30
31.6.4.3.	34,5/0,4 KV Hermetik trafo 100 kva	Ad.	8	12.949,1	103.592,80	5.774,09	46.192,72
31.6.4.3.	34,5/0,4 KV Hermetik trafo 160 kva	Ad.	1	17.524,7	17.524,73	6.849,83	6.849,83
31.6.4.3.	34,5/0,4 KV Hermetik trafo 250 kva	Ad.	4	21.566,6	86.266,64	8.057,77	32.231,08
31.6.4.3.	34,5/0,4 KV Hermetik trafo 400 kva	Ad.	6	27.286,1	163.717,14	9.892,46	59.354,76
b-II - 32.12.	3x95+50 NAYY 0,6/1 kV Alüminyum Kablo (Direğe Montaj)	Mt	120	23,73	2.847,60	15,85	1.902,00
b-II - 32.12.	3x120+70 NAYY 0,6/1 kV Alüminyum Kablo (Direğe Montaj)	Mt	120	30,41	3.649,20	15,89	1.906,80
b-II - 32.12.	3x185+95 NAYY 0,6/1 kV Alüminyum Kablo (Direğe Montaj)	Mt	15	45,87	688,05	16,21	243,15
b-II - 32.12.	3x240+120 NAYY 0,6/1 kV Alüminyum Kablo (Direğe Montaj)	Mt	180	60,03	10.805,40	16,44	2.959,20
b-I 32.11.	1x50 XLPE (N2XSY) Toprak Kanala	Mt	85	46,92	3.988,20	80,03	6.802,55
b-I 32.11.	1x50 XLPE (N2XSY) Aynı Kanala	Mt	170	46,92	7.976,40	10,45	1.776,50
b-I 32.11.4.	1x95 AL XLPE (NA2XSY) Toprak Kanala	Mt	50	27,13	1.356,50	79,30	3.965,00
b-IV 32.19.1.	1x95 AL XLPE (NA2XSY) Aynı Kanala	Mt.	100	24,63	2.463,00	10,04	1.004,00
32.b	Eşdeğer Malzeme (20*50*6)	Ad.	500	3,34	1.670,00	7,25	3.625,00
32.34.11.	1x50 /16 XLPE kablo başlığı dahili tip	Ad	9	54,36	489,24	78,12	703,08
32.34.14.	1x50 /16 XLPE kablo başlığı Harici tip	Ad	3	83,36	250,08	101,84	305,52
32.34.14.1	1x95 /16 AL XLPE Kablo Başlığı Harici Tip	Ad	6	83,36	500,16	121,07	726,42
Özel	50-70-95 mm2 Al-Cu Kablo Pabucu	Ad.	26	35,00	910,00	18,00	468,00
Özel	120-150 mm2 Al-Cu Kablo Pabucu	Ad.	72	40,00	2.880,00	27,00	1.944,00
Özel	185-240 mm2 Al-Cu Kablo Pabucu	Ad.	78	45,00	3.510,00	36,00	2.808,00
Özel	O.G. buşing kapama	Ad	57	75,00	4.275,00	5,00	285,00
Özel	A.G. buşing kapama	Ad	76	60,00	4.560,00	5,00	380,00
Özel	VHD kapama	Ad	128	75,00	9.600,00	5,00	640,00
		TOPLAM (TL)		826.732,74		569.030,23	
MALZEME+MONTAJ TOPLAMI (TL)				1.395.762,97			

TABLO II
MEVCUT DURUM GÜÇ KAYIPLARI

Mevcut Durum		Güç Kaybı (%)	Güç Kaybı (kw)						
Kablolar ve İletkenler	Orta Gerilim Kabloları	0,0003	0,0119						
	Trafo ve Ana Dağıtım Panosu Arası Kablo	0,2482	10,0884						
	Havai Orta Gerilim İletkenleri	0,1343	Verim (%)	Trafo Demir Kaybı (kw)	Trafo Bakır Kaybı (kw)	Yüklenme Oranı (%)	Trafo Gücü (kVA)	Yük Gücü (kW)	Trafo Kayıp Güç (kW)
Trafolar	Tr-1	1,0839	98,910716	0,345	2,585	0,920000	250	230	2,505353
	Tr-2		98,910716	0,345	2,585	0,920000	250	230	2,505353
	Tr-3		99,030172	0,495	3,575	0,950000	400	380	3,685346
	Tr-4		98,910716	0,345	2,585	0,920000	250	230	2,505353
	Tr-5		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-6		99,030172	0,495	3,575	0,950000	400	380	3,685346
	Tr-7		98,758381	0,242	1,925	0,906250	160	145	1,800347
	Tr-8		99,030172	0,495	3,575	0,950000	400	380	3,685346
	Tr-9		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-10		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-11		99,030172	0,495	3,575	0,950000	400	380	3,685346
	Tr-12		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-13		99,030172	0,495	3,575	0,950000	400	380	3,685346
	Tr-14		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-15		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-16		98,910716	0,345	2,585	0,920000	250	230	2,505353
	Tr-17		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
	Tr-18		99,030172	0,495	3,575	0,950000	400	380	3,685346
	Tr-19		98,593671	0,17	1,375	0,900000	100	90	1,265696
Toplam		1,4667					4360	4065	44,0594

B. Yeni Durum Dağıtım Şebekesi

Yeni durum planlamasında alüminyum orta gerilim kabloları ve beton köşk tipi trafo merkezleri tesis edilmiştir. Yeni durum yapılanması mevcut durum planına göre yeni yapılar ekleneceği öngörülerek 3 ayrı merkezde her biri eşit güce sahip toplam kurulu gücü 4800 kVA olarak tasarlanmıştır. Bu hattın branşman direği mevcutta bulunan TR614A9 direğinden enerjisi sağlanmaktadır. Talep güçler değiştirilmemiş olup yapılan analizlerde talep güç değişkeni sabit tutulmuştur. Enerji trafo merkezlerinden alçak gerilime dönüştürülerek sokak içi boxlara dağıtılmış ve boxlardan ölçü panolarına irtibatı sağlanmıştır. Böylelikle ölçü panolarında oluşacak sayaç okuma hatası, pano içi kaçak bağlantı değişkenleri de sabit tutulmuştur.



Şekil. 2. Yeni Durum Planı

Yeni durum maliyet analizi fiyat farkı oluşmaması için TEDAŞ 2020 birim fiyat listesine göre Tablo III'de analiz edilmiştir. Bu maliyete ekstra olarak 3 adet trafo merkezinin her ay bakımının yapıldığı düşünülerek Elektrik Mühendisleri Odası aylık bakım asgari ücretlerine göre yıllık toplam 34.848 Türk Lirası bakım gideri oluşacaktır. Alanda dağıtım boxlar üzerinden sağlandığı için fiziki irtibatlar için trafo merkezlerinde bir kesintiye sebebiyet vermeyecektir.

TABLO III
YENİ DURUM KEŞİF MALİYETİ

Poz.No	Açıklama	Br.	Mik.	Malzeme		Montaj	
				Birim Fiyat	Tutarı	Birim Fiyat	Tutarı
8.2.2.	110 mm kablo muhafaza borusu	Mt.	1.265	9,43	11.928,95	1,50	1.897,50
15.2	36kV 10 kA Metal Oksit Parafudur	Ad.	3	158,64	475,92	358,74	1.076,22
22.4.4	Kesicili Giriş/ Çıkış Hücresi 36 kV 630 A 16 ka	Ad.	3	21.002,05	63.006,15	3.156,86	9.470,58
22.5.1.3	Sigortalı Trafo Koruma Hücresi 36kV 200A 16kA +1600 kVA Dahili 34,5/0,4 kV Trafo +1600 kVA Ag Dağıtım Panosu +7,50 Beton Köşk +2 Ad. Yük Ayırıcılı Giriş Çıkış Hücresi	Ad.	1	175.751,46	175.751,46	14.073,16	14.073,16
22.5.1.3	Sigortalı Trafo Koruma Hücresi 36kV 200A 16kA +1600 kVA Dahili 34,5/0,4 kV Trafo +1600 kVA Ag Dağıtım Panosu +7,50 Beton Köşk	Ad.	2	157.877,46	315.754,92	7.969,74	15.939,48
23	24 VDC 20A Şarj Tertibatı	Ad.	3	2.090,79	6.272,37	804,00	2.412,00
24.4.3.3	AG Saha Dağıtım tip A Galvaniz 550*1000*350 mm	Ad.	8	2.504,83	20.038,64	1.917,00	15.336,00
30.2.2	50 mm nyy kablo ve gömülmesi	Mt.	60	19,55	1.173,00	16,82	1.009,20
30.4.1	95 mm2 Galvaniz Örgülü Çelik İletken	Mt.	60	6,12	367,20	31,80	1.908,00
30.4.2	Topraklama Elektrodu 65x65x7mm 2mt	Ad.	15	69,00	1.035,00	116,90	1.753,50
30.4.2	Topraklama Elektrodu Bakır 22mm 2,5mt	Ad.	9	201,69	1.815,21	116,90	1.052,10
b-1 - 32.1	3x35+16 NYY 0,6/1 kV Kablo (Toprak Kanala)	Mt.	175	50,55	8.846,25	80,15	14.026,25
b-1 - 32.1	3x70+35 NYY 0,6/1 kV Kablo (Toprak Kanala)	Mt.	120	97,07	11.648,40	82,45	9.894,00
b-1 - 32.1	3x120+70 NYY 0,6/1 kV Kablo (Toprak Kanala)	Mt.	165	170,39	28.114,35	86,07	14.201,55
b-1 - 32.1	3x185+95 NYY 0,6/1 kV Kablo (Toprak Kanala)	Mt.	155	257,03	39.839,65	90,35	14.004,25
b-1 - 32.1	3x240+120 NYY 0,6/1 kV Kablo (Toprak Kanala)	Mt.	650	336,39	218.653,50	94,35	61.327,50
b-1-32.1	1X240 NYY 0,6/1 kV Kablo (Kabin İçi)	Mt.	355	94,62	33.590,10	16,37	5.811,35
b-1 - 32.1	3x120+70 NYY 0,6/1 kV Kablo (Aynı Toprak Kanala)	Mt.	195	170,39	33.226,05	16,81	3.277,95
b-1 - 32.1	3x150+70 NYY 0,6/1 kV Kablo (Aynı Toprak Kanala)	Mt.	210	209,05	43.900,50	18,43	3.870,30
b-1 - 32.1	3x240+120 NYY 0,6/1 kV Kablo (Aynı Toprak Kanala)	Mt.	530	336,39	178.286,70	25,14	13.324,20
b-1 32.11.	1x50 XLPE (N2XS) (Kabin içi)	Mt.	90	46,92	4.222,80	10,45	940,50
b-1 32.11.4.	1x95 AL XLPE (NA2XS) (Toprak Kanala)	Mt.	670	27,13	18.177,10	79,30	53.131,00
b-IV 32.19.1.	1x95 AL XLPE (NA2XS) (Aynı Kanala)	Mt.	1.340	24,63	33.004,20	10,04	13.453,60
32.b	Eşdeğer Malzeme (20*50*6)	Ad.	13.850	3,34	46.259,00	7,25	100.412,50
32.34.11.	1x50 /16 XLPE kablo başlığı dahili tip	Ad.	9	54,36	489,24	78,12	703,08
32.34.11.1	1x95 /16 AL XLPE Kablo Başlığı Dahili Tip	Ad.	15	56,58	848,70	87,89	1.318,35
32.34.14.	1x50 /16 XLPE kablo başlığı Harici tip	Ad.	3	83,36	250,08	101,84	305,52
32.34.14.1.	1x95 /16 AL XLPE Kablo Başlığı Harici Tip	Ad.	3	83,36	250,08	121,07	363,21
34.34.17	1x50/16 XLPE Ayrılabilen Ekranlanmış Tip	Ad.	9	720,76	6.486,84	41,66	374,94
32.35.1	16 Cu Kablo Pabucu	Ad.	14	1,18	16,52	3,64	50,96
32.35.1	35 Cu Kablo Pabucu	Ad.	44	1,87	82,28	5,42	238,48
32.35.1	50 Cu Kablo Pabucu	Ad.	6	2,40	14,40	5,42	32,52
32.35.1	70 Cu Kablo Pabucu	Ad.	40	2,80	112,00	5,42	216,80
32.35.1	95 Cu Kablo Pabucu	Ad.	8	4,53	36,24	5,42	43,36
32.35.1	120 Cu Kablo Pabucu	Ad.	98	5,17	506,66	12,81	1.255,38
32.35.1	150 Cu Kablo Pabucu	Ad.	12	7,80	93,60	12,81	153,72
32.35.1	185 Cu Kablo Pabucu	Ad.	24	9,96	239,04	12,81	307,44
32.35.1	240 Cu Kablo Pabucu	Ad.	149	11,56	1.722,44	12,81	1.908,69
Özel	A.G. buşing kapama	Ad.	12	60,00	720,00	5,00	60,00
TOPLAM (TL)					1.307.255,54		380.935,14
MALZEME+MONTAJ TOPLAMI (TL)							1.688.190,68

Yeni durumda trafolarla güç kayıpları yüklenme oranları ve trafoların TEDAŞ-MYD/99.032.E) Hermetik Tip OG/AG Dağıtım Güç Transformatörlerinin Teknik Şartnamesinde belirtilen boşa kayıp ve yük kaybı değerlerine göre hesap edilerek trafo güç kaybı standardında değişiklik yapılmamıştır. Trafo tesisleri mevcut TR614A9 direğinden itibaren 3x(1x95) AL XLPE kablo ile enerjilendirilmiştir. Denklem (4) kullanılarak 3x(1x95) AL XLPE kablo için üretici verilerine göre kablo direnci $R=0,320 \Omega/\text{km}$ alınmış ve işletme gerilimi $U=34,5 \text{ kV}$ üzerinden C sabiti 0,289 bulunmuştur [21]. Alçak gerilim kabloları dağıtım şirketi şartnamelerine uygun olarak bakır

seçilmiş ve güç kayıp hesabı kablo dirençleri ve üzerinden geçen akım değerleri ile hesaplanmıştır [22].

TABLO IV
YENİ DURUM GÜÇ KAYIPLARI

Yeni Proje		Güç Kaybı (%)	Güç Kaybı (kW)						
Kablolar	Orta Gerilim Kabloları	0,0249	1,0121						
	Köşk-Box Besleme Kabloları	0,3680	14,9582						
	Box-Ana Dağıtım Panosu Besleme Kabloları	0,2164		Verim (%)	Trafo Demir Kaybı (kW)	Trafo Bakır Kaybı (kW)	Yüklenme Oranı (%)	Trafo Gücü (kVA)	Yük Gücü (kW)
Trafolar	Tr-1	0,8101	99,323911	1,38	13,2	0,668750	1600	1070	7,2341
	Tr-2		99,117318	1,38	13,2	0,971875	1600	1555	13,7257
	Tr-3		99,168636	1,38	13,2	0,900000	1600	1440	11,9716
	Toplam	1,4194							32,9315

IV. SONUÇLAR

Mevcut durum ve yeni durum yatırım maliyeti olarak karşılaştırıldığında yeni uygulanacak durum yaklaşık olarak %21 fazla yatırım maliyeti doğuracaktır. Mevcut durum için işletme bakım maliyetleri ve enerji kesintisinden kaynaklanan giderlerin toplamı 819.120,125 TL olduğu göz önünde bulundurulduğunda 4 ay gibi bir sürede bu yatırım kendisini amorti edecektir.

Güç kaybı analizleri kıyaslandığında da yeni durumdaki güç kaybı eski durumdaki güç kaybının % 3,33 oranında daha az olduğu hesaplanmıştır.

Yeni durumda uygulanacak planın diğer avantajları ise işletme bakımında iş güvenliği açısından köşk tipi trafo tesisleri daha güvenilirdir, çevre ve göz kirliliği açısından havai hatlar yerine yer altı kablolar ve köşk tipi trafo tesisleri daha iyi bir yapıya sahiptir. Bunlara ek olarak yeni kurulacak sistemin kurulu mevcut yapılara ek olarak %18 daha fazla yük taşıyabilme kapasitesi bulunmaktadır.

Tüm bu bilgiler göz önünde tutulduğunda yatırım politikalarının önceden öngörülerek planlı yapılanmanın ve müteşebbis yatırımlarından ise dağıtım şirketi yatırımlarının ön planda tutulduğu bir yapılanma sistemi hem müteşebbis hem de dağıtım şirketi için doğru ve tasarruflu bir yatırım olacağı gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her türlü teknik imkânla birlikte gerekli verileri sağlayan Derta Proje Mühendislik firması ve Sakarya EDAŞ yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, alındığı tarih: 21.05.2021.
- [2] B. Düzgün, Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları, Politeknik Dergisi, 2018; 21(3) , 621-632, 2017.
- [3] G. Uyanık, Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Kayıpların İncelenmesi: Kütahya Örneği, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi) , Kütahya, 2020.
- [4] M. M. Örme, Türkiye Elektrik Dağıtım Şebekesinin Sorunları Ve Çözüm Önerileri, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli, 2019.
- [5] C. Yaşar, Y. Aslan ve T. Biçer, Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 9-22, 2010.
- [6] F. O. Pekiner, Kablolü Enerji Dağıtım Sistemlerinde Maliyet Minimazisyonuna ait yeni bir yaklaşım, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), İstanbul, 1993.
- [7] E. O. ÖRÜCÜ, TSE Standart Dergisi, Haziran 2011.
- [8] Electric Power Distribution, https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_distribution, alındığı tarih: 22.05.2021.
- [9] T. Çakıl, H. F. Carlak, Ş. Özen, Yüksek Gerilim Güç Hatlarının Matlabsimulink ile Modellenmesi: Kısa Devre ve Hata Analizi, https://www.emo.org.tr/ekler/123e4f8b649ab82_ek.pdf, alındığı tarih: 22.05.2021.
- [10] Elektrik Piyasası Bağlantı ve Sistem Kullanım Yönetmeliği, Rg-9/5/2021-31479.
- [11] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 60038, <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073099103051103055043119102073050075> , alındığı tarih: 21.05.2021.
- [12] EMO, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Cep Kitabı. Türkiye, 2017.
- [13] TEDAŞ, Tedaş-Mlz/99-032.E Hermetik Tip Og/Ag Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi, 2017.
- [14] TEDAŞ, 2020 Yılı Elektrik Proje ve Tesis Birim Fiyat Kitabı, 2020.
- [15] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., Elektrik Tarifeleri, https://www.tedas.gov.tr/#!/tedas_tarifeler, <https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/elektriktarifeleri//2021Y%C4%B1%C4%B1NisanElektrikTarifeleri.pdf> , alındığı tarih: 21.05.2021.
- [16] EMO, Elektrik, Elektronik-Biyomedikal-Kontrol Mühendisliği Hizmetleri, Kısım IV- 36 kV Enerji Nakil Hatları Ve Trafo Merkezleri Projeleri Ve Diğer Hizmetler (İşletme Sorumluluğu-Bakım-Danışmanlık Hizmetleri). Türkiye, 2020.
- [17] Transformatörler, <https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/enerjisistemlerimuhendisligi/bolu/Trafo%20Deneyi.pdf>, alındığı tarih: 21.05.2021.
- [18] EMO, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Teknik Bilgiler Kitabı. Türkiye, 2020.
- [19] 20,3/35 kV XLPE İzoleli Tek Damarlı Orta Gerilim Güç Kabloları, <https://www.oznurkablo.com.tr/urunler/3-6-6-20-3-35-kv-xlpe-izoleli-orta-gerilim-guc-kablolari/20-335-kv-xlpe-izoleli-tek-damarli-orta-gerilim-guc-kablolari>, alındığı tarih: 21.05.2021.
- [20] Örgülü Alüminyum Çelik Özlü İletkenler (ACSR), <https://www.oznurkablo.com.tr/urunler/aluminyum-havai-hat-iletkenleri/orgulu-aluminyum-celik-ozlu-iletkenler-acsr-1>, alındığı tarih: 21.05.2021.
- [21] 20,3/35 kV XLPE İzoleli Alüminyum İletkenli Tek Damarlı Orta Gerilim Güç Kabloları, <https://www.oznurkablo.com.tr/urunler/3-6-6-20-3-35-kv-orta-gerilim-aluminyum-iletkenli>

- xlpe-izole-ve-pvc-kilifli-kablolar/20,335-kv-xlpe-%c4%b0zolel%c4%b0-al%c3%9cm%c4%b0nyum-%c4%b0letkenl%c4%b0-tek-damarlı-orta-ger%c4%b0l%c4%b0m-g%c3%9c%c3%87-kabloları, alındığı tarih: 21.05.2021.
- [22] 0.6/ 1 kV PVC İzoleli, Bakır İletkenli Kablolar, <https://www.vatan.com.tr/urunler /alcak-gerilim-kablolari/0.6-1-kv-pvc-izoleli-bakir-iletkenli-kablolar.html>, alındığı tarih: 21.05.2021.

Dynamic Green Light Duration Adjustment for Intelligent Traffic Light Systems

Seçkin Uluskan^{*,1}

^{*}seckinuluskan@eskisehir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1527-9302

¹Department of Motor Vehicles and Technologies, Eskişehir Technical University, Eskişehir, Turkey

Abstract Intelligent traffic light systems are important research areas which have great potentials to increase the quality of traffic networks from multiple perspectives. This study demonstrates importance of dynamically adjusting the green light durations to reduce the overall number of cars waiting in crossroads. For a four-way crossroads with no left turn, multiple set of simulations are conducted where the car arrivals obey the Poisson process. This study shows that durations of green light can be set to certain optimum values considering the relative traffic densities of the roads intersecting at the crossroads. Finally, when the traffic densities of the roads change gradually, dynamically adjusting the green light durations yields a better traffic flow with significantly less number of cars waiting in queue.

Keywords: *Intelligent Traffic Management Systems, Intelligent Traffic Light Systems, Optimum Green Light Duration, Dynamic Adjustment of Traffic Light Durations*

I. INTRODUCTION

LONG queues of cars in the crossroads are the most significant problems of urban and rural traffic networks. Congestions often arise when the traffic time durations are not optimal [1]. This problem exhausts the drivers and also results in economical, environmental and safety issues [2]. Conventional signaling systems using red and green lights without any estimation of traffic densities create certain problems especially during peak hours [3]. Therefore, intelligent traffic light systems are proposed to manage the traffic flow at certain intersection points e.g. [4]. Intelligent traffic light systems have great potentials to increase the quality of traffic networks. Therefore, countries throughout the world are trying to develop efficient traffic management systems [5].

In this study, the aim is to demonstrate that dynamic adjustment of green light duration yields a better traffic flow with significantly less number of cars waiting in queue via traffic simulations. Section 2 describes the simulation setup. In Section 3, by means of simulations, first the optimum rate of green light duration is discussed. Then, it is illustrated that dynamic adjustment of green light duration with respect to changing traffic density yields a better traffic flow with less number of cars waiting in queue. Consequently in Section 4, the conclusion is presented.

II. PROBLEM DEFINITION

In this paper, the aim is to demonstrate that dynamic adjustment of green light duration yields

a better traffic flow with less number of cars waiting in queue via traffic simulations. In Fig.1, the simulation setup of this study is illustrated. There exists a crossroads in which four different roads meet (i.e. a four-way intersection). At the crossroads, turning left is prohibited for all of the four roads, therefore the opposite directions (e.g. Road A and C) can have green light at the same time. It is assumed that there is no pedestrian traffic in this crossroads. Consequently, the green light is sequentially shifting between Road A-C and Road B-D.

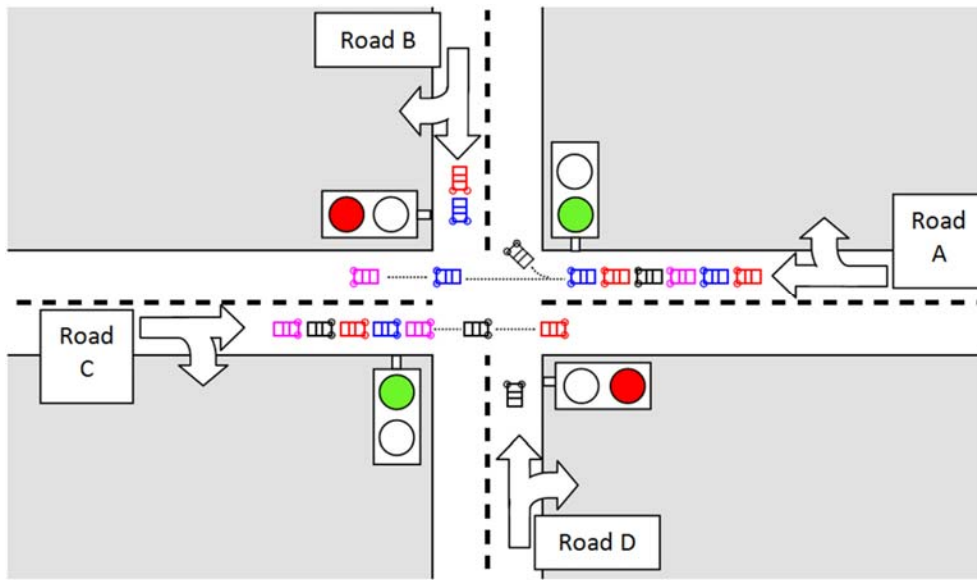


Fig. 1. A four way crossroads with no left turn for all the roads

Poisson process is one of the basic model for Markovian processes in queuing theory [1]. When the number of cars arriving to a traffic light is modeled a Poisson process, the number of arrivals n in an interval of length T obeys the Poisson distribution [6]:

$$P[n] = e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^n}{n!} \quad (1)$$

where λ is the average arrival rate per unit time. In a Poisson process with rate λ , the inter-arrival times have an exponential distribution with the probability density as follows,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Finally, the mean inter-arrival time μ which defines the average time between two successive arrivals can be written as follows:

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

In the simulation setup shown in Fig.1, Road A and C are assigned as "busy roads" and Road B and D are assigned as "idle roads". In other words, Road A and C have a higher rate of arrivals compared to Road B and D. A high rate of arrival (i.e. λ) yields a small inter-arrival time (i.e. μ). Therefore, for Road A and C, the arrival times are randomly drawn from an exponential

distribution with a small mean value (for example $\mu_1 = 2 \text{ sec}$). For Road B and D, the arrival times are randomly drawn from an exponential distribution with a high mean value (for example $\mu_1 = 10 \text{ sec}$).

Because the green light is sequentially shifting between Road A-C and Road B-D, it is a green light cycle with only two phase. In the simulations, one period of green light cycle is assigned as 60 sec. Within a period, Road A and C experience a green light for a certain interval which is smaller than 60 sec, and then Road B and D experience a green light for the remaining time. The rate of green light of busy roads within a period should be so effectively determined that the queue of the cars waiting in red lights for all the roads in the crossroads should be small as much as possible. If the rate of green light of busy roads is not high enough, then there will be long queues in Road A and C as shown in Fig.2. Moreover, if the rate of green light of busy roads is extremely high, then there will be long queues in Road B and D as shown in Fig.3. Consequently, this rate should be determined carefully to balance the length of queues in the crossroads as much as possible.

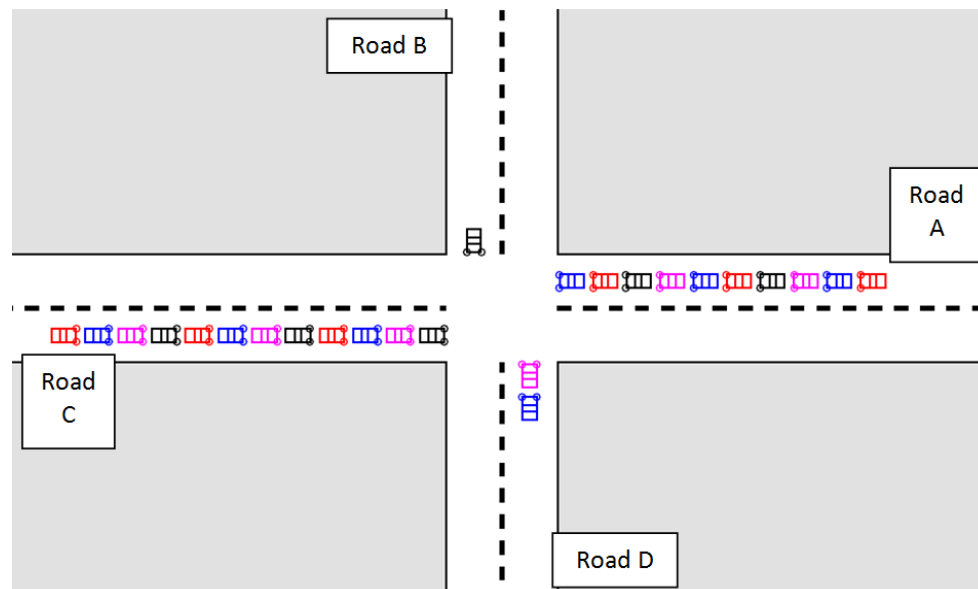


Fig. 2. The view of crossroads when the rate of green light of busy roads is not high enough

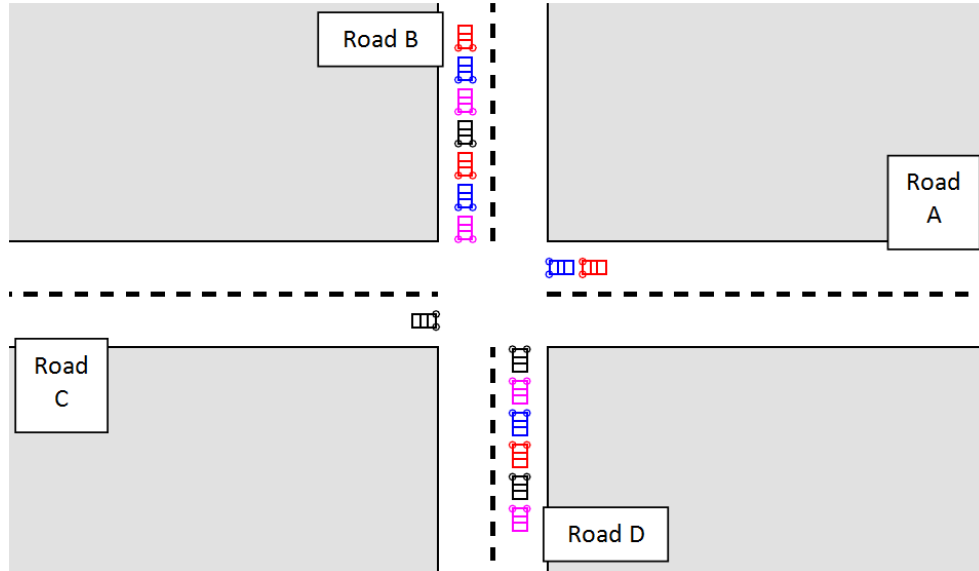


Fig. 3. The view of crossroads when the rate of green light of busy roads is extremely high

III. SIMULATIONS AND RESULTS

In this chapter, by means of simulations, first the optimum rate of green light duration is discussed for two different traffic density levels of busy roads. Then, it is illustrated that dynamic adjustment of green light duration with respect to changing traffic density yields a better traffic flow with less number of cars waiting in queue via traffic simulations. Simulations are conducted via Matlab® software [7].

A. Optimum Rate of Green Light Duration

In this section, two different sets of simulations are demonstrated for two different traffic density levels of busy roads. In the first set of simulations, the mean inter-arrival time for busy roads (i.e. Road A and C) is defined as 5 seconds ($\mu_1 = 5$ sec), and the mean inter-arrival time for idle roads (i.e. Road B and B) is defined as 10 seconds ($\mu_2 = 10$ sec). There exist 1000 iterations to able to smoothly calculate the mean values of waiting number of cars. For each iteration, the arrival times of cars for all of the roads are randomly determined through exponential distributions for 100 minutes. As described in the previous chapter, the period of green light cycle is 60 seconds i.e. 1 minute. For each iteration, 100 simulations are conducted with different rates of green light duration for busy roads (from 0 to 1 with 0.01 increments), and the average numbers of cars waiting in queue just before green light are calculated for both busy and idle roads. Finally, the overall average numbers of cars waiting in queue are calculated for all the rates of green lights through 1000 iterations of simulations.

The results of these simulations are illustrated in Fig.4 where the blue plot demonstrates the curve of average number of cars waiting in queue just before green light for busy roads. As can be seen, the number of cars waiting in queue for busy roads is reducing by increasing rate of green lights for busy roads. In Fig.4, the red plot demonstrates the curve of average number of

cars waiting in queue just before green light for idle roads. As can be seen, the number of cars waiting in queue for idle roads is rising by increasing rate of green lights for busy roads. For two extreme cases (i.e. very low and very high rate of green light duration for busy roads), the cars waiting in queues are accumulating for busy and idle roads respectively, so these extremes cases are not feasible. The moderate rates of green lights prevent accumulations, however the optimum rate should balance the number of cars waiting in the busy and idle roads. As can be seen, the optimum rate of green light duration for busy roads can be written as follows:

$$\rho_{opt} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \quad (3)$$

Therefore, for $\mu_1 = 5$ sec and $\mu_2 = 10$ sec, the optimum rate is 0.633 as seen in Fig.4. Another set of simulations is conducted for $\mu_1 = 2$ sec and $\mu_2 = 10$ sec. In these simulations, the arrival rate of busy roads is now quite higher, therefore the optimum rate of green light duration for busy roads should also increase. As can be seen in Fig.5, the optimum rate is 0.833 because a longer green light duration necessary for busy roads.

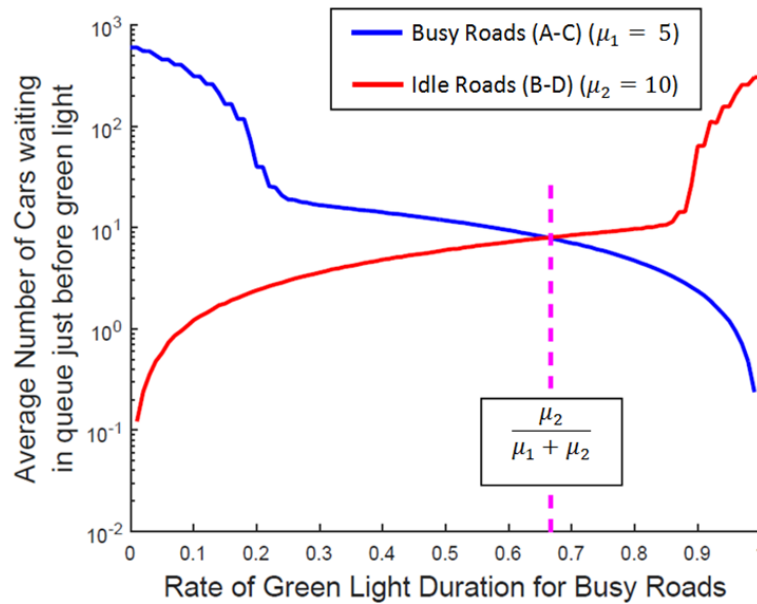


Fig. 4. The rate of green light of busy roads vs. average number of cars waiting in queue just before green light when μ_1 is 5 sec and μ_2 is 10 sec

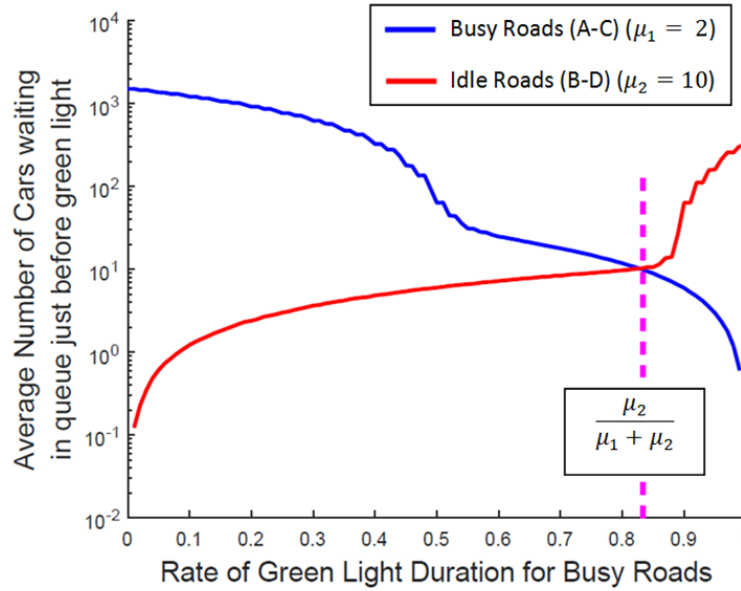


Fig. 5. The rate of green light of busy roads vs. average number of cars waiting in queue just before green light when μ_1 is 2 sec and μ_2 is 10 sec

B. Dynamic Adjustment of Green Light Duration

In this section, it is illustrated that dynamic adjustment of green light duration with respect to changing traffic density yields a better traffic flow with less number of cars waiting in queue via traffic simulations. In the simulations of this section, the mean inter-arrival rate of busy roads is gradually changing from 5 sec to 2 sec i.e. the traffic density of busy roads is gradually increasing. In Fig.6, the plots of average number of cars waiting in queue in busy roads for $\mu_1 = 5$ sec to $\mu_1 = 2$ sec are presented. As can be seen, if the green light duration is not adjusted as the traffic density of busy roads increases, the number of cars waiting in queue in busy roads can dramatically increase. On the other hand, if the green light duration of busy roads is automatically increased, the number of cars waiting in queue in busy roads can be significantly reduced whereas the number of cars waiting in queue in idle roads slightly increases. In Fig.7, the results of two different set of simulations are demonstrated. In the first case, the rate of green light duration of busy roads remains constant at 0.633 whereas it is dynamically adjusted in the second case. Consequently, as can be seen in Fig.7, dynamically adjusting the green light durations by taking the traffic densities into account yields a significantly smaller total number of cars waiting in the crossroads.

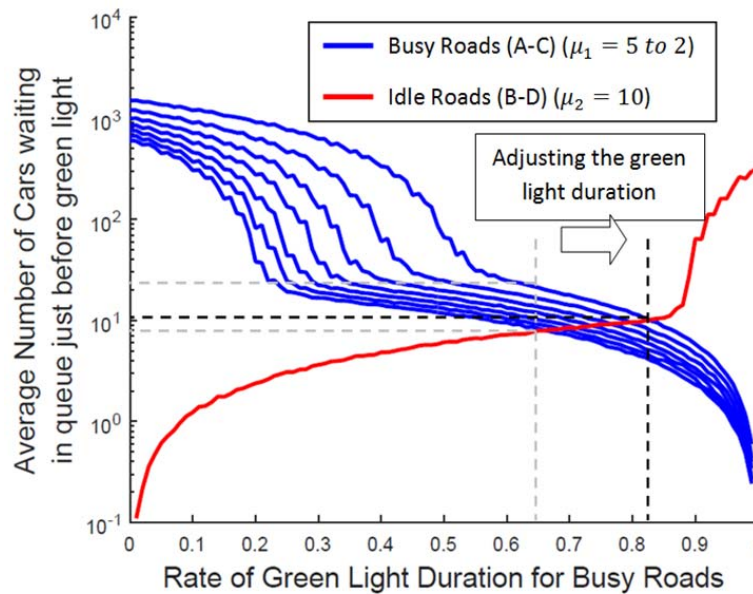


Fig. 6. The rate of green light of busy roads vs. average number of cars waiting in queue just before green light when μ_1 is changing from 5 sec to 2 sec (μ_2 is 10 sec)

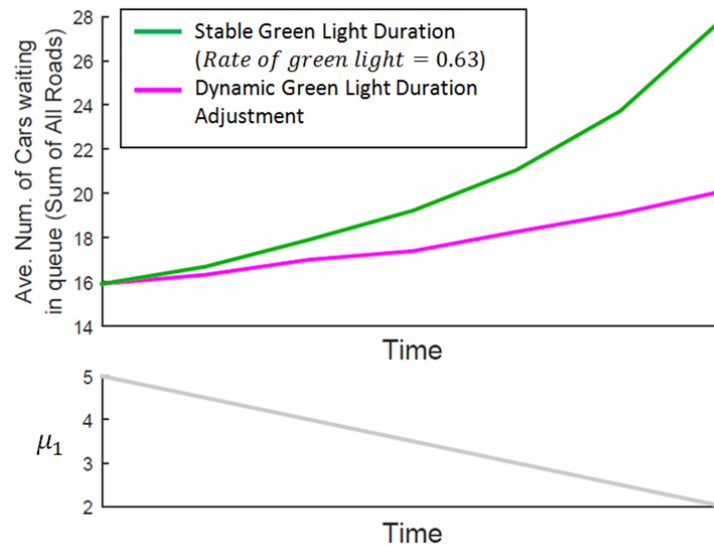


Fig. 7. Stable green light duration vs. dynamic adjustment of green duration when μ_1 is changing from 5 sec to 2 sec (μ_2 is 10 sec)

IV. CONCLUSION

Intelligent traffic management systems are important research areas which have great potentials to increase the quality of traffic networks in both urban and rural areas. This study

demonstrates the importance of dynamically adjusting the green light durations in crossroads to reduce the overall number of cars waiting in the crossroads. In Fig.7, it is shown that a dynamic green light duration adjustment system guarantees a smaller number of cars waiting in crossroads for all time instants. When the traffic density of busy roads increases significantly ($\mu_1 = 2$ sec), the average number of cars waiting in the crossroads is around 28 for stable green light duration systems, while the average number of cars waiting in the crossroads is around 19 cars for dynamic green light duration systems (i.e. almost half of the former one). These findings emphasize the importance of intelligent traffic light systems. Future studies can consider to create simulations in the presence of pedestrians and at the multiple crossroads at the same time, and finally to count the number of cars in the crossroads via image processing or other technologies.

REFERENCES

- [1] E. Harahap, D. Darmawan, Y. Fajar, R. Ceha, and A. Rachmiatie, "Modeling and simulation of queue waiting time at traffic light intersection," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1188, no. 1, 012001, March 2019.
- [2] C. Vilarinho, and J.P. Tavares, "Real-time traffic signal settings at an isolated signal control intersection," *Transportation Research Procedia*, vol. 3, pp. 1021-1030, 2014.
- [3] M. H. Malhi, M. H. Aslam, F. Saeed, O. Javed, and M. Fraz, "Vision based intelligent traffic management system," *Frontiers of Information Technology*, pp. 137-141, December 2011.
- [4] C. Vilarinho, J.P. Tavares, and R.J. Rossetti, "Intelligent traffic lights: Green time period negotiaton," *Transportation research procedia*, vol. 22, pp. 325-334, 2017.
- [5] A. Khanna, R. Goyal, M. Verma, and D. Joshi, "Intelligent traffic management system for smart cities," *International Conference on Futuristic Trends in Network and Communication Technologies*, pp. 152-164, February 2018.
- [6] U. Bhat, *An Introduction to Queueing Theory: Modeling and Analysis in Applications*, Birkhäuser, Boston, 2015.
- [7] MATLAB 2014b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States, License Number: 991708.

Şebeke Bağlantılı 113,92 kWp Fotovoltaik Santralin Modellenmesi ve Performans Analizi

Modelling and Performance Analysis of a Grid-Connected 113,92 kWp Photovoltaic Power Plant

Mehmet Karadağ^{*1}, Furkan Dinçer²

^{*1}mehmet.karadag.02@hotmail.com

²furkandincer@ksu.edu.tr

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

Özet

Bu çalışmada Adıyaman ilinde bulunan bir okulun çatısına kurulması planlanan güneş enerjisi santrali için PVsyst demo programı kullanılarak bir sistem modellenmiş, üretilen enerji miktarı ve performans oranları detaylı olarak analiz edilmiştir. Program ile sistemin aylık güneşlenme sürelerine göre üretilen enerji miktarı hesaplanabildiği, sistemin üç boyutlu modellenmesi, gölgelenme durumlarının simülasyonları yapılmıştır. Fotovoltaik sistemlerin kurulumunda coğrafi konumun güneşlenme süresi, binanın güneşe göre konumu, kullanılan panel ve eviricilerin önemi büyüktür. Bina konumu modelleme üzerinde işaretlenmiş ve konumun meteorolojik verileri program veri tabanından üretilmiştir. Kurulacak sistem için binanın güneşe bakan çatısına si-mono teknolojisine sahip 445Wp gücündeki 256 adet panel (113,92 kWp) ve 100 kW'lık evirici yerleştirilmiştir. Sistemin kurulu gücü 114 kWh olup şebekeye verilecek yıllık toplam enerji 192 MWh'tır. Sistemin performans oranı %84,8 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Sistemler, PVsyst demo programı, Performans oranı.

Abstract: In this study, a system was modeled using the PVsyst trial program for a solar power plant planned to be built on the roof of a school in city of Adıyaman and the amount of energy to be generated and performance rates were analyzed in detail. With the program, three-dimensional modeling of the system, simulations of shading situations were performed, where the amount of energy to be produced according to the monthly sunshine duration of the system can be calculated. In the installation of photovoltaic systems, the geographic location, sunshine duration, the position of the building in relation to the sun, the panels and inverters used are of great importance. The location of the building was marked on the modeling and the meteorological data of the location were produced from the program database. For the system to be installed, 256 panels with a power of 445Wp (113,92 kWp) and an inverter of 110 kW were placed on the roof of the building facing the sun. The installed power of the system is 114 kWh and the total energy to be supplied to the grid is 192 MWh. The performance rate of the system has been calculated as 84.8%.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Systems, PVsyst trial program, Performance ratio.

I. GİRİŞ

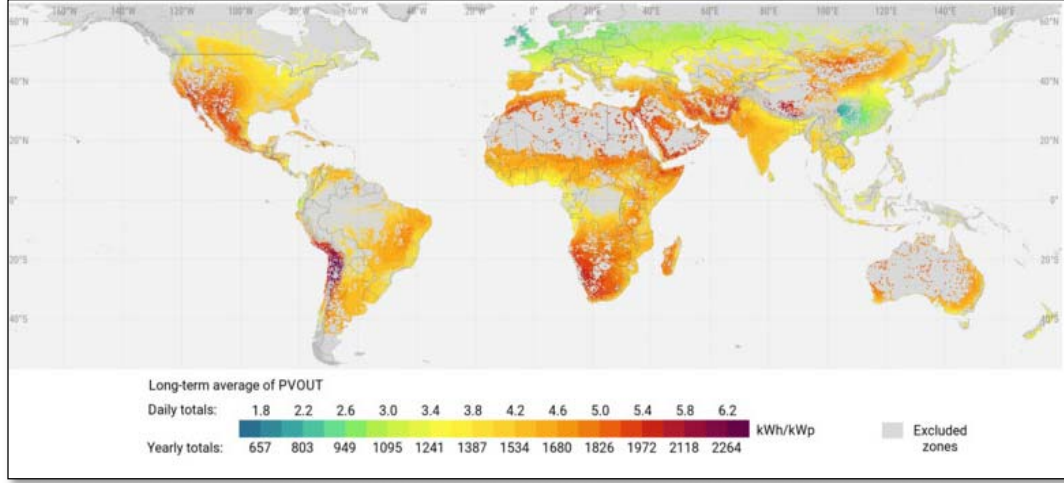
Enerji insan hayatının devamı için gerekli olan en önemli unsurlardan biridir. İnsan hayatın sağlıklı bir şekilde devam edebilmesi, ihtiyaçların karşılanabilmesi için enerjiye ihtiyaç duyar. İnsandan topluma doğru gidildikçe enerji ihtiyacı da aynı oranda artmaya başlar. Üretim, tüketim faaliyetleri, teknolojik gelişmeler göz önüne alındığında enerji ihtiyacı devasa boyutlara çıkar. Enerjinin önemini anlamak için geçmişte ülkeler arasında yapılan savaşların en önemli sebepleri arasında enerji kaynaklarına sahip olabilme istekleri olduğunu bilmek yeterli olacaktır. Ülkeler kendi enerji ihtiyaçlarını farklı yollar kullanarak karşılamaya çalışmaktadırlar. Geçmişten günümüze teknolojik gelişmeler ile beraber enerji elde etme yöntemlerinde de paralel gelişmeler yaşanmıştır. Örneğin daha önce sadece fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz vb.) ile enerji üretilirken günümüzde bu kaynaklara ek olarak alternatif enerji kaynaklarından da (güneş, rüzgâr, jeotermal, biyogaz, hidrojen vb.) enerji üretilmeye başlanmıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi ise çevre dostu olması, kaynağının tükenmemesi, temiz ve kurulum maliyeti dışında ek maliyet gerektirmemesi açısından önemli bir yere sahiptir.

Bundan ötürü, bu çalışmada Adıyaman ilinde bulunan bir okulun çatısına kurulması planlanan güneş enerjisi santrali için simülasyon programı kullanılarak bir sistem modellenmiş, üretilecek enerji miktarı ve performans oranları detaylı olarak analiz edilmiştir. Kurulacak sistem için binanın güneşe bakan çatısına si-mono teknolojisine sahip 445Wp gücündeki 256 adet panel ve 110 kW'lık evirici yerleştirilmiştir. Sistemin kurulu gücü 114 kWh olup şebekeye verilecek yıllık toplam enerji 192 MWh'tır. Sistemin performans oranı %84,8 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular detaylı olarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Böyle bir çalışma benzer kurulumlar yapılacak farklı lokasyondaki santraller için örnek bir çalışma teşkil edecektir.

II. DÜNYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİ DURUMU

Almanya, Amerika Çin, Japonya gibi ülkeler güneşten elektrik enerjisi üretiminde öncü konumda olan ülkeler arasında yer almaktadır. Güneşten elektrik enerjisi üretiminde ileri olan bu ülkelerin bazılarında güneş ısıma potansiyelleri yüksek iken diğerleri de sahip oldukları güneş enerjisi teknolojileri ile güneş enerjisinden daha verimli bir şekilde yararlanabilmektedirler. Güneş potansiyelini gösteren haritalarda güneş ışıyım değerleri yüksek yerler koyu kırmızı ile gösterilirken, ışıyım değerleri düşük yerler mavi renkle gösterilmektedir [1].

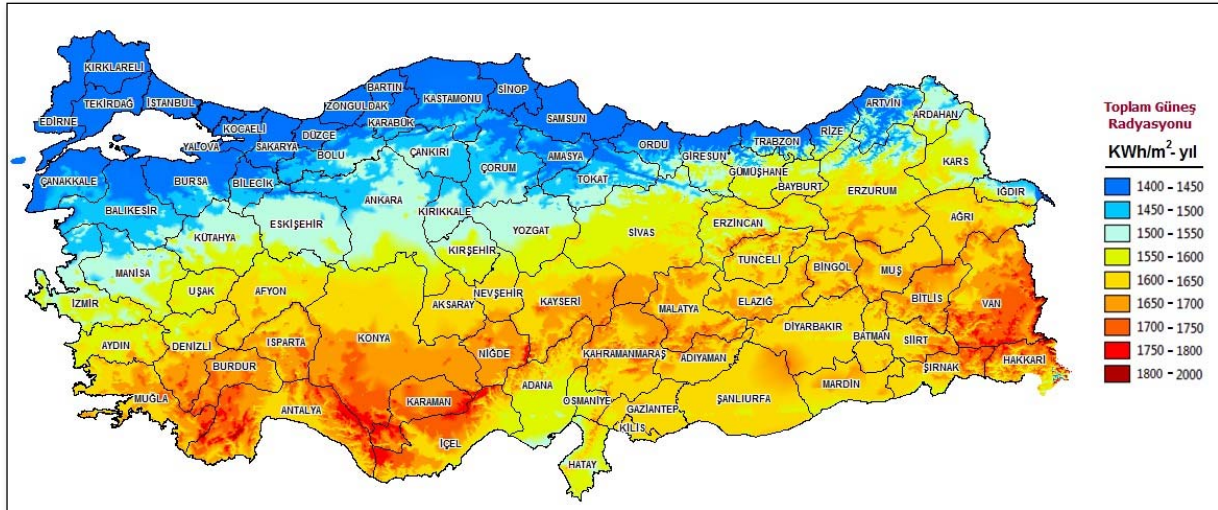
Güneş paneli bilindiği üzere hücrelerin seri ve paralel bağlanması ile oluşmaktadır. Belirli bir sayıda seri bağlanan hücreler kendi aralarında da paralele bağlantı yapacak şekilde tasarlanarak güneş paneli üretilir. Dünyada ise bu güneş hücrelerini çok sayıda ülke üretmektedir. Dünya güneş hücresi üretiminde özellikle uzak doğu ülkeleri öncü olmaktadır. Bunlar arasında Çin, Tayvan, Vietnam gibi ülkeler başı çekmekte olup dünya güneş enerji sektörünün hücre üretiminde önemli rol almaktadır.



Şekil 1. Dünya Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası [2]

III. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

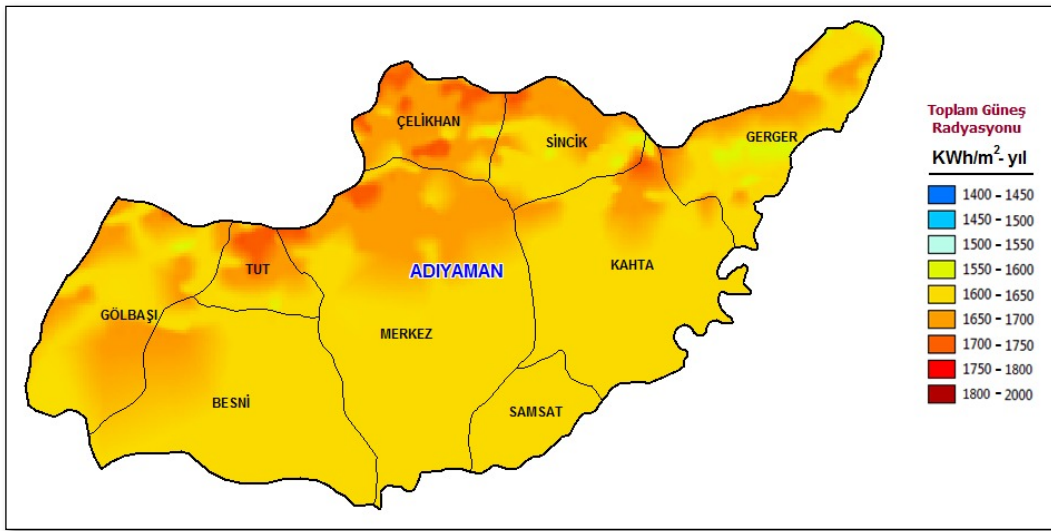
Coğrafi konumu itibarıyla 45^0 enlemiyle kuzey yarım kürede yer alan Türkiye, sahip olduğu güneş enerji potansiyeli açısından, diğer ülkelere göre oldukça iyi bir konuma sahiptir. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.737 saat (günlük 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1.527 kWh/m^2 (günlük $4,2 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir Şekil 2’de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verilmiştir. Haritada görüldüğü gibi güneyden kuzeye gidildikçe güneş radyasyonu azalmaktadır.



Şekil 2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası [3]

IV. ADIYAMAN İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Adıyaman ili Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Orta Fırat bölümünde yer alıp kuzey kesimleri dağlarla çevrilidir. İklimi yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve Atatürk Barajı'nın etkisiyle ılık ve nemli geçmektedir. Adıyaman ili 37° 25' dakika ile 38° 11' kuzey enlemi, 37° ve 39° doğu boylamı arasında yer alır. Adıyaman ilinin rakımı 669 m dir. Şekil 3'teki görüldüğü üzere Adıyaman coğrafi konumu itibariyle en çok güneş alan bölge içerisinde yer almaktadır. Güneşlenme potansiyelin ülkemiz ortalamasının üzerindedir.



Şekil 3. Adıyaman İli için Güneş Enerji Potansiyel Atlası [3]

V. KURULMASI PLANLANAN SANTRALİN MODELLENMESİ

Modelleme programı ongrid (şebeke bağlantılı güneş enerjisi) ve offgrid (şebekeden bağımsız güneş enerjisi) şeklinde güneş panelleri ile tasarımlar yapılabilen bir programdır. Bu program ile bir fotovoltaik sisteminin aylık güneşlenme sürelerine göre üretilecek enerji miktarı hesaplanabilir, sistemin üç boyutlu modellenmesi, gölgelenme durumlarının simülasyonları yapılabilir, sistemde oluşabilecek kayıplar, sistemin performansını gösteren tablolar elde edilebilir. Program içeriğinde su pompaları için ayrıca bir modül var olup pompanın gücüne göre de panel sistemi tasarlanabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, simülasyon programı kullanılarak ongrid (şebeke bağlantılı) bir fotovoltaik sistem tasarlamak sistemin performans analizini yapmak ve tasarlanan fotovoltaik sisteminin yıllık üreteceği enerji miktarını hesaplamaktır.

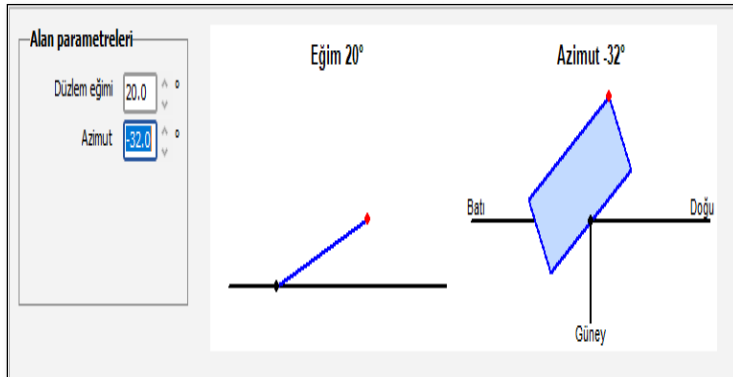
Adıyaman ili merkezinde bulunan bir meslek lisesinde bulunan ana binanın çatısı üstüne güneş panelleri konulacak bir fotovoltaik sistem tasarlanmıştır. Okulun konumu programda işaretlenmiş ve bölgenin meteoroloji verileri veri tabanından üretilmiştir.



Şekil 4. Kurulması Planlanan Fotovoltaik Santralin Lokasyonu ve Çatı Görünümü [4]

Fotovoltaik panellerin yerleştirilmesinde iki önemli açı değeri vardır. Bunlar eğim açısı ve yüzey azimut açısıdır. Eğim açısı, panelin yüzey ile yapmış olduğu açı değeridir. Ekvatora bakan yüzeyin açısı artı değerlidir. Yüzey azimut açısı ise yüzeyin dikeyinin güney yönüne göre yaptığı açıdır. Güneye bakan yüzeyin yatay azimut açısı 0^0 derecedir. Bu açı değeri yüzeyin konumuna göre $+180^0$ ile -180^0 arasında değişir.

Programda belirlenen konuma göre yıllık hava durumu verimi göz önüne alındığında optimum duruma göre panelin konumundan kaynaklanan kayıpların oluşmaması için azimut açısının 0^0 ve panelin eğim açısının 33^0 ile 36^0 arasında olması gerekir. Fakat panellerin yerleştirileceği binanın konumu ve çatısı dikkatte alındığında azimut açısı -32^0 ve panelin eğim açısı 20^0 olarak hesaplanmıştır. Buna göre üretilecek enerji optimum duruma göre %4,4 oranında bir kayıp meydana gelecektir.



Şekil 5. Fotovoltaik Santralin Konumlandırılması

Tablo 1. Kullanılan Fotovoltaik Panelin Teknik Özellikleri

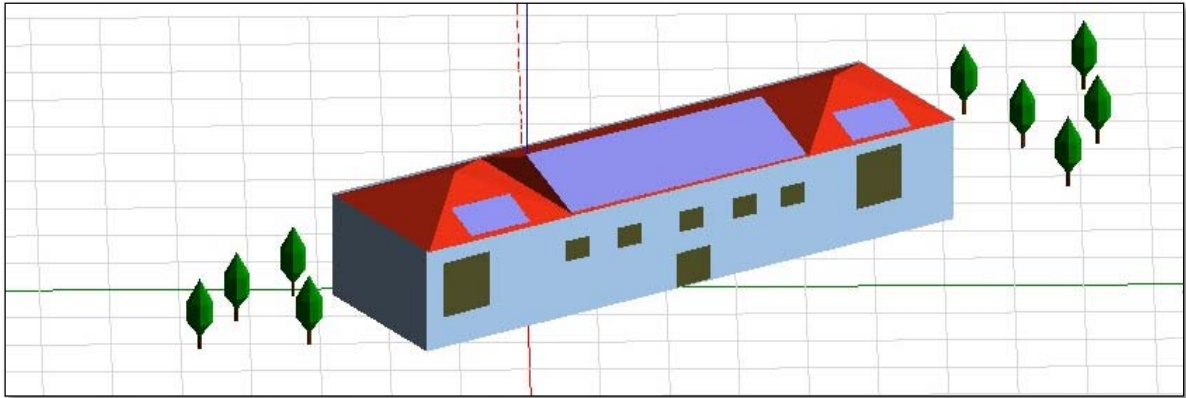
Elektriksel veriler (STC)		Mekanik Veriler		Sıcaklık Katsayıları	
Nominal Güç (P _{max})	445 W	Hücre Teknolojisi	Si-mono		
Açık Devre Gerilimi (V _{oc})	53,31 V	Hücre Sayısı	156		
Kısa Devre Akımı (I _{oc})	10,48 A	Panelin boyu	2180 mm	P _{max}	-0,35 %/°C
Nominal Gerilim (V _{mpp})	45,18 V	Panelin eni	966 mm	V _{oc}	-0,272 %/°C
Nominal Akım (I _{mpp})	9,85 A	Panel Kalınlığı	40.0 mm	I _{sc}	0,044 %/°C
Modül Verimi (%)	20,5	Panelin ağırlığı	24,6 kg		

Bu çalışmada simülasyon programı veri tabanında da bulunan JA Solar firmasının JAM78-S10-445-MR modeli seçilmiştir. Bu panel si-mono teknolojisine sahip olup 156 güneş hücresine sahiptir. Panelin güneş ışınlarının doğru açı ile geldiğinde üretebileceği maksimum güç 445 Wp'dir. Kullanılacak inverter ise Huawei Technologies firmasının ürettiği SUN2000-100KTL-M1-400 Vac modelidir. Bu evirici 100 kW gücünde 200-1000V MPPT çalışma gerilimi, 50 Hz 400 V çıkış gerilimine sahip bir invertördür.

Tablo 2. Kullanılan İnvertörün Teknik Özellikleri

Giriş (DC)		Çıkış (AC Şebeke)		Mekanik Veriler	
Minimum MPP Gerilimi	200 V	Şebeke Gerilimi	400V	En	1035 mm
MPPT Sayısı	10	Nominal AC Gücü	100 kW	Derinlik	365 mm
Maximum MPP Gerilimi	1000 V	Maksimum AC Gücü	110 kW	Boy	700 mm
Mutlak Maks PV gerilimi	1100V	Maks. AC Akımı	160.4 A	Ağırlığı	90 kg
		Maksimum Verim	98.6%	En	1035 mm

Panellerin konulacağı alanın 3 boyutlu şekli simülasyon modülü ile modellenmesi yapılmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Yapılan çalışmada bina çatısının alanı 560 m² olarak hesaplanmış ve bu alanda her seride 16 adet ve paralelde 16 adet olmak üzere toplamda 256 adet panel kullanılmıştır. Sistemin nominal kurulu gücü 113,92 kWp olarak hesaplanmıştır.

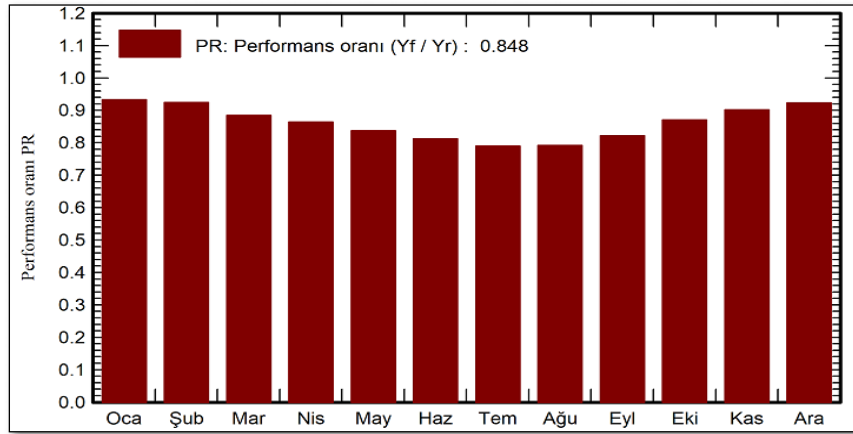


Şekil 6. Yapının 3 Boyutlu Modellenmesi

VI. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

PVsyst demo programı ile yapılan simülasyonun sonucunda panellerin bulunduğu alanın global yatay ışıma miktarı Tablo 3'te gösterildiği gibi 1774 kWh/m²'dir. En yüksek ışıma 263,4 kWh/m² ile temmuz ayı olurken en düşük ışıma 64 kWh/m² ile aralık ayı olmuştur. Sistemin nominal kurulu gücü 114 kWp olarak hesaplanmıştır. Ayrıca fotovoltaik sisteminin ürettiği enerji yıllık 220,6 MWh olmasına karşın sıcaklığa bağlı modül kayıpları, omik kablolama kayıpları, invertör kayıpları nedeniyle sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı 192,4 MWh olarak hesaplanmıştır.

Bir yılın her ayı için, sistemin performans oranı Şekil 7'deki grafik ile gösterilmiştir. Bu grafiğe göre sistemin ortalama performans oranı %84,8 olurken yaz aylarında performans oranı düşmekte kış aylarında bu oran yükselmektedir. En yüksek performans oranı %93,3 ile Ocak ayı olurken en düşük oran %79 ile Temmuz ayı olmaktadır.

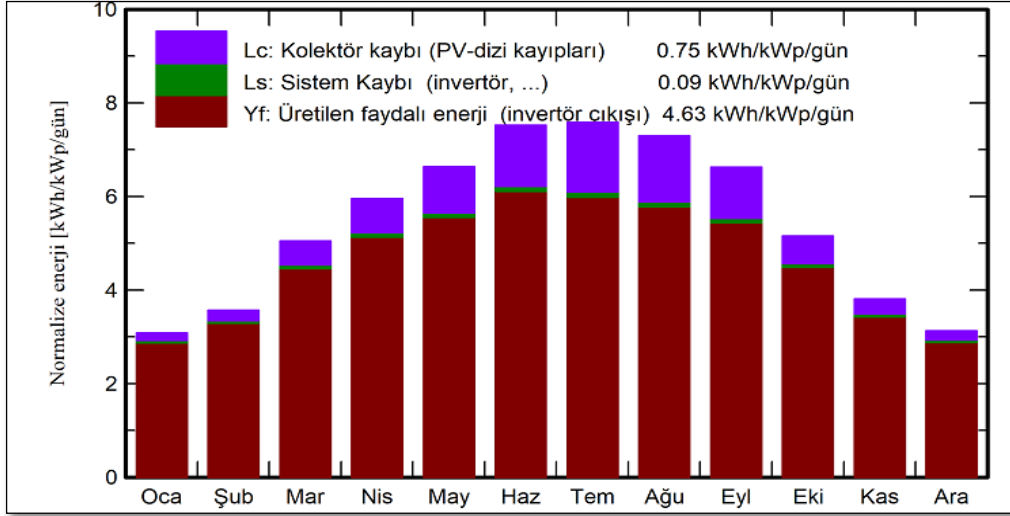


Şekil 8. Modellenen Güneş Enerjisi Santralinin Aylara Göre Performans Oranı

Tablo 3. Modellenen Sistem için Aylara Göre Elde Edilen Bulgular

	Globhor kwh/m ²	Diffhor kwh/m ²	T_amb °C	Globinc kwh/m ²	Globeff kwh/m ²	Earray mwh	E_grid mwh	Pr oran
Ocak	67,4	27,86	-0,10	95,5	92,2	10,33	10,14	0,933
Şubat	80,1	42,08	1,93	99,8	96,8	10,70	10,51	0,924
Mart	133,4	52,21	8,05	156,3	151,9	16,04	15,75	0,884
Nisan	166,7	71,67	13,10	178,5	173,6	17,89	17,56	0,864
Mayıs	203,6	75,25	18,42	205,6	199,4	19,98	19,62	0,838
Haziran	229,8	67,61	24,62	225,7	218,9	21,28	20,88	0,812
Temmuz	263,4	60,95	29,31	235,2	228,1	21,55	21,15	0,789
Ağustos	213,6	55,95	28,91	226,1	219,8	20,79	20,41	0,792
Eylül	171,7	45,57	22,33	198,6	193,3	18,93	18,59	0,821
Ekim	124,8	42,76	15,48	159,8	155,3	16,13	15,84	0,870
Kasım	81,7	29,17	7,11	114,1	110,5	11,94	11,73	0,902
Aralık	64,4	23,42	1,78	97,0	93,5	10,39	10,20	0,923
Yıl	1773,7	594,51	14,32	1992,4	1933,3	195,94	192,38	0,848
GlobHor: Global yatay ışınlama					EArray: Dizinin çıkışında etkin enerji			
DiffHor: Yatay difüz ışınlama					E_Grid: Şebekeye enjekte edilen enerji			
GlobInc: Kolektöre yansıyan global					PR: Performans oranı			
GlobEff: IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global					T_Amb: Çevre sıcaklığı			

Şekil 9'da ise sistemin nominal enerji üretimini ve buna ek olarak kolektör ve sistem kayıplarını göstermektedir. Bu grafiğe göre üretilen faydalı enerji en yüksek Haziran ve Temmuz aylarında olurken en düşük üretim Aralık ve Ocak aylarında olmaktadır.



Şekil 9. Modellenen Güneş Enerjisi Santralinin Aylara Göre Normalize Edilmiş Enerji Üretimleri

PVsyst demo programı kullanılarak bir okulun çatısında kurulacak olan güneş enerjisi için sistem tasarlanmış sistemin simülasyon oluşturulmuş ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

- 560 m²'lik bir alana sahip olan 20⁰ eğim ve -32⁰ azimut açısına bir çatıda si-mono teknolojisine sahip panellerle oluşturulan fotovoltaik sistemin yıllık üreteceği enerji miktarı yaklaşık olarak 192.4 MWh'tir.
- En çok Haziran ayında (20,88 MWh) elektrik enerjisi üretilmiş olup en az ise Ocak ayında (10,14 MWh) üretilmiştir.
- Ortam koşullarına bağlı olarak sistemin performans oranı %84,8 çıkmıştır.

Modelleme ile elde edilen bulgular program ile elde edilmiş olup toz faktörü ve çevresel faktörler kısmen ihmal edilmiş durumdadır. Aynı coğrafi bölgede farklı teknolojilere sahip güneş panelleri, ve invertör teknolojileri kullanılarak yapılacak simülasyonlardan elde edilen çıktılar, bu çalışmadaki çıktılar ile karşılaştırılabilir.

Kurulum maliyetlerinin, sistemin üreteceği enerji ile ne kadar sürede amorti edileceği hesaplanabilir. Ayrıca üretilen enerjinin sistemin kurulacağı binanın enerji ihtiyaçlarının ne kadarını karşılayabileceği hesaplanabilir.

REFERANSLAR

- [1] Demiryürek H. Arifoğlu U. Bolat M., "Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi", BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9 (3), 1351-1363, 2020.
- [2] Dünya Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <https://globalsolaratlas.info/map>, Erişim Tarihi: 11.05.2021.

- [3] Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>, Erişim Tarihi: 16.05.2021.
- [4] Google Haritalar, <https://www.google.com/maps>, Erişim Tarihi: 16.05.2021.

Comparative Analysis of Offline Recommendation Systems with Machine Learning Algorithms

Enes Çelik^{*,1}, Sevinç İlhan Omurca²

*: enes.celik@klu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3282-865X

¹: Computer Science, Kırklareli University, Kırklareli, Turkey

²: Computer Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey

Abstract In the electronic commerce and advertising industry, the importance of advice and recommendation systems has been increasing in recent years. Product ratings in consumer behavior and customer implicit knowledge are used to create recommendations in recommendation systems. These recommendations have many advantages both in terms of profit growth for the company and in finding what they are looking for easily from the customer's point of view. In this study, the customer's implicit knowledge was tested with various machine learning algorithms in offline recommendation systems as feedback. These machine learning algorithms were analyzed according to the evaluation criteria with Support Vector Machine, Gradient Boosting, AdaBoost, Random Forest, XGBoost, CatBoost and LightGBM algorithms. When creating a scalable recommendation system model, a model based on Boosting algorithms was proposed with a number of attribute extraction methods. Boosting algorithms are focused because of the sparse data in recommendation systems. In this study, a ready-made dataset from the University of California Irvine Machine Learning Repository was used to characterize and predict user behavior related to recommendation systems with personalized mobile recommendation systems that are sensitive to in-vehicle content. The ready-made data set has a lot of categorical attributes and although there are quite infrequent records, successful results have been achieved. In the proposed offline recommendation system, the best model was found to have a LightGBM algorithm with a 75% accuracy rate and a time complexity of 0.26 seconds. Open source Python libraries and the Google Colab platform were used in experimental studies. A number of recommendations for future research are given.

Keywords: Recommendation System, Machine Learning, Boosting

I. INTRODUCTION

A recommendation system is an information discovery system that helps find user preference for a specific item. Recommendation systems are special methods that give ideas about what is used by different users. Many decisions can be made considering recommendations such as which product to buy, what type of music to listen to, or what to read in their online news. It helps not only the user but also the firm to achieve the sales target. What the system recommends is called "Item", and users are called "User". A suggestion system typically focuses on a specific item format, and its recommendation is applied to give useful recommendations for a specific form [1].

As recommendations are personalized, different users can get different suggestions. Online magazines and newspapers offer non-personalized suggestions that are very easy to produce. Magazines and newspapers will not be useful in recommending popular articles to us. However, sequential lists of articles can be produced to make personalized recommendations. User preferences are considered when creating sorts to extract the most appropriate products or services. To calculate the most similar products or services, data is implicitly or explicitly collected by understanding the user's preferences [2].

The main purpose of a commercial recommendation system is to increase sales or to sell products that cannot be sold by recommending them. Recommendations are provided taking into account that products and services meet the customer's requirements. The company's purpose in using the recommendation system is to increase the number of users who prefer products or services on the web page. The recommendation system helps a user find items that can be difficult to find without a specific reference. It can be difficult to make such offers without a recommendation system because the service provider cannot risk suggesting videos that are not suitable for the user's taste. Thus, the recommendation system can also suggest unpopular items [3].

The recommendation system helps improve a person's experience with the app or website. It helps to provide better human-computer interaction, as well as providing important and relevant recommendations. Effective recommendations, with the help of an accurate and interactive user interface, increase the use of the system and the chances of accepting recommendations. Customer always prefers to use a website that recognizes their former users and treats them as respected customers. It is quite valuable considering the data obtained from the user in previous interactions, such as product ratings. Therefore, the more the customer uses a particular site, the better the recommendation model of the site and can be more personalized according to the user's preferences. The recommendation system acts as an actively evolving system according to the user's preferences by collecting the predictions or open ratings made by the system in some way [4].

In recent years, the importance of recommendation systems has been increasing in the virtual trade and advertising sector. In addition to product ratings in consumer behavior, implicit knowledge of the customer is used in recommendation systems to create recommendations. In this study, the implicit knowledge of the customer was analysed with various machine learning models in offline recommendation systems as feedback.

II. LITERATURE REVIEW

In a study by Ramzan et al, textual hotel reviews, numerical ratings, votes, and the number of video views make it difficult to get hotel recommendations. To produce the right recommendations, a smart approach has been proposed that also deals with large-scale heterogeneous data to meet the needs of potential customers. The collaborative filtering approach is one of the most popular techniques of the advice system for creating recommendations. A new Collaborative Filtering approach has been proposed that uses idea-based sensitivity analysis to achieve the hotel feature matrix. A recommendation system has been developed that combines word analysis, syntax analysis, and semantic scientific analysis to understand the sensitivity to hotel features and the profile of the guest type [5].

In a study by Thangavel by et al, estimation that students' placement in higher education is more difficult when the complexity of educational institutions increases. Educational institutions have sought more efficient technologies that help with better management and support decision-making procedures or help them identify recommendation systems. With machine learning techniques, new information can be extracted from historical data in the databases of the educational institution. This data is used to train and test the model for rule definition. This article provides a recommendation system that requires students to have one of the five placement statuses, Dream Company, Core Company, Mass Recruiters, Not Eligible, and Not Interested in Placements [6].

In a study by Bertens by et al, critical to games where online players can choose or purchase plenty of items during the game to advance and fully enjoy their experience. To try to maximize such purchases, a recommendation system has been developed to provide players with items that may be interesting. Such systems can better achieve their goals by using machine learning algorithms that can predict the rating of an item or product by a particular user. In this study, two of these algorithms were evaluated and compared with Extremely Randomized Trees and Deep Neural Network; both have given good results for video game recommendation engines [7].

In a study by Aher by et al, are used clustering and attribution algorithms in the course recommendation system, which recommended another course to another student based on the choice of other students for specific courses collected from the electronic course platform Moodle. A recommendation system was developed that uses the clustering technique K-Means and the association rules Apriori Algorithm [8].

In a study by Shahbazi by et al, take advantage of collaborative filtering approaches, implicit and explicit features in existing recommendation systems, and report a good classification or forecast result. A collaborative filtering-based algorithm is provided to handle large user data with purchase orders and recurrent purchased products. The proposed algorithm was developed by combining the Extreme Gradient Boosting machine learning architecture and the word2vec method to discover products purchased based on users' click patterns [9].

In a study by Fanca by et al, recommendations relate to different decision-making mechanisms, different techniques such as which product to buy, which movie to watch, or which holiday to book. The proposed method was developed by combining multiple recommendation systems that can make item suggestions based on user, element, and user-element interaction data using different machine learning algorithms [10].

In a study by Khanal by et al, students help through ever-increasing online learning materials presentation, personalized e-learning, and recommendation systems. Challenges continue in the form of data scarcity, cold start-up, scalability, and accuracy. This study developed an effective recommendation system for recommendation systems in the context of e-learning with Content-Based, Collaborative Filtering, Knowledge-Based, and Hybrid Machine Learning Systems [11].

In a study by Nawrocka by et al, are focused on contiguity of users or items or content-based filtering algorithms. These algorithms are calculated according to similarities, disadvantages, and advantages, measures to evaluate the algorithm. Successful results were given based on computer simulations to evaluate how collaborative and hybrid machine learning algorithms work [12].

In a study by Hernandez by et al, are developed an investment recommendation system based on the issuance of trading signals on the stock exchange. Calculation of technical analysis metrics performed with data extraction and machine learning algorithms for the prediction used also helped. The purpose of the platform is not only to be intuitive but also to provide personalized recommendations to users who are not experts in the exchange according to their history [13].

In a study by Lee by et al, are developed a new collaborative filtering algorithm based on Deep Neural Networks for the Netflix movie recommendation. The deep neural network used a normalized user rating vector and a normalized item rating vector. The proposed method performed better than traditional collaborative filtering algorithms [14].

III. MATERIAL AND METHOD

A. Random Forest

Random Forest has been proposed as a variant of decision trees. In the Random Forest algorithm, each tree is defined as a combination of tree determinants, which are independently sampled and depend on the values of a random vector with the same distribution for all trees in the forest. The community algorithm helps us predict better target variables by reducing variance and error in classification problems. It does this by resampling method. In this method, the data set is divided into subsampling sets using the random repetitive sampling method, respectively. These installed subtrees are intended to reduce the error in the model [15].

B. Extreme Gradient Boosting

Extreme Gradient Boosting (XGBoost) is a high-performance format of the Gradient Boosting algorithm optimized with various improvements. The most important features of the algorithm are its high predictive power, its ability to prevent overlearning, its ability to manage empty data, and its ability to do so quickly or as soon as possible. It is shown as the best decision tree-based algorithms [16].

C. LightGBM

LightGBM is a histogram-based algorithm. Reduces calculation cost by making variables with continuous values truss. Thanks to this method, both the training time is shortened and the use of resources decreases. Two level-oriented or leaf-oriented strategies can be used in decision tree learning. In the level-oriented strategy, the balance of the tree is maintained while the tree grows. In the leaf-oriented strategy, the process of dividing from the leaves, which reduces loss, continues. LightGBM is separated from other boosting algorithms thanks to this feature. With leaf-oriented strategies, the model has a lower error rate and learns faster. LightGBM reduces data size to calculate information gain by neglecting attributes that may be considered less important. Combines or merges variables to reduce attribute size. With these two functions, LightGBM increases the efficiency of the training process [17].

D. CatBoost

CatBoosting excels at processing categorical features that prevent overfitting and unbiased gradient calculation. High learning speed, ability to work with digital-categorical-text data, GPU support, and visualization options are the most reserved features of other community algorithms. It can cope with empty data, encoding categorical data [18].

E. AdaBoost

AdaBoost is similar to Random Forest in that it determines the estimates made by each decision tree in the forest to decide on the final classification. In general, the depth of decision trees in AdaBoost is 1. In addition, the predictions made by each decision tree may have different effects on the final prediction made by the model. Adaboost is a sequential creation process based on minimizing errors from previous models while increasing the impact of high-performance models [19].

F. Gradient Boosting

The Gradient Boost algorithm is a machine learning technique that creates prediction models similar to decision trees for classification problems. Gradient increment is a method by which new models are created that calculates the error in the previous model, and then add leftovers to make the final prediction. The Gradient Boost algorithm does not create nodes to improve each tree, such as AdaBoost. Instead, it begins with the leaf. This leaf represents an initial estimate for all weights. The first estimate here is the average value. Then Gradient Boosting creates the tree [20].

G. Support Vector Machine

Support Vector Machine is a controlled machine learning algorithm that can be used for classification problems. In this algorithm, each data item is plotted as a point in the n-dimensional space (n: number of attributes) along with the value of each property, which is the value of a particular coordinate. Next, classification is carried out by finding the hyperplane, which distinguishes quite well from the two classes. Support Vector Machine is a boundary that best separates two classes from hyper-planes [21].

H. Dataset

A ready-made dataset from UCI Machine Learning Repository was used to characterize and predict user behaviour related to personalized recommendation systems sensitive to in-car content. Amazon Mechanical Turk was used to collect data about users interacting with in-car mobile advice systems. This dataset was used to understand the behaviour of consumers and to predict their reaction to different coupons recommended in different contexts.

In the event of a purchase, information is collected when the user is shown a coupon. In this context, if the user accepts the offers (coupons) offered to them, the class label is marked as 1. Here, the user's acceptance of the coupon offer generates implicit feedback from the point of view of the recommendation systems. In which cases, recommendation systems can be improved by estimating which user accepts coupons.

The estimation problem is to predict whether a customer will accept a coupon for a particular location, taking into account their demographic and contextual characteristics. The venue here is advertised and presented as a suggestion. Replies in which the user says "I will go to the place immediately" or "I will go to the place later before the coupon expires" are labeled $Y = 1$, and their responses saying "No, I do not want the coupon" is labeled " $Y = 0$ ".

Five types of coupons; bars, takeaway restaurants, coffee shops, cheap restaurants, expensive restaurants have been investigated; because in the future, these venues will be advert advertised or recommended to users. Users were asked to provide their demographic information and preferences in the first part. In the second part, each user was told 20 different driving scenarios

with additional context information and coupon information and asked if they would use them. Of the 752 surveys (scenarios), 652 were accepted and 12,684 rows of data cases were obtained [22].

The attributes of this data set include:

1. User Attributes

- Gender: male, female
- Age: below 21, 21 to 25, 26 to 30, etc.
- Marital Status: single, married partner, unmarried partner, or widowed
- Number of children: 0, 1, or more than 1
- Education: high school, bachelor's degree, associate's degree, or graduate degree
- Occupation: architecture & engineering, business & financial, etc.
- Annual income: less than \$12500, \$12500 - \$24999, \$25000 - \$37499, etc.
- Number of times that he/she goes to a bar: 0, less than 1, 1 to 3, 4 to 8, or greater than 8
- Number of times that he/she buys takeaway food: 0, less than 1, 1 to 3, 4 to 8 or greater than 8
- Number of times that he/she goes to a coffee house: 0, less than 1, 1 to 3, to 8 or greater than 8
- Number of times that he/she eats at a restaurant with an average expense of less than \$20 per person: 0, less than 1, 1 to 3, 4 to 8, or greater than 8
- Number of times that he/she goes to a bar: 0, less than 1, 1 to 3, 4 to 8, or greater than 8

2. Contextual Attributes

- Driving destination: home, work, or no urgent destination
- Location of user, coupon, and destination: we provide a map to show the geographical location of the user, destination, and venue, and we mark the distance between every two places with the time of driving. The user can see whether the venue is in the same direction as the destination.
- Weather: sunny, rainy, or snowy
- Temperature: 30Fo, 55Fo, or 80Fo
- Time: 10AM, 2PM, or 6PM
- Passenger: alone, partner, kid(s), or friend(s)

3. Coupon attributes

- Time before it expires: 2 hours or one day

IV. EXPERIMENTAL STUDIES AND RESULTS

An open-source Python, analyses, and measurements were made using Numpy, Pandas, Scikit-Learn, Matplotlib libraries. During the dataset preprocessing phase, data types are encoded as in Table I, categorical, numeric, and floating-point.

TABLE I
DATA TYPES OF ATTRIBUTES

Attribute	Data Type
destination	category
passenger	category
weather	category
temperature	int64
time	int64
coupon	category
expiration	category
gender	category
age	int64
maritalStatus	category
has children	int64
education	category
occupation	category
income	float64
car	category
bar	category
coffeeHouse	category
carryAway	category
restaurantLessThan20	float64
restaurant20To50	float64
toCoupon_GEQ5min	int64
toCoupon_GEQ15min	int64
toCoupon_GEQ25min	int64
direction_same	int64
direction_opp	int64
Y	int64

5-fold cross validation was performed on the data set. Since it is an offline recommendation system, the evaluation criteria are shown according to the Confusion Matrix table according to accuracy, precision, recall, f1-score values [23]. Confusion Matrix equations are calculated according to the criteria in Table II.

TABLE II
CONFUSION MATRIX

		Predicted Class	
		Positive	Negative
Actual Class	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F_1 \text{ Score} = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall} \quad (4)$$

The most common machine learning methods are used to classify the in-car mobile recommendation data set. Support Vector Machine, Random Forest, XGBoost, LightGBM, CatBoost, AdaBoost, and Gradient Boosting methods were used in the classification experiments. During the test phase, accuracy, precision, recall, and F1-Score are considered benchmark measures. During the classification phase, 80% of the data sets were used in the training process and 20% of the data sets were used in the testing process. To find the best method, you need to have a high accuracy rate. Experimental results are given in Table III.

TABLE III
CLASSIFICATION ACCURACIES OF DIFFERENT ALGORITHMS

Algorithms	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
SVM	0,56	0,56	0,57	0,57
AdaBoost	0,67	0,68	0,77	0,72
CatBoost	0,74	0,74	0,83	0,78
LightGBM	0,75	0,75	0,84	0,79
RandomForest	0,74	0,73	0,82	0,78
XGBoost	0,71	0,71	0,82	0,76
GradientBoosting	0,73	0,71	0,82	0,76

When the results shown in table 3 are examined, it is determined that LightGBM achieves more accurate results than other algorithms. LightGBM has achieved high performance compared to other algorithms with 75% accuracy, 75% precision, 84% recall, and 79% f1 score. In addition, boosting algorithms showed close results.

The processing times of the methods are also measured. Generally, boosting algorithms have shorter processing times, while the Support Vector Machine algorithm has taken longer than other algorithms. As with accuracy, the shortest time in terms of processing time belongs to the LightGBM algorithm. The processing times of the algorithms are given in the graph in Table IV.

TABLE IV
THE PROCESS TIME OF ALGORITHMS

Algorithms	Time (second)
SVM	4,26
AdaBoost	0,43
CatBoost	0,55
LightGBM	0,26
RandomForest	1,19
XGBoost	0,69
GradientBoosting	1,28

Computational time is recorded to estimate efficiency of algorithms for recommendation systems. The algorithms are evaluated according to both accuracy and time complexity. In Fig. 1. the comparative graph of both the accuracy and the processing time of the algorithms is given.

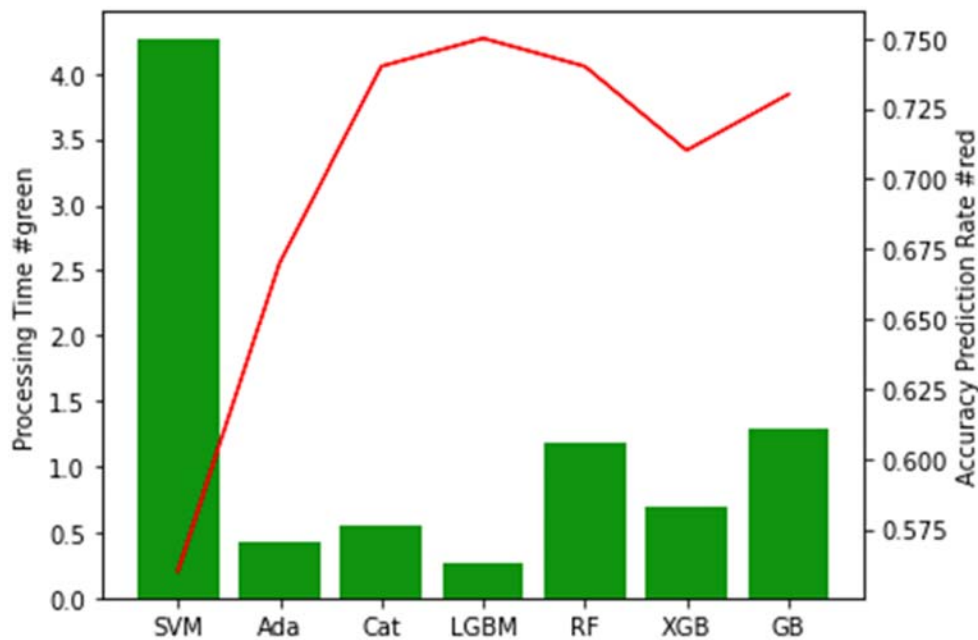


Fig. 1. Model Performances

V. CONCLUSION

In this study, boosting algorithms in machine learning for offline recommendation systems were tested comparatively. Machine learning algorithms that are successful in categorical data are preferred for better classification accuracy. This experimental study has shown that recommendation systems are important for the advertising industry. Recommendation systems can be used to develop hybrid systems along with collaborative filtering and content-based filtering methods, as well as classification and clustering models in machine learning. It has been proven by this experimental study that it is important in its implicit knowledge besides explicit knowledge

in recommendation systems. A higher performance rate was achieved according to the study [22] that prepared and analyses the data. In future studies, experiments can be made with different attribute selection or mitigation techniques. In addition, classification accuracy can be improved by performing tests with different machine learning algorithms by parameter optimization.

REFERENCES

- [1] Abbar, Sofiane, Mokrane Bouzeghoub, and Stéphane Lopez. "Context-aware recommender systems: A service-oriented approach." VLDB PersDB workshop. 2009.
- [2] Adomavicius, Gediminas, et al. "Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach." ACM Transactions on Information Systems (TOIS) 23.1 (2005): 103-145.
- [3] Balabanović, Marko, and Yoav Shoham. "Fab: content-based, collaborative recommendation." Communications of the ACM 40.3 (1997): 66-72.
- [4] Deshpande, Mukund, and George Karypis. "Item-based top-n recommendation algorithms." ACM Transactions on Information Systems (TOIS) 22.1 (2004): 143-177.
- [5] Ramzan, B., Bajwa, I. S., Jamil, N., Amin, R. U., Ramzan, S., Mirza, F., & Sarwar, N. (2019). An intelligent data analysis for recommendation systems using machine learning. Scientific Programming, 2019.
- [6] Thangavel, S. K., Bkaratki, P. D., & Sankar, A. (2017, January). Student placement analyzer: A recommendation system using machine learning. In 2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS) (pp. 1-5). IEEE.
- [7] Bertens, P., Guitart, A., Chen, P. P., & Perianez, A. (2018, August). A machine-learning item recommendation system for video games. In 2018 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG) (pp. 1-4). IEEE.
- [8] Aher, S. B., & Lobo, L. M. R. J. (2013). Combination of machine learning algorithms for recommendation of courses in E-Learning System based on historical data. Knowledge-Based Systems, 51, 1-14.
- [9] Shahbazi, Z., Hazra, D., Park, S., & Byun, Y. C. (2020). Toward Improving the Prediction Accuracy of Product Recommendation System Using Extreme Gradient Boosting and Encoding Approaches. Symmetry, 12(9), 1566.
- [10] Fanca, A., Puscasiu, A., Gota, D. I., & Valean, H. (2020, October). Recommendation Systems with Machine Learning. In 2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). IEEE.
- [11] Khanal, S. S., Prasad, P. W. C., Alsadoon, A., & Maag, A. (2019). A systematic review: machine learning based recommendation systems for e-learning. Education and Information Technologies, 1-30.
- [12] Nawrocka, A., Kot, A., & Nawrocki, M. (2018, May). Application of machine learning in recommendation systems. In 2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 328-331). IEEE.
- [13] Hernández-Nieves, E., del Canto, Á. B., Chamoso-Santos, P., de la Prieta-Pintado, F., & Corchado-Rodríguez, J. M. (2020, June). A Machine Learning Platform for Stock Investment Recommendation Systems. In International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence (pp. 303-313). Springer, Cham.

- [14] Lee, H., & Lee, J. (2019). Scalable deep learning-based recommendation systems. *ICT Express*, 5(2), 84-88.
- [15] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- [16] Tianqi Chen and Carlos Guestrin. Xgboost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*, pages 785–794. ACM, 2016.
- [17] Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., & Liu, T. Y. (2017). Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in neural information processing systems*, 30, 3146-3154.
- [18] Dorogush, A. V., Ershov, V., & Gulin, A. (2018). CatBoost: gradient boosting with categorical features support. *arXiv preprint arXiv:1810.11363*.
- [19] Freund, Y., & Schapire, R. E. (1996, July). Experiments with a new boosting algorithm. In *icml* (Vol. 96, pp. 148-156).
- [20] Friedman, J. H. (2002). Stochastic gradient boosting. *Computational statistics & data analysis*, 38(4), 367-378.
- [21] Noble, W. S. (2006). What is a support vector machine? *Nature biotechnology*, 24(12), 1565-1567.
- [22] Wang, T., Rudin, C., Doshi-Velez, F., Liu, Y., Klampfl, E., & MacNeille, P. (2017). A bayesian framework for learning rule sets for interpretable classification. *The Journal of Machine Learning Research*, 18(1), 2357-2393.
- [23] Powers, D. M. (2020). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *arXiv preprint arXiv:2010.16061*.

Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Bulanık-Kesir Dereceli PID ile Alan Yönlendirmeli Hız Kontrolü

Field Oriented Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor with Fuzzy-Fractional PID Controller

Merve Güner^{*,1}, M. Serhat Can¹

^{*} gnermerve48@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1807-0798

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tokat, Turkey

Özet: Sürekli mıknatıslı senkron motor (SMSM), küçük hacimlerde yüksek moment üretme ve yüksek verimde çalışma gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu sebeple robot manipulatörleri ve bilgisayarlı nümerik kontrollü tezgahlardaki eksenlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, SMSM hız kontrolü Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) ve Kesir Dereceli Oransal-İntegral Denetleyici (FOPI) yapılarının bir araya getirildiği bulanık FOPID yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Denetleyici parametrelerinin en uygun kontrol performansını sağlayan değerleri Genetik Algoritma (GA) optimizasyon yöntemi ile bulunmuştur. Bulanık FOPID performansı Matlab/Simulink ortamında, farklı referans hız değerleri için farklı yük değerlerinde incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: SMSM, Alan Yönlendirmeli Kontrol, Bulanık PID, Kesir Dereceli PID.

Abstract: Permanent magnet synchronous motor (SMSM) has important advantages such as generating high torque in small volumes and operating at high efficiency. For this reason, it is frequently used in robot manipulators and axes in computer numerical controlled benches. In this study, the speed control of the PMSM was realized with the fuzzy FOPID structure in which the Fuzzy Logic Controller (FLC) and the Fractional Order Proportional-Integral Controller (FOPI) structures were combined. The values of the controller parameters that provide the most appropriate control performance were found by the Genetic Algorithm (GA) optimization method. Fuzzy FOPID performance has been studied in Matlab / Simulink environment at different load values for different reference speed values.

Keywords: PMSM, Field Oriented Control, Fuzzy PID, Fractional PID.

I. GİRİŞ

SENKRON motorlar endüstriyel alanda oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Senkron motorlar içerisinde son yıllarda endüstriyel sektörde sağladığı avantajlar sebebiyle Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorlar (SMSM) büyük ilgi görmektedir. Bu kadar rağbet görmesinin nedenleri ise verimlerinin yüksek olması, yüksek moment kalitesi, geniş hız yelpazesinde çalışabilmesi, diğer motorlara oranla çok bakım gerektirmemesi, düşük hacim oranlarında yüksek moment verebilmesidir. Bunun yanı sıra rotorda kullanılan mıknatıs maliyetlerinin yüksek olması, tasarım aşamaları, kontrolleri için tecrübe ve bilgi gerektirmesi, sıcaklık değişimi ve manyetik alan gibi dış faktörlere karşı fazla hassasiyet göstermesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır [1-3]. Sürekli mıknatıslı senkron motorlar genel anlamda stator ve rotor denilen iki bölümden oluşur. Stator yapıları silisli saclardan ve statordaki oluk-kutup kombinasyonuna göre seçilen sargılar stator oluklarına yerleştirilmesiyle iki parçadan oluşur. Rotorda ise kullanım alanına göre mil ve sac üzerine ya da içerisine yerleştirilen sürekli mıknatıslardan oluşmaktadır [3].

SMSM motor kontrolü için literatürde çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bunlar, doğrusal kontrol, adaptif kontrol, gürbüz kontrol, kayan kipli kontrol, bozucu ölçme yok etme methodu, sonlu zamanlı kontrol, sınır ağı kontrolü, kesirli mertebe kontrol ve bulanık mantık kontrolü yöntemleridir [4]. PID denetleyiciler, genel olarak sistemin geçici ve sabit durum özelliklerini iyileştirmek için uzun yıllardır endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Bu durum PID kontrol yapılarını aktif çalışılan alanlardan biri haline getirmiştir. PID denetleyiciler kontrol hatasını oransal, türevsel ve integral işlemlerine tabi tutarak sıfıra indirmeyi amaçlar. Oransal işlem için kazanç K_p , integral işlemi için K_i ve türev işlemi için K_d ile ifade edilen üç temel kazanç parametresine sahiptir. Geleneksel PID denetleyicilerdeki bu türev ve integral operatörleri tam sayı dereci operatörlerdir. Geleneksel PID denetleyicideki bu tamsayı dereceli bu türev ve integral operatörleri için kesir dereceli türev ve integral operatörlerini içeren kesir dereceli PID yaklaşımı (FOPID) önerilmiştir [6]. Kesir dereceli PID için kontrol süreci, geleneksel tamsayı dereceli PID denetleyicideki türev ve integral operatörlerinin genişletilerek kesirli mertebeden hesap doktrinine dayandırılmasıdır. Geleneksel PID denetleyici, yüksek dereceli sistemler, zaman gecikmeli doğrusal sistemler ve doğrusal olmayan sistemler için daha iyi bir başarı göstermemektedir. Oysa FOPID denetleyicisi, geleneksel PID denetleyicisinin bu dezavantajlarının üstesinden gelebilmektedir. Doğrusal olmayan ve belirsizlikler içeren sistemlerin kontrolü için, sistem girdileri ve çıktıları arasındaki doğrusal olmayan anlamsal eşlemeleri gerçekleştirebilmesi nedeniyle, kontrol mühendisliği alanında bulanık mantık denetleyiciler (BMD) ön plana çıkmıştır. BMD denetleyiciler doğrusal olmayan ve belirsizlik içeren sistemler için modelden bağımsız ve esnek bir yaklaşım sağlar [7].

Gerek geleneksel PID, gerekse kesir dereceli PID ve hibrit kesir dereceli bulanık PID denetleyici parametrelerinin belirlenmesinde analitik ve esnek hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Esnek hesaplama yöntemlerinden olan optimizasyon yöntemleri, özellikle sistem matematik modelinden bağımsız olarak, sadece sistem girdileri ve sistem çıktıları arasında bir ilişki kurarak çalışabilmesi sebebiyle çokça kullanılmaktadır. Das vd., FOPID denetleyiciyi ile BMD denetleyici yapılarını birleştirerek kesir dereceli bulanık PID denetleyiciyi önermişlerdir. En uygun sistem cevabını veren FOPID denetleyici parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritma tekniğini

kullanmışlardır. Yaptıkları benzetim çalışmalarına göre FOFPID'nin geleneksel PID, kesir dereceli PID ve bulanık PID denetleyicilerden daha iyi performanslar ürettiğini bildirmişlerdir [8]. Başka bir çalışmada, I. Pan ve S. Das, hibrit güç sisteminin kontrolü için FOFPID denetleyici önermişlerdir. Çalışmalarında FOFPID parametrelerinin belirlenmesinde kaotik parçacık sürü optimizasyonu yöntemini kullanmışlardır [9]. Diğer bir çalışmada, L. Liu ve ark. tüm parametrelerin bulanık olarak ayarlandığı değişken dereceli FOFPID kontrolörü önermişlerdir [10].

Bu çalışmada SMSM'nin hız kontrolü, kesir dereceli bulanık PID denetleyici ile kontrolü amaçlanmıştır. Bu sebeple MATLAB Simulink ortamında bir benzetim çalışması oluşturulmuştur. Bunun üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma şu sırayı takip etmektedir: İlk kısımda SMSM'nin temelleri verilmiş devam eden kısımda kesir dereceli FOFPID anlatılmıştır. Sonraki kısımda deneysel çalışmalar ve bulgular aktarılmıştır.

II. SMSM MATEMATİKSEL MODELİ

SMSM, akım kontrollü darbe genişlik modülasyonlu (PWM) bir invertör tarafından beslenir. Motor akımları, rotor tabanlı d - q koordinat sisteminde [11] sırasıyla akı ve tork bileşenleri olan i_d ve i_q bileşenlerine ayrıştırılır. Motor modeli aşağıdaki denklemlerle oluşturulur:

Yukarıdaki denklemlerde T_L yük torkunu, B viskoz sürtünmeyi, J atalet momentini temsil etmektedir. V_d ve V_q değerleri d - q eksenlerinin stator gerilimlerini, i_d ve i_q d - q eksenli stator akımlarıdır. L_d ve L_q , d - q eksenli endüktansları, r_s faz başına stator direnci, w_r , rotorun elektriksel hızını gösterir. λ_m , statoru birbirine bağlayan rotor mıknatıslarından kaynaklanan akı bağlantısının ifadesidir, T_e motor tarafından üretilen torktur ve w_{rm} , rotorun mekanik hızıdır. SMSM'nin alan yönlendirmeli denetleyiciyle hız kontrolünün blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

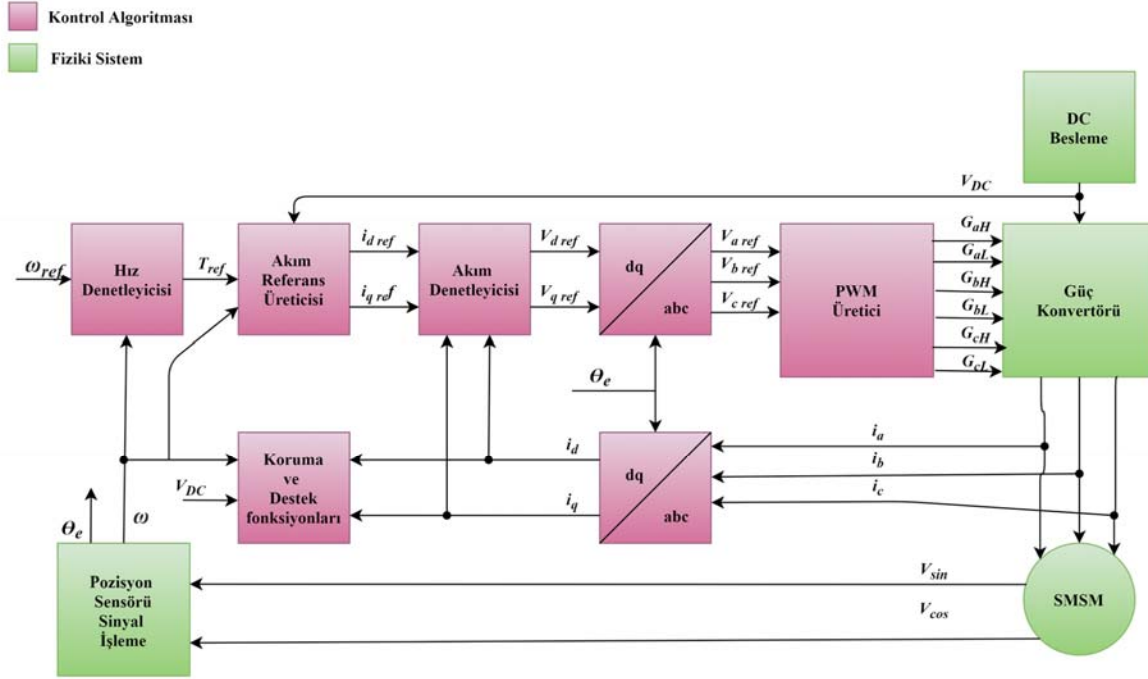
$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} [\lambda_m \cdot i_q + (L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q] \quad (1)$$

$$\frac{d(i_d)}{dt} = \frac{v_d - r_s \cdot i_d + w_r \cdot L_q \cdot i_q}{L_d} \quad (2)$$

$$\frac{d(i_q)}{dt} = \frac{v_q - r_s \cdot i_q - w_r \cdot (L_d \cdot i_d + \lambda_m)}{L_q} \quad (3)$$

$$\frac{d(w_{rm})}{dt} = \frac{T_e - T_L - B \cdot w_{rm}}{J} \quad (4)$$

$$w_r = \frac{P}{2} \cdot w_{rm} \quad (5)$$



Şekil 1. SMSM'nin alan yönlendirmeli denetleyiciyle hız kontrolü

Kesirli analiz, son birkaç on yıldır modelleme, konuşma sinyali işleme, kontrol sistemi vb. alanlarında popüler olmuştur. Araştırmacılar, kesirli analizin birçok tanımını vermişlerdir. Tüm tanımların arasında, Riemann-Liouville tanımı en yaygın olarak kullanılanıdır. Tanım olarak verilmiştir [10].

$${}^{\alpha} D_t^{\alpha} = \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \frac{d^m}{dt^m} \int_a^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha-m+1}} d\tau \quad (6)$$

$$\Gamma(s) = \int_0^{\infty} t^{s-1} e^{-s} dt \quad (7)$$

m 'nin bir tam sayı olduğu yerde $m-1 < \alpha < m+1$, $m \in \mathbb{N}$ değerini sağlar, α gerçekte bir sayıdır ve $\Gamma()$ Euler'in gama fonksiyonudur:

s tam sayı olduğu zaman

$$\Gamma(s+1) = s!$$

olmaktadır.

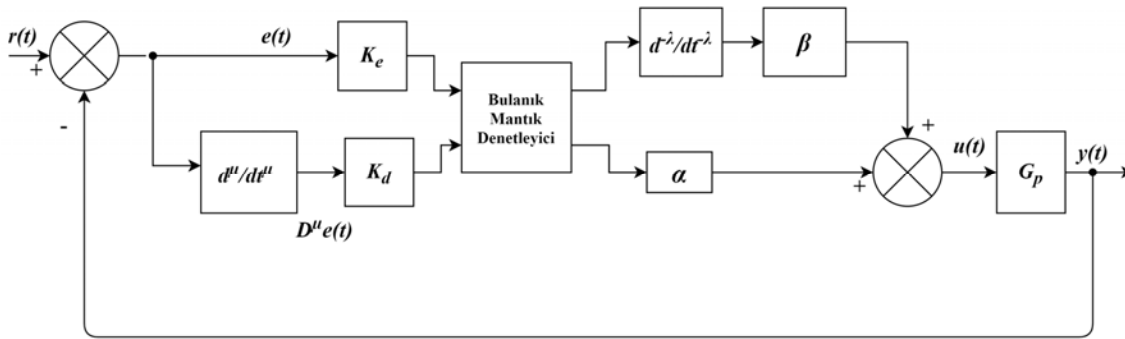
FOPID denetleyici, geleneksel PID denetleyicinin bir uzantısıdır. Geleneksel bir PID denetleyicisini bir FOPID denetleyiciyle ilişkilendirirken, bir FOPID denetleyicisi matematiksel olarak [12]

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + K_I S^{-\lambda} + K_D S^{\mu}, \quad (\lambda, \mu \geq 0) \quad (8)$$

Burada $C(s)$ denetleyicinin transfer fonksiyonu, $U(s)$ kontrol işareti, $E(s)$ hata işaretidir. K_p oransal kazanç, K_i integral kazancı ve K_d türevsel kazanç değerleridir. λ ve μ ise sırasıyla integral ve türev operatörlerinin derecelidir.

Kompleks sistemler için geleneksel PID denetleyicilere kıyasla bulanık mantık denetleyiciler (BMD) daha iyi bir kontrol mekanizmasını hedeflemektedir. BMD'nin giriş ve çıkış yapıları tecrübelerle dayalı bilgiler temel alınarak belirlenir. Giriş-çıkış arasındaki bağlantının sonucunda denetleyicinin verdiği cevaba göre kural tablosu oluşturulur. Kural tablosuna göre seçilen durumlar ve kontrol edilecek sistem parametreleri göz önünde bulundurularak sistem içerisinde birer birime dönüştürülür [13].

Kesir dereceli PID denetleyici ile BMD hibrit bir yapı oluşturularak kesir dereceli bulanık PID denetleyiciler elde edilir. Yapılan çalışmanın blok diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kesir dereceli bulanık PID denetleyicinin yapısı.

Şekil 2'de FOPID blok yapısı gösterilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinin girişine hatanın $e(t)$, K_e oransal çarpanıyla çarpılarak bulanık mantık denetleyiciye giriş olarak uygulanır. Yine hatanın kesir dereceli türevi alınıp K_d çarpanı ile çarpılarak bulanık mantık denetleyiciye ikinci giriş olarak uygulanır. Bulanık mantık denetleyicisinin çıkışı β kazançlı bir kesir dereceli integratör operatöründen ve β kazancında geçirilir ve bu iki sonuç toplanarak nihayi $u(t)$ kontrol işareti elde edilir. Burada bulanık FOPID denetleyicinin performansı. α , β , μ , λ , K_e , K_d ile gösterilen bu altı parametreye bağlıdır. Bu parametrelere uygun değerlerin getirilmesi istenilen cevabın kontrolörden alınmasını sağlar.

Yukarıda bahsedilen altı kontrol parametresinin en iyi kontrol sonucunu vermesi için farklı optimizasyon yöntemleri tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada optimizasyon amacı için genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma, doğal evrimden esinlenen tahmini bir optimizasyon sürecidir. Bu algoritmalar, popülasyon (P) adı verilen, kromozomlarla temsil edilen bir dizi çözümle başlar. Başlangıçta, rastgele bir popülasyon oluşturulur. Bir popülasyondan çözümler alınır (ebeveynler) ve yeni bir P oluşturmak için kullanılır. Bu, yeni P 'nin eskisinden daha iyi olacağı umuduyla motive edilir. Bireyler daha sonra uygunluklarına göre yeni çözümler oluşturmak için seçilir; bu nedenle, ne kadar uygunlarsa, üreme şansları da o kadar artar. Bu, bazı koşullar sağlanana kadar tekrarlanır.

Bu algoritmelerde çaprazlama (C) ve mutasyon (M) operatörleri en önemli kısımlardır. C , her iki ebeveynin genetik materyalinin bazı kısımlarını içeren yavrular üretmek için iki ebeveyn kromozomun alt kısımlarını birleştiren bir rekombinasyon operatörüdür. Bunu yapmanın en basit yolu, rastgele bir C noktası seçmek, bu noktadan önceki her şeyi ilk ebeveynden kopyalamak ve sonra diğer ebeveynin C noktasından sonraki her şeyi kopyalamaktır. C yapmanın başka yolları da vardır. Daha fazla C noktası seçilebilir. En çok kullanılan kodlama yöntemi bir ikili dizedir, ancak, doğrudan gerçek sayılar aracılığıyla kodlamak gibi birçok başka kodlama yolu vardır.

Daha iyi bir kodlama tekniğinin seçimi, çözmesi gereken probleme bağlıdır. M işlemi, C 'den kaynaklanan yavruları rastgele değiştirir. Bu prosedür, P 'daki tüm çözümlerin yerel bir optimuma düşmesini önlemeyi amaçlamaktadır. İkili kodlama durumunda, rastgele seçilmiş birkaç biti 1'den 0'a veya 0'dan 1'e değiştirebilir.

GA'daki bir diğer önemli kavram Elitizmdir. Elitizm stratejisi (ES) 1975'te Kenneth De Jong tarafından tanıtıldı ve GA'yı her nesilde en iyi bireylerden bazılarını tutmaya zorlayan birçok seçim yöntemine bir ilavedir (G). Bu araçla, bu tür bireyler, üremeleri için seçilmedikleri veya C veya M ile yok edildikleri takdirde kaybolabilirler. Birçok araştırmacı, ES'nin GA'nın performansını önemli ölçüde artırdığını bulmuştur [14-17].

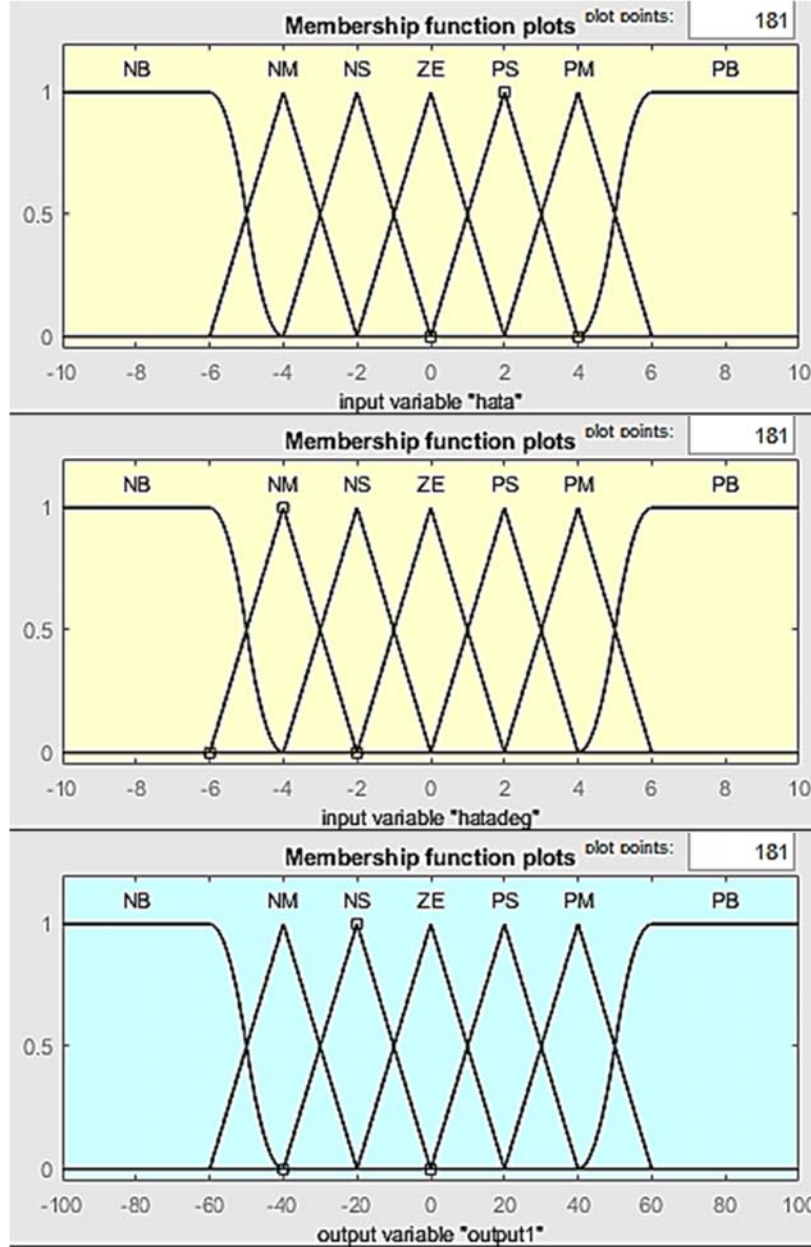
III. DENETLEYİCİ TASARIM SÜRECİ VE BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu kısımda SMSM'nin hız denetimi için bulanık FOPID ile yapılan benzetim çalışmaları sunulmaktadır. Benzetim çalışmalarında MATLAB/Simulink ortamında yürütülmüştür. Simulink'te Şekil 2'de verilen kontrol bloğu oluşturulmuştur. Şekil 2'de GP, SMSM motoru temsil etmektedir. Kullanılan SMSM bilgileri ise Tablo 1'de verilmiştir.

TABLO I
ÇALIŞMADA KULLANILAN SMSM BİLGİLERİ

Parametre	Değeri
N	6
Ld	2.0e-04 H
Lq	2.0e-04 H
L0	2.0e-04 H
Rs	0.013 ohm

Çalışmada öncelikle Şekil 2'deki bulanık mantık denetleyicinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. BMD tasarımında Mamdani modeli kullanılmıştır. BMD giriş değişkenleri olarak SMSM hız hata değeri (e) ve hız hatasının türevi (ce) kullanılmıştır. e ve ce için ve çıkış değişkeni u için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. BMD giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları.

Şekil 3'te gösterilen üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki dağılımları deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Burada e ve ce için evrensel küme aralığı $[-10,10]$, çıkış işareti u için evrensel küme aralığı $[-100,100]$ olarak belirlenmiştir. BMD için 49 adet kural kullanılmıştır. Kural Tablosu Tablo 2'deki gibidir.

TABLO II
BMD TASARIMINDA KULLANILAN KURALLAR

Hata Hatanın türevi	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NO	NO	NK	NK	S
NO	NB	NB	NO	NO	NK	S	PK
NK	NO	NO	NO	NK	S	PK	PK
S	NO	NO	NK	S	PK	PO	PO
PK	NK	NK	S	PK	PO	PO	PO
PO	NK	S	PK	PO	PO	PB	PB
PB	S	PK	PK	PO	PO	PB	PB

BMD tasarımının ardında, Şekil 2'deki kontrol bloğundaki integral operatörlerinin kazanç parametrelerinin belirlenmiş sürecine geçilmiştir. Bu kazanç parametrelerinin en uygun değerleri GA optimizasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Optimizasyon çalışması her bir denetleyici için 10'ar kez tekrarlanmış ve elde edilen en iyi sonuç alınmak suretiyle denetleyici parametreleri belirlenmiştir. GA optimizasyonunda denetleyici parametreleri için alt ve üst sınır değerleri ve optimizasyon parametreleri aşağıdaki Tablo 3'te verildiği gibidir.

TABLO III
DENETLEYİCİ PARAMETRELERİ İÇİN OPTİMİZASYON ALT VE ÜST SINIR DEĞERLERİ

Parametreler	Bulanık FOPI parametreleri					
	Ke	Kd	β	α	λ	μ
Alt sınır değerleri	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
Üst sınır değerleri	10^3	10^3	10^3	10^3	2	2

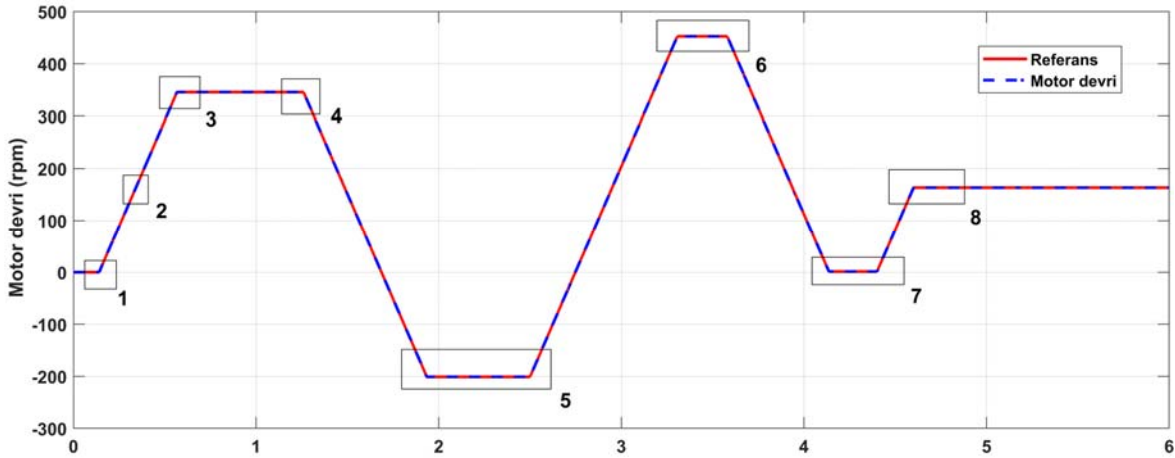
Tablo 3'teki sınır değerler arasında GA optimizasyonu yürütülmüştür. GA optimizasyonu Matlab'ın optimizasyon araç kutusu ile yapılmıştır. Optimizasyonda popülasyon sayısı 20 ve durdurma kriteri 30 iterasyon olarak ayarlanmış ve Mutlak Hata Toplamı (IAE) performans indeksi olarak kullanılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilmiş denetleyici parametreleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

TABLO IV
OPTİMİZASYON SONUCUNDA ELDE EDİLMİŞ DENETLEYİCİ PARAMETRELERİ

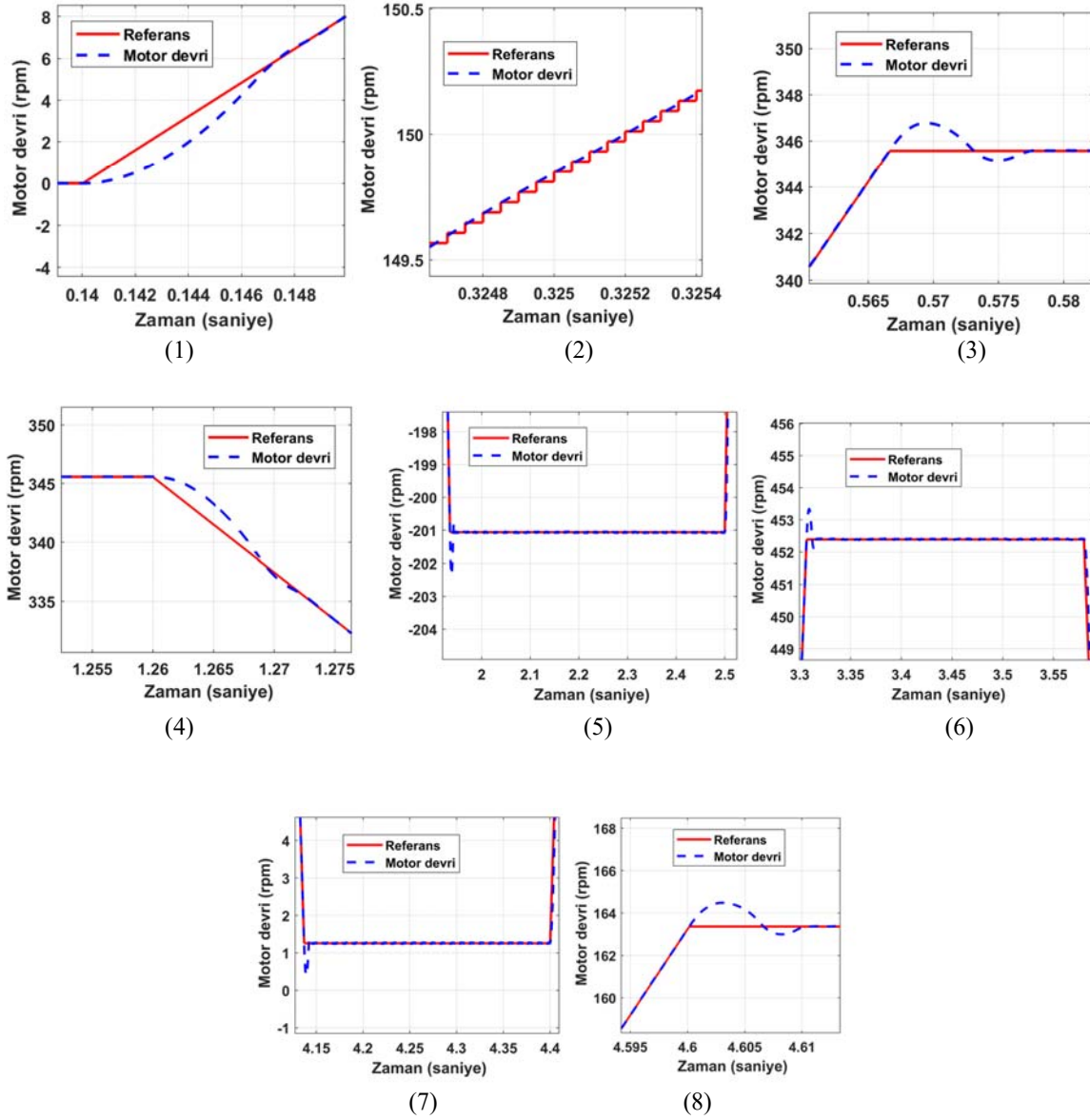
	Bulanık FOPI parametreleri					
Parametreler	K_e	K_d	β	α	λ	μ
Optimizasyon sonuçları	774.99	0.02	0.51	143.77	0.87	1.015

Benzetim çalışmaları Matlab/Simulink'te oluşturulan bloklarla gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de verilen hız kontrol blokları oluşturulmuştur. Şekil 1'deki hız denetleyici bloğu için Şekil 2'deki kontrol bloğu kullanılmıştır. Denetleyici performansları sabit referans hız ve değişken yüklerde test edilmiştir.

Deneylerde rampalı bir hız referansı tanımlanmış ve motor çıkışının bu referansı izlemesi amaçlanmıştır. Bazı zaman aralıklarında motor miline yük uygulanmak suretiyle denetleyicinin dayanıklılığı test edilmiştir. Şekil 4'te, 6 saniye süre için farklı hız referansında ve farklı yük değerlerinde gerçekleştirilmiş deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Şekil 4'teki sonuçların daha anlaşılır olması amacıyla, şekil üzerindeki numaralandırılmış kutucukların büyütülmüş halleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

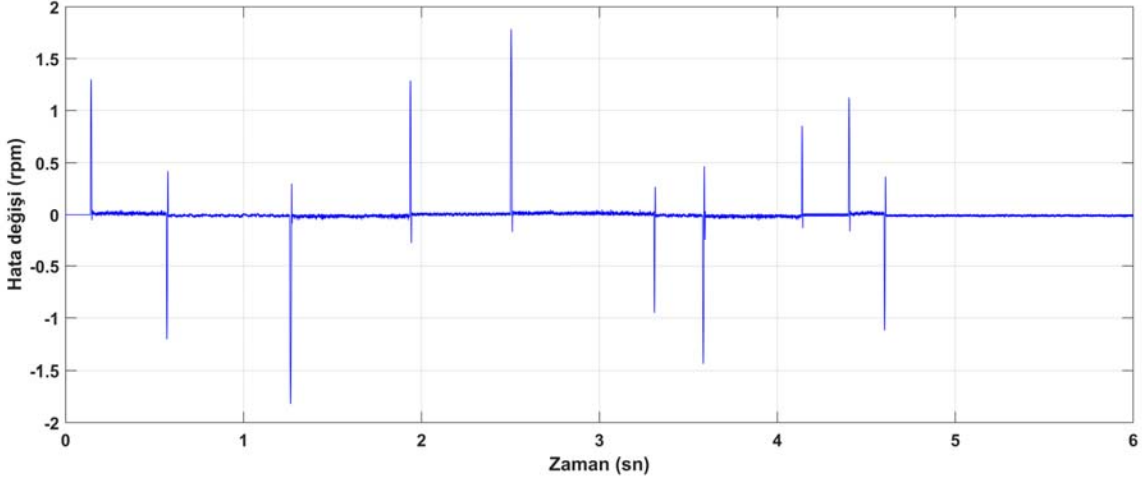


Şekil 4. Motor ataleti $J=0.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ için farklı hız referansları için motor hız-zaman grafiği.



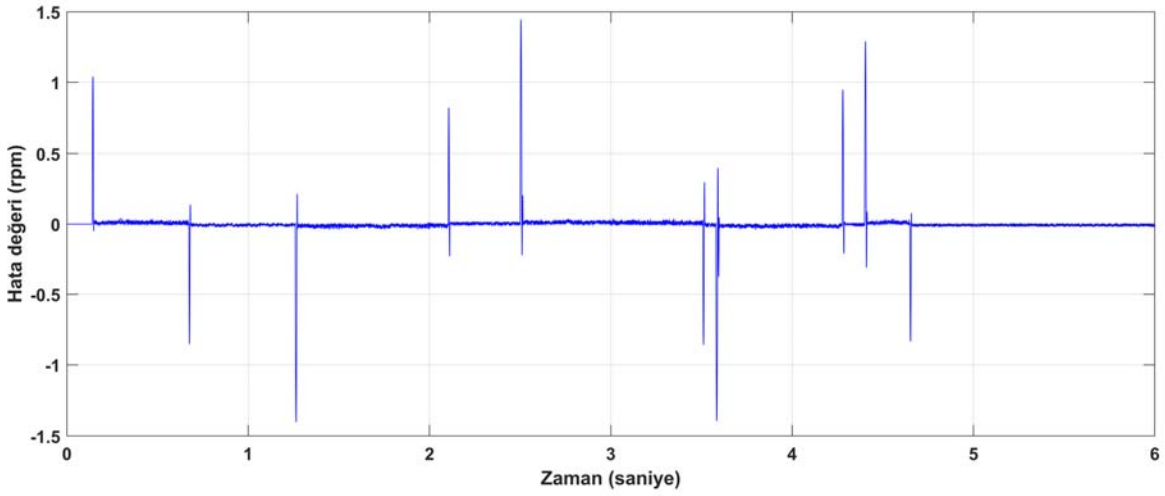
Şekil 5. Motor ataleti $J=0.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ için farklı hız referansları için motor hız-zaman grafiği.

Bu deneydeki hız referansı ile motor hızı arasındaki hata grafiği Şekil 6'da verildiği gibidir.

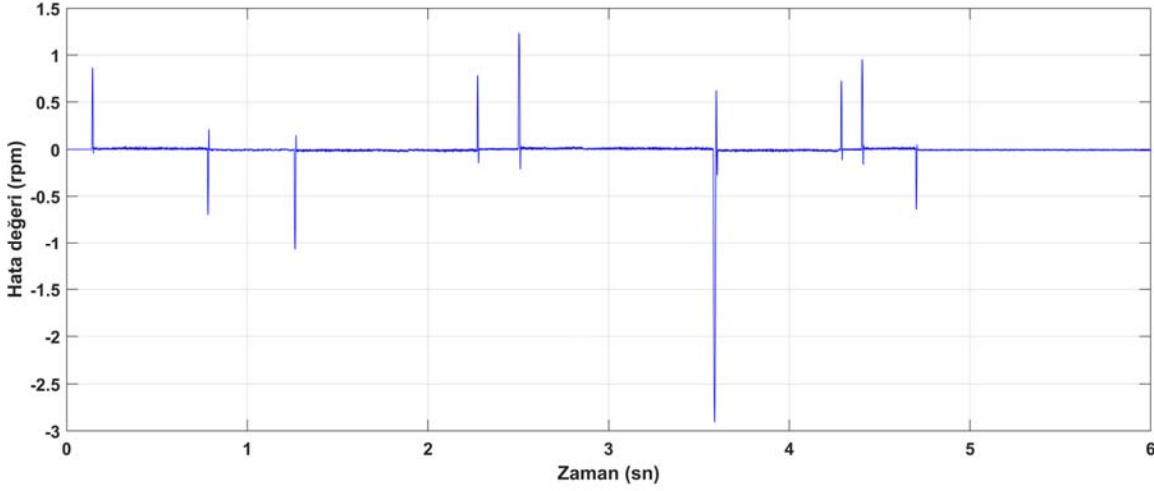


Şekil 6. Motor ataleti $J=0.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ için hız referansı ile motor hızı arasındaki hata grafiğı.

Aynı deney bu kez motor atalet değeri nin değıştirilmesi ile farklı değerler için tekrarlanmıştır. Bu deneyde elde edilen sonuçlar da bir önceki deneydekine benzer olması sebebiyle, burada sadece referans hız ile motor hızı arasındaki hata grafikleri Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Motor ataleti $J=0.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ için hız referansı ile motor hızı arasındaki hata grafiğı.



Şekil 8. Motor ataleti $J=0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ için hız referansı ile motor hızı arasındaki hata grafiği.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada vektör denetim yöntemi uygulanan SMSM'nin hız kontrolü MATLAB/Simulink ortamında deneysel çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada SMSM'nin hız kontrolünde bulanık FOPID denetleyici performansı incelenmiştir. Denetleyicinin kontrol parametreleri, Mutlak Hata Toplamı (IAE) performans indeksine bağlı olarak GA optimizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma SMSM motorun farklı yük durumlarında tekrarlanmıştır. Denetleyicinin λ ve μ kesir dereceli integral ve türev dereceli $[0,2]$ aralığında seçilmiştir. Bu parametrelerin daha geniş aralılarda seçilmesi denetleyici performansı etkileyecektir. Benzetim deneylerinden elde edilen sonuçlarına göre bulanık FOPID denetleyicinin yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşma miktarı gibi geçici durum karakteristikleri bakımından oldukça iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Denetleyici $0.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, $0.25 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ve $0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ atalet değerlerindeki yüklerde kararlılığını koruyabilmektedir. Benzetim çalışması olarak düzenlenmiş bu çalışma, sonraki çalışmalarda gerçek bir sistem platformu üzerinde farkı denetleyici performansları ile karşılaştırmalı olarak devam ettirilecektir.

REFERENCES

- [1] T. Sebastian, G. R. Slemonand, and M. A. Rahman, "Design considerations for variable speed permanent magnet motors", Proceedings of International Conference on Electrical Machines, München, Almanya, 8-10 Eylül 1986.
- [2] M. Thomas, L. Jahnsand Wen, and Soong, "Pulsating Torque Minimization Techniques for Permanent Magnet AC Motor Drives", IEEE Transactions on Industry Applications, 1996, 43, pp. 321-330.
- [3] M. Eşer, "Sirkülasyon Pompası Uygulamalarında Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorun Vektör Kontrolü ve EEI Optimizasyonu", TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2020.
- [4] H.V. Deo., Prof.Dr. R.U. Shekokar, "A Review of Speed Control Techniques Using PMSM", Department of Electronics & Telecommunication, R.M.D. Sinhgad School of Engineering, Pune, India, IJIRT, vol. 1 Issue 11, pp.1, 2014.
- [5] KJ Åström, T. Häggland, "The future of PID control." Control Eng Pract 2001; 9: pp.1163-1175.
- [6] I. Podlubny, "Fractional-order systems and PI/sup/spl lambda//D/sup/spl mu//-controllers," IEEE Transactions on automatic control, vol. 44, no. 1, pp. 208–214, 1999.
- [7] R. Bhimte, K. Bhole, and P. Shah, "Fractional order fuzzy PID controller for a rotary servo system," Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics, 2018.
- [8] I. Pan and S. Das and Gupta, A. "A novel fractional order fuzzy pid controller and its optimal time domain tuning based on integral performance indices. Engineering Applications of Artificial Intelligence", 25(2), pp. 430 – 442, 2012.
- [9] I. Pan and S. Das, "Fractional order fuzzy control of hybrid power system with renewable generation using chaotic pso," ISA transactions, vol. 62, pp. 19–29, 2016.
- [10] L. Liu, F. Pan, and D. Xue, "Variable-order fuzzy fractional PID controller," ISA transactions, vol. 55, pp. 227–233, 2015.
- [11] Krause, P.C., Analysis of electric machinery. McGraw-Hill, New York, 1987.
- [12] P. Shah, S. Agashe, "Review of fractional PID controller," Mechatronics, vol. 38, pp. 29–41, 2016.
- [13] Alışkan İ., Sel A., "Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorların Hız Denetiminde Doğal Frekans ve Bulanık Mantık," Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 6(2):423-431, s.426, 2016.
- [14] E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- [15] M. Mitchell, An Introduction to Genetic Algorithms, SMIT Press, 1998.
- [16] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer, 1996.
- [17] I. S. Jesus and J. A. T. Machado, "Implementation of fractional-order electromagnetic potential through a genetic algorithm," Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, vol. 14, no. 5, pp. 1838–1843, 2009.

Fabrication, Characterization and Wear Properties of Mullite Reinforced Al_2O_3 -Doped ZrO_2 Ceramic Composites

Mehmet Akif Hafizoglu^{*1}, Ahmet Akkuş¹, Tahsin Boyraz²

^{*} akifhafizoglu@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9689-3004

¹Sivas Cumhuriyet University, Mechanical Engineering, Sivas, Turkey

² Sivas Cumhuriyet University, Metallurgical and Materials Engineering, Sivas, Turkey

Abstract In this study, Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 10 mol% Alumina doped zirconia ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) ceramic powders were synthesized by conventional ceramic production processing route. The mixtures were prepared by mechanical alloying method in acetone environment with zirconia ball mill. The powders were dried in oven at 110 °C for 24 hours before mixing. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 10 mol% Alumina doped zirconia ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders made up of stoichiometric proportions of Al_2O_3 , SiO_2 and ZrO_2 powders after being homogenized in acetone environment in ball mills. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 10 mol% Alumina doped zirconia ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) ceramic powders were synthesized in air at 1600 °C and 1300 °C for 2 h, respectively. Then, the ceramic phases formed were made ready to form ceramic - ceramic composites by crushing, grinding and sieving processes. Then 0 and 10% by weight mullite (M) added alumina doped zirconia (AlZ) mixtures were prepared by powder metallurgy method. The prepared mixtures were wet milled with zirconia ball mill for 24 h and sieved. After drying, the powders were compacted to preforms of 56x12x10 mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1500-1600 °C for 1-5 h in air conditions using a heating rate of 5 °C min⁻¹ in a high temperature furnace. Then, microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending and wear) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the mullite added alumina doped zirconia ceramic composites. Whether there is a phase change in the $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ mixture at high sintering temperatures and the effect of mullite additive on the properties of this mixture was investigated. Finally, the data obtained were presented in graphs and tables and results were commented.

Keywords: Zirconia, Mullite, Alumina, Characterization, Wear.

This work is supported by the Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University under the project number M-767. Authors would like to acknowledge Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University.

I. INTRODUCTION

CERAMIC materials as a high temperature structural material due to their several interesting features such as, excellent resistance to heat, corrosion and abrasion, are preferred, in numerous areas like, cutting tools, extrusion dies, adiabatic diesel engine compartments [1-3]. However, ceramic materials have many disadvantages, such as low impact strength and fracture toughness, fragility and limited processability. So, a lot of studies focus on these issues to improve the structural and mechanical properties of ceramics. Among ceramic materials, zirconia (ZrO_2) and its composites have recently become the focus of scientific and technological studies because of their better mechanical properties, corrosion resistance, high temperature stability, low thermal conductivity and high chemical stability. [4]. They are used as structural materials in the manufacture of refractory crucibles for melting pure metals, components of furnaces, engines, heat barriers, abrasion resistant components, blade cutting tools and wire mesh drawing machines, dental studies and other a lot of fields. High-purity zirconia (ZrO_2) exhibits three polymorphs depending on temperature: monoclinic phase is stable up to about 1170 °C. After this temperature, the conversion from the monoclinic phase to the tetragonal phase begins and the tetragonal phase is stable up to 2370 °C. From this temperature to the melting temperature of 2680 °C, it is in the cubic phase. [5]. During the cooling process, transition from the tetragonal to monoclinic phase occurs. This transformation is very important because of resulting in a volumetric change of around 3% to 5% and so, leads to cracks. To prevent this transformation and stabilize the zirconia, it is common to use stabilizers. The addition of stabilizers to ZrO_2 , lowers the temperature of polymorphic transformations, reduces the volume changes and blocks the transformation. With using stabilizers, it is possible to ensure the existence of high-temperature phases at room temperature too [6]. Different stabilizers, such as, Al_2O_3 [7], CaO [8], CeO_2 [9,10], MgO [11–13], SiO_2 [14-16], TiO_2 [17,18], Y_2O_3 [19,20] and even a combination of them [21,22], stabilize and keep stable the ZrO_2 in the tetragonal and/or cubic forms at room temperature. It is possible to produce materials consisting of only t- ZrO_2 or c- ZrO_2 or a mixture of these with m- ZrO_2 phases by adding different quantities of stabilizer. If less than sufficient stabilizing oxide is added, partially stabilized zirconia (PSZ) is obtained instead of fully stabilized zirconia. PSZ usually consists of two or more closely mixed phases. As a result of using stabilizers and obtaining fully or partially stabilized zirconia, achieve excellent mechanical properties such as bending strength, fracture toughness, hardness [23,24].

Although, zirconia exhibits better mechanical properties than other ceramics, but like all other ceramics, it is fragile. In order to minimize this problem, the fracture toughness of the submicrometric or nanocrystalline zirconia can be further increased by adding secondary phases into zirconia matrix, such as nanotubes, nanofibres or nanoplatelets [25]. During the last decades, the development of nanomaterials has offered a new alternative for reinforcing ceramics. Carbon nanotubes (CNTs) have attracted increasing attention as reinforcement because of their excellent properties [26]. However, the CNTs are prone to reacting with an oxide matrix at high temperature, leading to the degradation in mechanical properties of CNTs and a limited reinforcing effect on the ceramics [27,28]. So, it is stated that incorporation of mullite which is another type of ceramic toughening method with its high temperature oxidation and corrosion resistance and the other superior properties, might be preferred [25]. In the literature, mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) is defined

as the unique stable intermediate crystalline phase of the Al_2O_3 - SiO_2 binary system, cost-friendly and exhibiting good refractory ability [29,30]. Mullite has received significant attention for technological applications due to its good properties such as high melting point, low coefficient of thermal expansion, high chemical stability, high creep resistance and sufficient hardness [31-33]. In summary, the fracture toughness of the submicron or nanocrystalline zirconia can be further improved by adding mullite being the secondary phase into the zirconia matrix and so, the other mechanical properties can be improved too [25]. In addition, the sintering temperature is also particularly important, because it affected the properties of ceramics through alteration of the microstructure and crystalline phases [34,35]. Studies continue on the effect of different sintering temperatures on the microstructure and mechanical properties of mullite-zirconia ceramics [25].

Abi, C. B., Emrullahog, O. F., and Said, G., doped 2.5%, 5% and 7.5% by weight of monoclinic zirconia (m- ZrO_2) to Al_2O_3 powder and sintered at high temperatures (1400-1600 °C). They stated that corundum, m- ZrO_2 and t- ZrO_2 phases were observed in different proportions at different temperatures [36]. Rittidech, A. and Tunkasiri, T., sintered Al_2O_3 -25 mol% ZrO_2 mixture in the temperature range of between 1300 and 1600 °C. They stated that the majority phases of ceramics were α - Al_2O_3 and m- ZrO_2 , although t- ZrO_2 phase also appeared as a minor phase and decreased with higher temperatures [37]. Bhaduri, S., and Bhaduri, S. B prepared 86 wt.% Al_2O_3 - 14 wt.% ZrO_2 mixture and sintered at 1200 – 1400 °C temperatures. They indicate that while ZrO_2 is entirely in the tetragonal phase at 1200°C, with an increase in temperature, monoclinic ZrO_2 appeared and increased [38]. Dahl, G. T. et al., added 0-50 mol% Al_2O_3 into the ZrO_2 matrix and annealed at temperatures between 800-1200 °C and obtained t- ZrO_2 and c- ZrO_2 at low temperatures in the structure [39].

In this study, it was investigated whether there is a phase change in ZrO_2 - Al_2O_3 and ZrO_2 - Al_2O_3 -Mullite mixture at high sintering temperatures and the effect of mullite addition on the mechanical properties of the ZrO_2 - Al_2O_3 mixture.

II. EXPERIMENTAL

Mullite and alumina doped zirconia ceramic powders were produced by conventional ceramic production processing route in this study. All precursory powder materials (ZrO_2 , Al_2O_3 and SiO_2) used in the present work were purchased from Eczacıbaşı Company and Handan Yaxiang Chemicals Trading Co., Ltd (Eczacıbaşı Esan, Turkey and Handan Yaxiang Chemicals Trading Co., Ltd, China). The mixtures were prepared by mechanical alloying method in acetone environment with zirconia ball mill. The powders were dried in oven at 110 °C for 24 hours before mixing. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$) and 10 mol% alumina doped zirconia (Al_2O_3 - ZrO_2) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders made up of stoichiometric proportions of Al_2O_3 , SiO_2 and ZrO_2 powders after being homogenized in acetone environment in ball mills. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$) and 10 mol% alumina doped zirconia (Al_2O_3 - ZrO_2) ceramic powders were synthesized in air at 1600 °C and 1300 °C for 2 h, respectively. Then, the ceramic phases formed were made ready to form ceramic - ceramic composites by crushing, grinding and sieving processes. Then 0 and 10% by weight mullite (M) added alumina doped zirconia (AlZ) mixtures were prepared by powder metallurgy method (hereinafter these mixtures will be named M and AlZ respectively). The sample was coded as AlZ10M16005 (AlZ: Alumina

doped zirconia; 10M: 10% Mullite addition and 1600S: 1600 °C sintering temperature and 5 hours sintering time). The prepared mixtures were wet milled with zirconia ball mill for 24 h and sieved. After drying, the powders were compacted to preforms of 56 mm x 12 mm x 10 mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1500-1600 °C for 1-5 h in air conditions using a heating rate of 5 °C min⁻¹ in a high temperature furnace (Protherm™ Furnace). Then, microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending and wear) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the mullite added alumina doped zirconia ceramic composites. The binary phase diagrams of the Al₂O₃-SiO₂ and Al₂O₃-ZrO₂ system shown in Fig. 1 provided information for the creation of ceramic - ceramic composite used in this study.

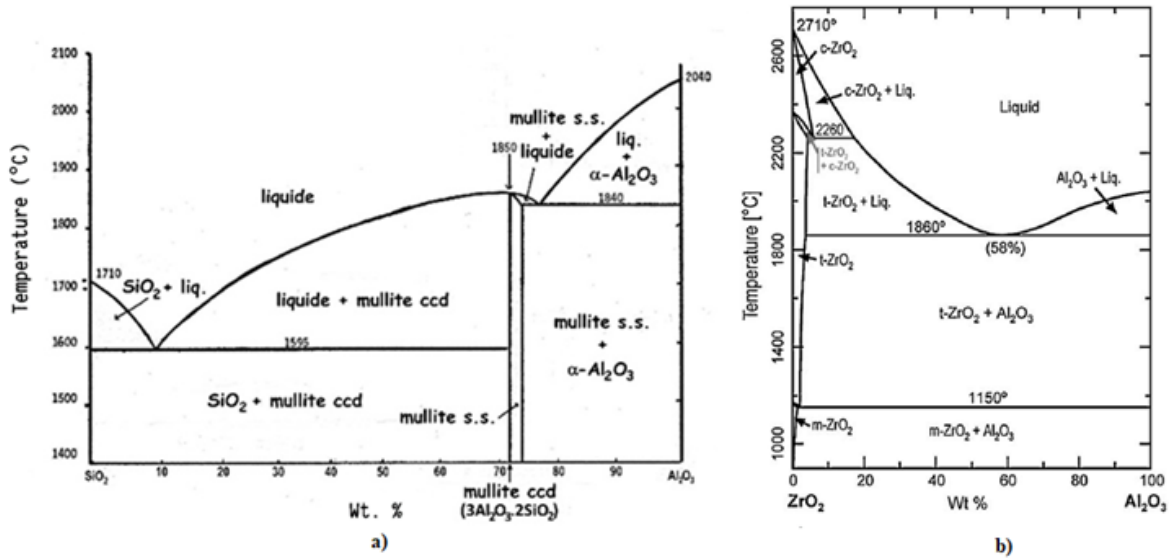


Fig. 1. (a) Al₂O₃-SiO₂ and b) Al₂O₃-ZrO₂ binary phase diagram [47-50].

The 3-point bending strength tests of the samples were performed on with a crosshead speed of 0.5 mm/min in a Shimadzu brand tensile-compression device. Five measurements were made for each sample and average results were accepted as the strength values of the samples. The strength calculations were made with the formula:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

(*P*: maximum applied load, *L*: distance between supports, *b*: width, *h*: height). The samples were polished on a velvet broadcloth using a 1 μm diamond solution after the 180, 320, 600, 1200 and 2500 grit sanding process, respectively. The diagonal field traces on the polished specimens were created using a square pyramid diamond tip with a 136° apex angle and 1 kg load for 10 seconds on the Mitutoyo brand vickers hardness tester. When calculating the hardness values, five measurements were taken and the results were given as average [40-46]. Plint brand wear tester was used for the wear tests of ceramics. Steel discs were used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 400 rpm rate, 5, 10, 15, 20 min wear durations and 100 N force. First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was

determined by measuring again after the specified wear time [44,45]. To determine the phases, X-ray powder diffractometer with Cu K α radiation (Bruker AXS D8 Advance; 20kV-60kV, 6mA-80mA and $\theta = 10^\circ$ - 90° , 0.002°) was used. The phase analysis of the XRD patterns was determined using the Pananalitical X'Pert High Score program. The microstructural characterization of the samples was made with the Mira3XMU FE-SEM (Tescan, Czech Republic) brand scanning electron microscope (SEM) with an energy dispersion spectrum (EDX). The data obtained were presented in graphs and tables and their comments were made.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Specified to sintered samples: Physical tests (total shrinkage, porosity, density and water absorption tests), mechanical tests (hardness, 3-point bending and wear), scanning electron microscopy (SEM) for EDX analysis and XRD for phase analysis. Measurements and calculations were made 5 times replicates, and their arithmetic averages were obtained.

TABLE I
PHYSICAL TEST RESULTS OF ALUMINA DOPED ZIRCONIA AND MULLITE ADDED ALUMINA DOPED ZIRCONIA SAMPLES

Samples	Bulk density g/cm ³	Relative density %	Water absorption %	Porosity %	Shrinkage %
AlZ00M15001	4,45	80,13	4,83	19,87	10,28
AlZ00M15005	4,82	86,71	3,28	13,29	12,33
AlZ00M16001	5,07	91,34	2,28	8,66	13,79
AlZ00M16005	5,18	93,26	1,50	6,74	15,26
AlZ10M15001	3,72	71,06	7,38	28,94	6,47
AlZ10M15005	3,79	72,29	6,65	27,71	7,23
AlZ10M16001	4,16	79,32	4,03	20,68	9,93
AlZ10M16005	4,52	86,28	1,98	13,72	12,48

The results of physical measurements (water absorption, bulk density, porosity and shrinkage) are given in Table 1, and also shown Fig. 2. The results indicate an increase in bulk density, relative density and shrinkage values with increasing sintering temperature and time. Porosity and water absorption values decreased with increasing sintering temperature and time. Although these increases and decreases occurred in mullite added samples too, they were less than without mullite added samples. On the other hand, mullite additive decreased bulk density, relative density and shrinkage while increasing water absorption and porosity values. In Fig. 2, the relative density values were taken at the rate of 1/3 of the actual values for the graph to be more understandable.

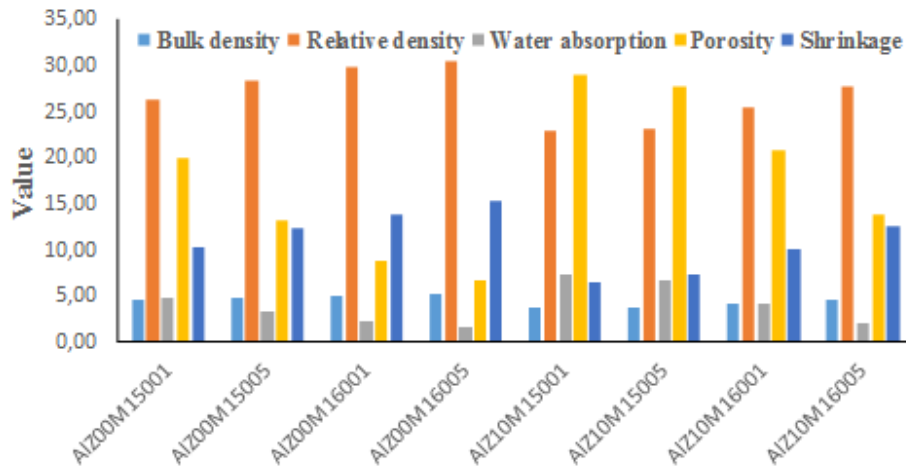


Fig. 2. Physical test results graph of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples.

Table 2, Fig. 3 and Fig. 4 indicated micro hardness and 3-point bending strength values of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples. The results indicate an increase in bending strength values with increasing sintering temperature and time. These increases occurred in mullite added samples too. Mullite additive increased fracture strength values.

Samples	3-Point Bending Strength MPa	Micro hardness HV
AlZ00M15001	17,74	241,4
AlZ00M15005	20,62	329,9
AlZ00M16001	22,53	469,4
AlZ00M16005	37,98	470,4
AlZ10M15001	20,50	159,1
AlZ10M15005	21,10	202,8
AlZ10M16001	24,76	257,7
AlZ10M16005	40,49	342,9

The average fracture strength of the AlZ00M15001 sample was 17,74 MPa, while the average fracture strength of the AlZ00M16005 sample was 37,98 MPa. Similarly, in mullite added alumina doped zirconia samples, the average fracture strength of the AlZ10M15001 sample was 20,50 MPa, while the average fracture strength of the AlZ10M16005 sample was 40,49 MPa. The fracture strength values in Table 2 are given as a clustered column chart in Fig. 3.

Similarly, the micro hardness values given in Table 2 are given as a clustered column chart in Fig. 4. The average hardness of the AlZ00M15001 sample was 241,40 HV, while the average hardness of the AlZ00M16005 sample was 470,40 HV. Similarly, in mullite added alumina doped zirconia samples, the average hardness of the AlZ10M15001 sample was 159,10 HV, while the

average hardness of the AlZ10M16005 sample was 342,9 HV. As can be seen, there is an increase in hardness values with increasing sintering temperature and time. These increases occurred in mullite added samples too. But mullite additive decreased hardness values compared to without mullite additive samples.

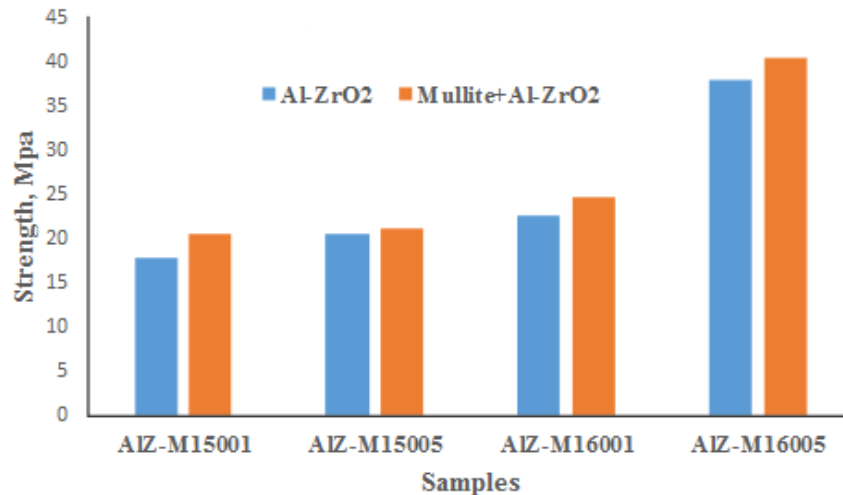


Fig. 3. 3-point bending strength graph of samples.

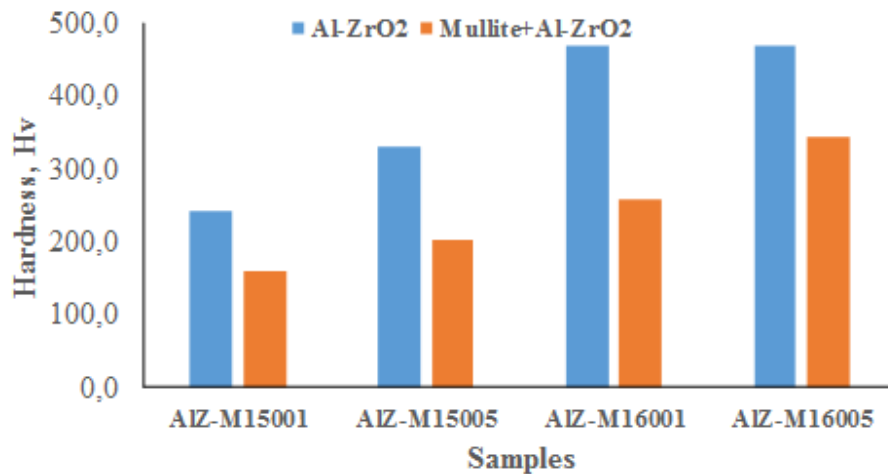


Fig. 4. Micro hardness graph of samples.

Plint brand wear tester was used for the wear tests of ceramics. Steel disc is used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 5,10 and 15 min wear durations and 100 N force (400 rpm constant speed). First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was determined by measuring again after the specified wear time. The wear results are shown in Table 3 and Fig. 5.

TABLE III
WEAR TEST RESULTS OF ALUMINA DOPED ZIRCONIA AND MULLITE ADDED ALUMINA DOPED ZIRCONIA SAMPLES

	Wear volume, 100 N $\times 10^{-2} \text{ mm}^3$		
	5 min.	10 min.	15 min.
AlZ00M15001	16,95	19,23	36,87
AlZ00M15005	9,92	11,54	20,08
AlZ00M16001	1,28	2,95	4,10
AlZ00M16005	1,08	1,81	3,67
AlZ10M15001	18,74	22,35	46,58
AlZ10M15005	11,15	13,47	25,23
AlZ10M16001	3,54	8,90	12,39
AlZ10M16005	1,77	4,12	6,95

As the wear time increased in all samples, the amount of wear increased. The results indicate a decrease in wear volume with increasing sintering temperature and time. Mullite addition increased the wear volume. The average wear volume of the AlZ00M15001 sample under 100 N load for 10 minutes was $19,23 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$, while the average wear volume of the AlZ00M16005 sample under 100 N load for 10 minutes was $1,81 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$. Similarly, in mullite added alumina doped zirconia samples, the average wear volume of the AlZ10M15001 sample was $22,35 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$, while the average wear volume of the AlZ10M16005 sample was $4,12 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$. As can be seen, the addition of mullite increased the wear volume.

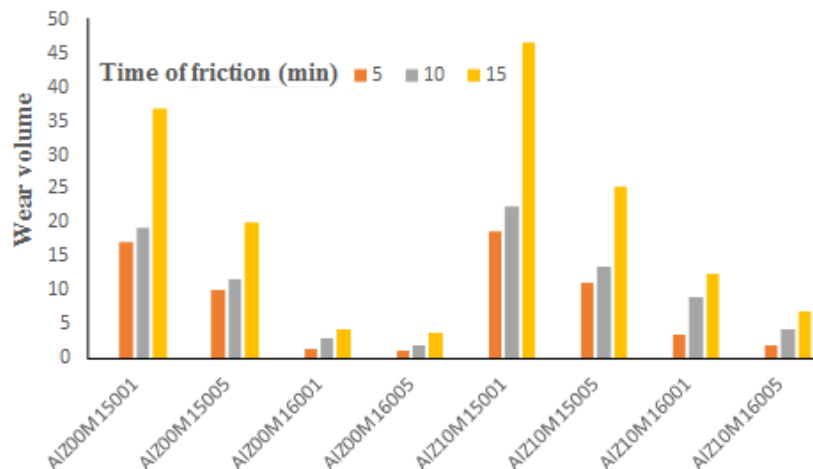


Fig. 5. Wear test results of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples.

Fig. 6 shows the XRD pattern of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples sintered at 1600 °C for 5 h. (#15-776) Mullite, (#42-1164) ZrO_2 and (#10-0173) Al_2O_3 phases were determined in the pattern. When the sample coded AlZ00M16005 was examined, it was determined that the formation of the alumina phase is observed in zirconia. In the sample coded AlZ10M16005, the presence of mullite [25, 30] phase in zirconia has emerged.

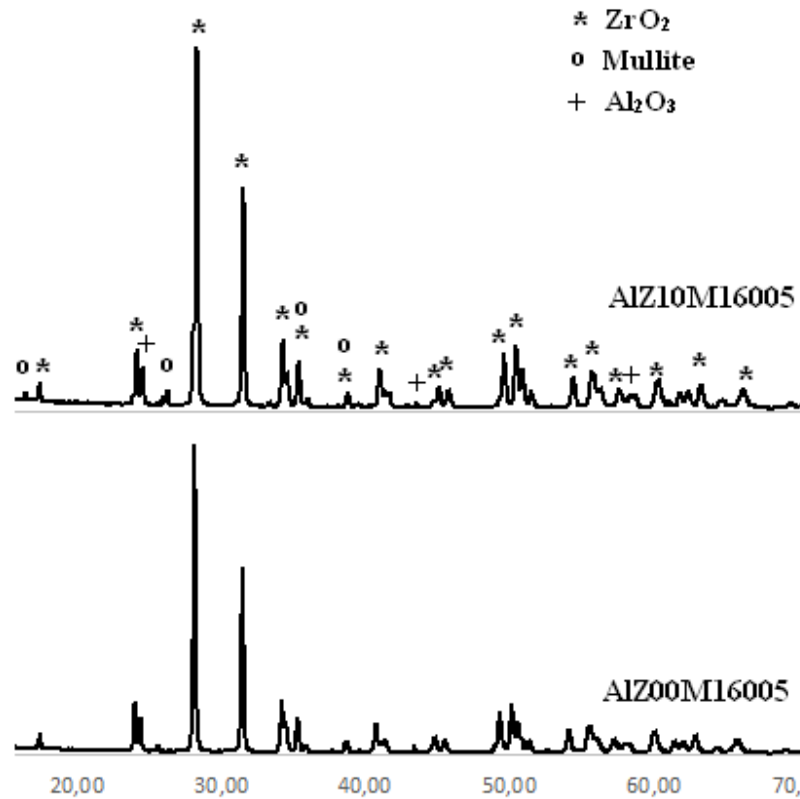


Fig. 6. XRD pattern of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples.

Fig. 7 shows the SEM images of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples sintered at 1600 °C for 5 h. Fig. 8 shows EDX analyses of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples sintered at 1600 °C for 5 h. With porosity and water absorption results, it is understood that the pores decrease with the increase of firing temperature in the samples by direct proportion. In addition, it was determined in SEM images that, the micro pores in the structure reduced with increasing temperature. There has been some increase in porosity with the contribution of mullite. The evaluation of EDX analysis results on the AlZ00M16005 and AlZ10M16005 sampled in Fig. 8 was performed according to the general 1 and 2, 3, 4 regional results. The results of the general (1) field survey are consistent with the XRF data. The presence of zirconia, alumina or mullite phases in both samples was determined by EDX analysis and it was observed that they were compatible with XRD results.

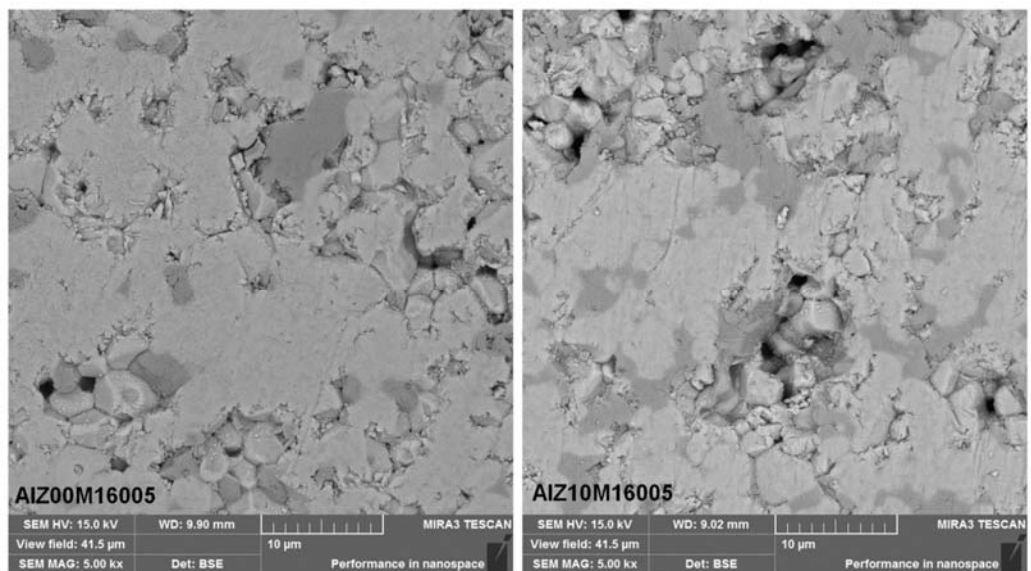


Fig. 7. SEM images of alumina doped zirconia (AIZ00M16005) and mullite added alumina doped zirconia (AIZ10M16005) samples.

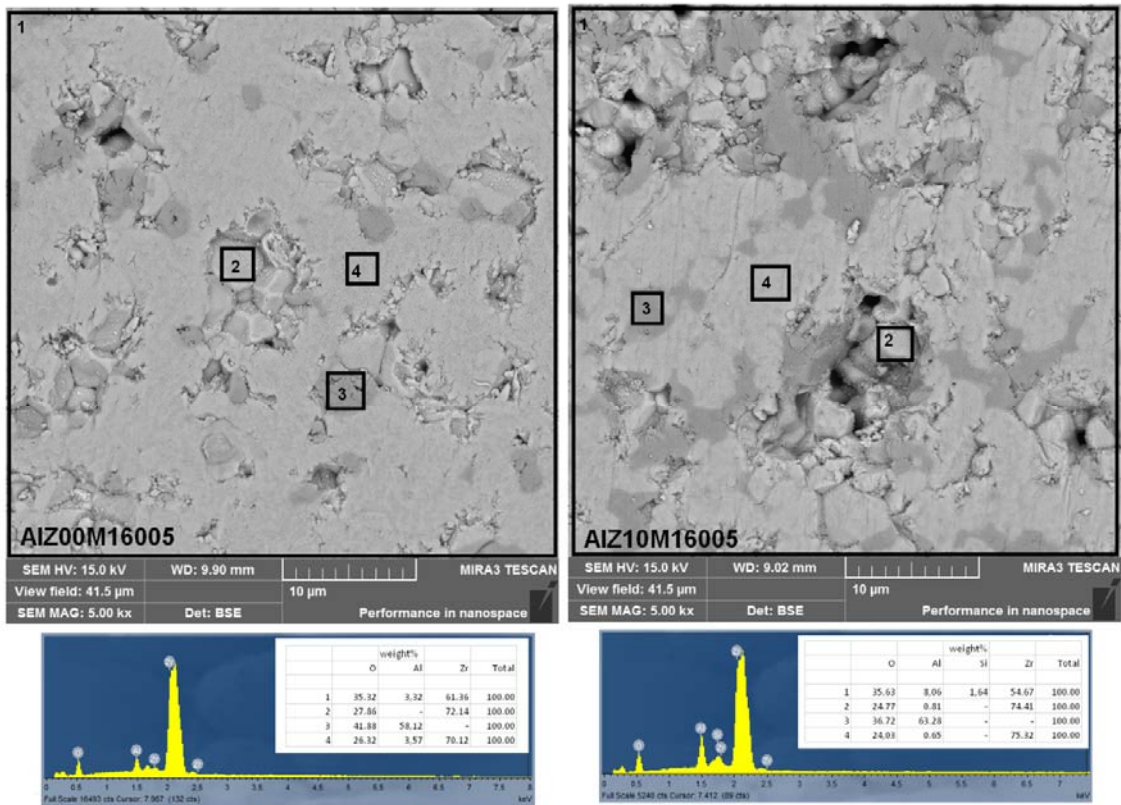


Fig. 8. EDX analyses of alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples.

IV. CONCLUSION

In this study, utilization of mullite in the manufacturing of alumina doped zirconia was investigated and it has been observed that mullite contribution to $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ mixture, has some advantageous and disadvantageous results:

Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$) and 10 mol% alumina doped zirconia ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders. The results indicate an increase in bulk density, relative density and shrinkage values with increasing sintering temperature and time. Porosity and water absorption values decreased with increasing sintering temperature and time. Although these increases and decreases occurred in mullite added samples too, generally they were less than without mullite added samples. On the other hand, mullite additive decreased bulk density, relative density and shrinkage while increasing water absorption and porosity values. The results indicate an increase in bending strength values with increasing sintering temperature and time. These increases occurred in mullite added samples too. Mullite additive increased fracture strength values. With increasing sintering temperature and time an increase occurred in hardness values. These increases occurred in mullite added samples too. But mullite additive decreased hardness values compared to without mullite additive samples. Increasing of the wear time, the amount of wear increased in all samples. The results indicate a decrease in wear volume with increasing sintering temperature and time. Mullite addition increased the wear volume. Mullite, ZrO_2 and Al_2O_3 phases were determined in the XRD patterns. The presence of zirconia, alumina or mullite phases in alumina doped zirconia and mullite added alumina doped zirconia samples was determined by EDX analysis and it was observed that they were compatible with XRD results.

REFERENCES

- [1] R.N. Katz, "High-temperature structural ceramics." Science, 208(4446), pp. 841-847, 1980.
- [2] D. Wang and W.C.J. Wei, "Thin 8 mol% yttria stabilized zirconia interlayer for intermediate-temperature solid oxide fuel cells." Journal Of Ceramic Processing Research, 19(3), pp. 198-205, 2018.
- [3] I.M. Low, R.D. Skala and D.S. Perera, "Fracture properties of layered mullite/zirconia-toughened alumina composites." Journal of materials science letters, 13(18), pp. 1334-1336, 1994.
- [4] I.H. Kim, B. Singh, J.W. Lim, and S.J. Song, "Determination of partial conductivities and electrolytic domain of yttrium-doped zirconia prepared from Indonesian zircon sand." Journal of Ceramic Processing Research, 19(2), pp. 134-141, 2018
- [5] T. Kosmač, C. Oblak, P. Jevnikar, N. Funduk and L. Marion, "The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic." Dental materials, 15(6), pp. 426-433, 1999.
- [6] T.K. Gupta, J.H. Bechtold, R.C. Kuznicki, L.H. Cadoff and B.R. Rossing, "Stabilization of tetragonal phase in polycrystalline zirconia." Journal of Materials Science, 12(12), pp. 2421-2426, 1977.
- [7] P.G. Rao, M. Iwasa, T. Tanaka, I. Kondoh and T. Inoue, "Preparation and mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-15wt.}\% \text{ZrO}_2$ composites." Scripta Materialia, 48(4), pp. 437-441, 2003.
- [8] R.C. Garvie and P.S. Nicholson, "Phase analysis in zirconia systems." Journal of the American Ceramic Society, 55(6), pp. 303-305, 1972.

- [9] K. Tsukuma and M. Shimada, "Strength, fracture toughness and Vickers hardness of CeO₂-stabilized tetragonal ZrO₂ polycrystals (Ce-TZP)." *Journal of materials science*, 20(4), pp. 1178-1184, 1985.
- [10] S. Deville, H. El Attaoui and J. Chevalier, "Atomic force microscopy of transformation toughening in ceria-stabilized zirconia." *Journal of the European Ceramic Society*, 25(13), pp. 3089-3096, 2005.
- [11] R.R. Hugan and R.H. Hannink, "Precipitation During Controlled Cooling of Magnesia-Partially-Stabilized Zirconia." *Journal of the American Ceramic Society*, 69(7), pp. 556-563, 1986.
- [12] T. Sakuma, "Microstructural aspects on the cubic-tetragonal transformation in zirconia." In *Key engineering materials*, vol. 153, pp. 75-96, 1998.
- [13] T. Czeppe, P. Zięba and A. Pawłowski, "Crystallographic and microchemical characterization of the early stages of eutectoid decomposition in MgO-partially stabilized ZrO₂." *Journal of the European Ceramic Society*, 22(8), pp. 1389-1394, 2002.
- [14] D.H. Aguilar, L.C. Torres-Gonzalez, L.M. Torres-Martinez, T. Lopez and P. Quintana, "A study of the crystallization of ZrO₂ in the sol-gel system: ZrO₂-SiO₂." *Journal of Solid State Chemistry*, 158(2), pp. 349-357, 2001.
- [15] S. Vasanthavel, P. Nandha Kumar and S. Kannan, "Quantitative analysis on the influence of SiO₂ content on the phase behavior of ZrO₂." *Journal of the American Ceramic Society*, 97(2), pp. 635-642, 2014.
- [16] S. Vasanthavel, B. Derby and S. Kannan, "Tetragonal to cubic transformation of SiO₂-stabilized ZrO₂ polymorph through dysprosium substitutions." *Inorganic chemistry*, 56(3), pp. 1273-1281, 2017.
- [17] C.L. Lin, D. Gan and P. Shen, "Stabilization of zirconia sintered with titanium." *Journal of the American Ceramic Society*, 71(8), pp. 624-629, 1988.
- [18] S.B. Bukhari, M. Imran, M. Bashir, S. Riaz and S. Naseem, "Room temperature stabilized TiO₂ doped ZrO₂ thin films for teeth coatings-A sol-gel approach." *Journal of Alloys and Compounds*, 767, pp. 1238-1252, 2018.
- [19] Y.M. Annenkov, N.N. Aparov, T.S. Frangul'yan, A.V. Voznyak and A.M. Gornostaev, "Effect of a stabilizing γ 2 O 3 additive on the strength properties of zirconia ceramics sintered from plasma chemical powders." *Glass and ceramics*, 54(11-12), pp. 401-403, 1997.
- [20] M. Yoshimura, S.T. Oh, M. Sando and K. Niihara, "Crystallization and microstructural characterization of ZrO₂ (3 mol% Y₂O₃) nano-sized powders with various Al₂O₃ contents." *Journal of Alloys and Compounds*, 290(1-2), pp. 284-289, 1999.
- [21] J. Moon, H. Choi, H. Kim, C. Lee, "The effects of heat treatment on the phase transformation behavior of plasma-sprayed stabilized ZrO₂ coatings." *Surface and Coatings Technology*, 155(1), pp. 1-10, 2002.
- [22] Y.L. Zhang, X.J. Jin, Y.H. Rong, T.Y. Hsu, D.Y. Jiang and J.L. Shi, "On the t→m martensitic transformation in Ce-Y-TZP ceramics." *Acta materialia*, 54(5), pp. 1289-1295, 2006.
- [23] R.A. Cutler, J.R. Reynolds and A. Jones, "Sintering and characterization of polycrystalline monoclinic, tetragonal, and cubic zirconia." *Journal of the American Ceramic Society*, 75(8), pp. 2173-2183, 1992.
- [24] R.K. Govila, "Strength characterization of yttria-partially stabilized zirconia." *Journal of materials science*, 30(10), pp. 2656-2667, 1995.

- [25] P.F. Liu, Z. Li, P. Xiao, H. Luo and T.H. Jiang, "Microstructure and mechanical properties of in-situ grown mullite toughened 3Y-TZP zirconia ceramics fabricated by gelcasting." *Ceramics International*, 44(2), pp. 1394-1403, 2018.
- [26] A. Duszová, J. Dusza, K. Tomášek, G. Blugan and J. Kuebler, "Microstructure and properties of carbon nanotube/zirconia composite." *Journal of the European Ceramic Society*, 28(5), pp. 1023-1027, 2008.
- [27] J. Eichler, J. Rödel, U. Eisele and M. Hoffman, "Effect of grain size on mechanical properties of submicrometer 3Y-TZP: fracture strength and hydrothermal degradation." *Journal of the American Ceramic Society*, 90(9), pp. 2830-2836, 2007.
- [28] J. Sun, L. Gao, M. Iwasa, T. Nakayama and K. Niihara, "Failure investigation of carbon nanotube/3Y-TZP nanocomposites." *Ceramics International*, 31(8), pp. 1131-1134, 2005.
- [29] R. El Ouatib, S. Guillemet, B. Durand, A. Samdi, L.E. Rakho and R. Moussa, "Reactivity of aluminum sulfate and silica in molten alkali-metal sulfates in order to prepare mullite." *Journal of the European Ceramic Society*, 25(1), pp. 73-80, 2005.
- [30] I. Kucuk and T. Boyraz, "Structural and mechanical characterization of mullite and aluminium titanate reinforced yttria stabilized zirconia ceramic composites." *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(1), pp. 73-79, 2019.
- [31] S. Yugeswaran, V. Selvarajan, A.I.Y. Tok and D.S.R. Krishna, "Twin step synthesis of mullite and mullite–zirconia composite in low power transferred arc plasma (TAP) torch." *Materials Characterization*, 62(4), pp. 419-424, 2011.
- [32] P. Kumar, M. Nath, A. Ghosh and H.S. Tripathi, "Enhancement of thermal shock resistance of reaction sintered mullite–zirconia composites in the presence of lanthanum oxide." *Materials Characterization*, 101, pp. 34-39, 2015.
- [33] J. Roy, S. Das, and S. Maitra, "Solgel-processed mullite coating—a review." *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12, E71-E77, 2015.
- [34] I. Denry and J.R. Kelly, "State of the art of zirconia for dental applications." *Dental materials*, 24(3), pp. 299-307, 2008.
- [35] W.H. Rhodes, "Controlled transient solid second-phase sintering of yttria." *Journal of the American Ceramic Society*, 64(1), pp. 13-19, 1981.
- [36] C.B. Abi, O.F. Emrullahog and G. Said, "Microstructure and mechanical properties of MgO-stabilized ZrO₂–Al₂O₃ dental composites." *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 18, pp. 123-131, 2013.
- [37] A. Rittidech and T. Tunkasiri, "Preparation and characterization of Al₂O₃–25 mol% ZrO₂ composites." *Ceramics International*, 38, S125-S129, 2012.
- [38] S. Bhaduri and S.B. Bhaduri, "Enhanced low temperature toughness of Al₂O₃–ZrO₂ nano/nano composites." *Nanostructured Materials*, 8(6), pp. 755-763, 1997.
- [39] G.T. Dahl, S. Döring, T. Krekeler, R. Janssen, M. Ritter, H. Weller and T. Vossmeier, "Alumina-doped zirconia submicro-particles: Synthesis, thermal stability, and microstructural characterization." *Materials*, 12(18), p. 2856, 2019.
- [40] T. Boyraz, "Farklı Yöntemlerle Şekillendirilmiş CaO/MgO Katkılı Stabilize Edilmiş ZrO₂ Esaslı Seramiklerin Fiziksel Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi" (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2011.
- [41] E. Çitak and T. Boyraz, "Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/YSZ Ceramics." *Acta Physica Polonica A*, 125(2), pp. 465-468, 2014.

- [42] U. Önen and T. Boyraz, "Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/spinel ceramic matrix composites." *Acta Phys. Pol. A*, 125(2), pp. 488-490, 2014.
- [43] M. Sacli, U. Onen and T. Boyraz, "Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/porcelain ceramic matrix composites." *Acta Physica Polonica A*, 127(4), pp. 1133-1135, 2015.
- [44] T. Boyraz and A. Akkus, "Investigation of wear properties of mullite and aluminium titanate added porcelain ceramics." *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 22, No. 2, pp. 226-231, 2021.
- [45] A. Akkus and T. Boyraz, "Investigation of wear properties of CaO, MgO added stabilized zirconia ceramics produced by different pressing methods." *J Ceram Process Res*, 19(3), pp. 249-252, 2018.
- [46] I. Kucuk, T. Boyraz, H. Gökçe and M.L. Öveçoğlu, "Thermomechanical properties of aluminium titanate (Al_2TiO_5)-reinforced forsterite (Mg_2SiO_4) ceramic composites." *Ceramics International*, 44(7), pp. 8277-8282, 2018.
- [47] V. Swamy, A. In-HoJung and S. Decterov, "Thermodynamic modeling of the Al_2O_3 – B_2O_3 – SiO_2 system." *Journal of Non-Crystalline Solids*, Volume 355, Issues 34–36, Pages 1679-1686, 2009.
- [48] A. Akkus and T. Boyraz, "Fabrication and characterization of aluminium titanate and mullite added Porcelain ceramics." *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(1), pp. 54-58, 2019.
- [49] L. Liu, Z. Ma, Z. Yan, S. Zhu and L. Gao, "The ZrO_2 formation in ZrB_2/SiC composite irradiated by laser." *Materials*, 8(12), pp. 8745-8750, 2015.
- [50] S.Y. Kwon, W.Y. Kim, P. Hudon and I.H. Jung, "Thermodynamic modeling of the CaO - SiO_2 - ZrO_2 system coupled with key phase diagram experiments." *Journal of the European Ceramic Society*, 37(3), pp. 1095-1104, 2017.

İzmir İlinin Hayvansal Kaynaklı Atıklarının Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma

An Investigation on Determination of Biogas and Electrical Energy Production Potentials of Animal Wastes of Izmir Province

Taner Akbaş^{*1}, Cengiz Özarslan²

^{*}taner@adu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9425-8309

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın Meslek Yüksekokulu, Aydın, TÜRKİYE.

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Aydın, TÜRKİYE.

Özet Sanayileşme ve Dünya nüfus artışına paralel olarak enerji ihtiyacı her geçen gün daha da artarken mevcut enerji kaynaklarının da sürekli olarak azalmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında küresel ısınma, çevre kirliliği ve sınırlı enerji kaynakları gibi faktörler ülkeleri fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Çevreci ve sınırsız olan bu kaynaklardan bir tanesi de biyogazdır. Özellikle nüfusun kırsal kesimde yaşayan ve büyük bölümü tarımsal üretimle uğraşan kesiminin enerji ihtiyacının giderilmesinde önemli ölçüde katkıda bulunacağı düşünülen biyogaz üretiminin, alternatif bir enerji potansiyeli olarak kullanılması yararlı olacaktır. Biyogazın doğrudan kullanılabilmesinin yanında enerji üretiminde de kullanılabilmesi ülke ekonomisi açısından son derece önemli görülmektedir. Özellikle enerji üretimiyle birlikte enerjide dışa bağımlılık oranı azalacak, hayvansal atıklar gübre olarak kullanılabilir ve yeni istihdam alanları oluşacaktır. Bu çalışmada, İzmir ilinin seçilmiş olan periyot boyunca (2014-2019) büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları verileri kullanılarak yıllara göre elde edilebilecek kullanılabilir gübre miktarı (ton/yıl), biyogaz potansiyeli (m³/yıl) ve elektrik enerjisi (kWh/yıl) değerleri belirlenmiştir. Hesaplamalar neticesinde en fazla biyogaz ve elektrik enerjisi üretim potansiyelinin 2019 yılına ait olduğu belirlenmiştir. Söz konusu 2019 yılında en fazla biyogaz üretimi büyükbaş hayvanlardan (yaklaşık 301 milyon m³/yıl) elde edilirken bunu et tavukları (yaklaşık 95 milyon m³/yıl), yumurta tavukları (yaklaşık 44 milyon m³/yıl) ve küçükbaş hayvanlar (yaklaşık 11 milyon m³/yıl) takip etmiştir. Elektrik enerjisi üretim potansiyelinde de benzer durum söz konusu olup hesaplanan değerler sırasıyla yaklaşık 542 milyon kWh/yıl, 170 milyon kWh/yıl, 79.4 milyon kWh/yıl ve 19.7 milyon kWh/yıl olarak bulunmuştur. Hesaplanan değerler mevcut potansiyeli ortaya koymakta olup bu potansiyelin enerjiye dönüşümünün ancak mevcut santrallere yenilerinin eklenmesiyle mümkün olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Hayvansal Gübre, Atık Geri Dönüşüm, İzmir.

Abstract: Parallel to industrialization and world population increase, the energy need increases day by day and causes the existing energy resources to decrease continuously. In addition, factors such as global warming, environmental pollution and limited energy resources direct countries to renewable energy sources as an alternative to fossil fuels. One of these environmentally friendly and unlimited resources is biogas. It would be beneficial to use biogas production as an alternative energy potential, which is thought to contribute significantly to the energy needs of the part of the population living in rural areas and mostly engaged in agricultural production. In addition to the direct use of biogas, its ability to be used in energy production is considered extremely important for the country's economy. Especially with energy production, the rate of external dependency in energy will decrease, animal wastes will be used as fertilizer and new employment areas will be created. In this study, usable manure (ton year^{-1}), biogas ($\text{m}^3 \text{year}^{-1}$) and electrical energy (kWh year^{-1}) values were obtained by using the cattle, ovine and poultry data of İzmir province during the selected period (2014-2019). As a result of the calculations, it has been determined that the highest biogas and electrical energy production potential belongs to 2019. In 2019, the highest biogas production was obtained from cattle (approximately 301 million $\text{m}^3 \text{year}^{-1}$) followed by broiler chickens (approximately 95 million $\text{m}^3 \text{year}^{-1}$), laying hens (approximately 44 million $\text{m}^3 \text{year}^{-1}$) and ovine animals (approximately 11 million $\text{m}^3 \text{year}^{-1}$). There is a similar situation in the electrical energy generation potential too. The calculated values were found to be approximately 542 million kWh year^{-1} , 170 million kWh year^{-1} , 79.4 million kWh year^{-1} and 19.7 million kWh year^{-1} respectively. The calculated values reveal the current potential, and it is thought that the transformation of this potential into energy will be possible only by adding new ones to existing power plants.

Keywords: *Renewable Energy, Animal Manure, Waste Recycling, İzmir.*

I. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal gelişmişliğin bir göstergesi olmasının yanında, teknolojik üretim ve gelişim için de son derece önemli bir ihtiyaç olarak gün geçtikçe önemini artırmaktadır [1, 2, 3]. Ekonomik gelişmişliğin de merkezinde olan enerji tüketimi ile yaşam standartları arasında açık bir ilişki vardır [4].

Gelişmiş ülkelerin gelişmişliklerini gösteren önemli göstergelerinden biri de kişi başına tüketilen enerji miktarıdır. Yaşam koşullarındaki gelişmeler ve nüfus artışıyla birlikte enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır [5].

Gelecekte Dünya'daki enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün gelişmekte olan ülkelere kaynaklanacağı öngörülmektedir. Gelişmekte olan ülkelere birisi olan ülkemizde de bu enerji ihtiyacının büyüme ve kalkınma hedefleri doğrultusunda hızlı bir şekilde artması beklenmektedir [6].

Dünya yıllık enerji ihtiyacının (400 EJ) yaklaşık %80'ninin fosil yakıtlardan karşılandığı düşünüldüğünde, çevreyi ve bütün canlıları tehdit eden çevre kirliliğinin boyutları daha iyi anlaşılacaktır. Özellikle son yıllarda fosil yakıtların aşırı kullanılması sonucu ozon tabakasında meydana gelen incelme, asit yağmurlarının daha sık görülmeye başlanması ve küresel ısınma gibi çevreye zarar veren olayların artması alternatif enerjilere olan ilgiyi arttırmıştır [7].

Sınırlı rezervleri ve gelecekte tükenecek olmaları fosil kökenli yakıtların en büyük dezavantajlarından birisidir. Bu durum yakın gelecekte enerji açığı olmasını ve enerji fiyatlarının yükselmesini kaçınılmaz hale getirmektedir [3, 8, 9]. Ayrıca fosil yakıtlar dünyadaki çevre sorunlarının öncelikli nedenleri arasında gösterilmekte olup bunların aksine hidroenerji, biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile çevre dostu üretim sağlanabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmektedir [10, 11].

Son yapılan araştırmalar petrolün 2047, doğalgazın 2068 ve kömürün ise 2140 yılına kadar rezervinin bulunduğunu göstermektedir. Fosil enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğalgaz vb.) sınırlı olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, vb.) ilk yatırım maliyetlerinin fazla olması özellikle kırsal bölgelerde alternatif enerji kaynağı olarak biyogazın değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır [12]. Organik atıkların anaerobik şartlarda fermentasyonu sonucunda elde edilen biyogaz, alternatif enerji kaynakları arasında önemini her geçen gün daha da arttırmaktadır [13]. Biyogaz, ısı ve güç üretmek için geleneksel yakıtların yerini alabilecek çok yönlü yenilenebilir bir enerji kaynağı olup otomotiv uygulamalarında da gaz yakıt olarak kullanılabilir özelliktedir [14].

Biyogaz; havadan hafif, kokusuz, renksiz, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımı olup bileşimine bağlı olarak yaklaşık %40-70 metan, %30-60 karbondioksit ve %0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen ihtiva etmektedir. Biyogaz, organik kökenli atık/artık maddelerden enerji elde edilmesinin yanında atıkların toprağa kazandırılmasına da imkân veren ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Biyogaz üretimi sırasında hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini yitirirken, kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmakta, insan sağlığını ve yer altı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin etkinliği büyük oranda azalmaktadır. Biyogaz üretimi, atık geri kazanımı sağlamanın yanında atıkları yok etmediği gibi çok daha değerli bir organik gübre haline dönüştürmektedir [3, 15, 16].

Türkiye'nin son yıllardaki enerji üretim ve tüketim değerlerine bakıldığında ülkemizin ancak tükettiği enerjinin üçte birini üretebildiği görülmektedir. Ülkemizde yakın gelecekte enerji tüketim ve üretim değerlerinde büyük bir artış olacağı tahmin edilmektedir [17].

Ülkemizde tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin gelişmesiyle birlikte hayvansal atıklar da artmış ancak bunların enerjiye dönüştürülmesinde yeterli çalışmalar yapılamamıştır [18].

Hayvansal atıklarından enerji ile yan ürün şeklinde besin değeri yüksek olan gübre elde edilmesi ancak çevresel açıdan kabul edilebilir bertaraf yöntemlerinden olan büyük ölçekli biyokütle-enerji dönüşüm sistemleri ile mümkün olmaktadır [19].

Tarımsal atıklardan biyogaz elde edilerek bunun enerjiye dönüştürülmesi gelişmiş ülkelerde yıllardır başarıyla uygulanmaktadır. Bu şekilde fosil yakıtlardan farklı olarak karbondioksit emisyonu artmamakta ve sera etkisinin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır [20].

Bu çalışmada, İzmir iline ait 2014-2019 yılları arasındaki (son altı yıllık) hayvansal kaynaklı atıklardan elde edilebilecek biyogaz ve elektrik enerjisi potansiyeli değerleri belirlenerek, bu verilerin bundan sonra yapılacak olan çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın materyalini Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) İzmir iline ilişkin son altı yıllık (2014-2019) bazı hayvan sayılarına ait istatistiksel veriler ve kaynaklar oluşturmaktadır [21].

Çalışmaya konu İzmir ili; Ege Bölgesi'nin kıyı şeridinde 37° 49' 06.9" N - 39° 23' 29.6" N Kuzey enlemleri ve 26° 13' 48.7" E - 28° 29' 57.0" E Doğu boylamları arasında yer almaktadır [22]. İlin alanı yaklaşık 1.2 milyon ha'dır. 2018 yılı itibarıyla Tarım ve Orman Bakanlığı İzmir İl Müdürlüğü verilerine göre toplam alanın yaklaşık %28.5'i olan yaklaşık 345 bin ha alanda tarım yapılmaktadır [23].

İzmir ilinin hayvan sayıları Tablo I'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde tavuk sayılarının et tavuğu ve yumurta tavuğu olarak iki gruba ayrıldığı görülmektedir. Bunun nedeni tavuk atığının, yumurta ve et tavukçuluğuna bağlı olarak değişik karakterlere sahip olmasıdır. Yumurta tavukçuluğunda atık sürekli alınmakta ve kullanılabilen iken, et tavukçuluğunda ise kesim ağırlığına, pazar şartlarına, tüketicilerin karkas piliç ağırlığı taleplerine, yem fiyatlarına, broiler satış fiyatına ve işletme koşullarına (yılda 4-5 dönem ve her bir dönem 5-7 hafta arası) bağlı olarak değişebilmekte olup dönemlik bir yetiştirme söz konusudur [15].

TABLO I
İZMİR İLİ HAYVAN SAYILARI [21]

Yıllar	Büyükbaş	Küçükbaş	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu
2014	555 981	786 798	13 830 325	4 929 472
2015	562 151	810 990	14 021 052	5 646 680
2016	575 579	823 771	13 731 498	5 497 830
2017	694 517	870 527	12 817 978	5 689 198
2018	762 668	937 905	13 981 809	7 558 116
2019	780 253	913 683	13 574 089	7 707 068

Hesaplamalarda bölgede bulunan hayvan sayıları dikkate alınmıştır (Tablo I). Et tavuğu için hesaplamalar yıllık 5 dönem ve 6 haftalık yetiştirme periyodu için yapılmıştır. Hayvan yetiştiriciliğinde günlük atık miktarını ve biyogaz potansiyelini belirleyen bazı faktörler vardır. Hayvanın türü, beslenme rejimi, kuru madde miktarı (KM), kullanılabilirlik (KU) ve biyogaz verimi (BKM) gibi değerler atık miktarı ve buna bağlı olarak biyogaz potansiyeli üzerinde son derece etkilidirler (Tablo II) [1, 15, 24, 25].

TABLO II
HAYVAN TÜRÜNE GÖRE ATIK KARAKTERİSTİKLERİ [1, 15, 24, 25]

Hayvan türü	Atık (kg/gün)	Kuru Madde (%)	Kullanılabilirlik (%)	Biyogaz Verimi (m ³ /kg KM)
Büyükbaş	10-25	10-20	50-65	0.6-0.8
Küçükbaş	2-4	25-30	5-13	0.3-0.4
Et tavuğu	0.087	50-90	99	0.3-0.8
Yumurta tavuğu	0.128	10-35	99	0.3-0.8

Yıllık elde edilebilecek teorik biyogaz potansiyeli aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$TBP = A \times KM \times KU \times B_{KM} \quad (1)$$

Eşitlikte; TBP teorik biyogaz potansiyeli (m³/yıl), A atık miktarı (kg/yıl), KM kuru madde (%), KU kullanılabilirlik (%) ve B_{KM} toplam kuru maddenin her bir kg'ından üretilebilecek tahmini biyogaz miktarıdır (m³/kg KM) [24].

Biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli $e_{biyogaz}$ (kWh/yıl) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$e_{biyogaz} = E_{biyogaz} \times \eta \quad (2)$$

Eşitlikte; $E_{biyogaz}$ biyogaz içerisindeki dönüştürülmemiş ham enerji miktarı (kWh/yıl), η biyogazın elektriğe dönüşümünün genel verimliliğini ifade eder (%). η miktarı, güç üretim santralının yapısına bağlı olarak değişir (%35-42) [24].

$E_{biyogaz}$ değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$E_{biyogaz} = E_{b_{cal}} \times TBP \quad (3)$$

Eşitlikte; $E_{b_{cal}}$ biyogazın kalorifik değerini (kWh/m³), ($E_{b_{cal}}$ değeri biyogazın kalorifik değerinin 21.5 MJ/m³ olduğu göz önünde bulundurularak 6 kWh/m³ kabul edilmiştir) [24].

III. BULGULAR

İzmir ilinin 2014-2019 yılları arasındaki hayvansal üretim verilerine göre elde edilebilecek kullanılabilir gübre miktarları Tablo III'te, elde edilebilecek biyogaz miktarları Tablo IV'te ve elde edilebilecek elektrik enerjisi değerleri Tablo V'te verilmiştir.

TABLO III
YILLARA GÖRE KULLANILABİLİR GÜBRE MİKTARLARI (TON/YIL)

Yıllar	Büyükbaş	Küçükbaş	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu
2014	3 551 329	861 544	252 680	230 305
2015	3 590 740	888 034	256 165	263 813
2016	3 676 511	902 029	250 874	256 859
2017	4 436 227	953 227	234 184	265 799
2018	4 871 542	1 027 006	255 448	353 115
2019	4 983 866	1 266 181	247 999	360 074
Ortalama	4 185 036	983 004	249 558	288 328

Tablo III incelendiğinde yıllara göre büyükbaş ve küçükbaş hayvanlarda kullanılabilir gübre miktarlarında hayvan sayısındaki değişime bağlı olarak sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Yumurta tavukçuluğunda da 2016 yılı hariç sürekli bir artış olmuştur. Et tavuğunda ise durum biraz farklı olup 2016, 2017 ve 2019 yılında bir azalış görülmektedir. Yıllara göre en fazla kullanılabilir gübre miktarı 2019 yılında sırasıyla büyükbaş (yaklaşık 5 milyon ton/yıl), küçükbaş (yaklaşık 1.3 milyon ton/yıl) ve yumurta tavuklarından (yaklaşık 360 bin ton/yıl) elde edilmiştir.

TABLO IV
YILLARA GÖRE ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ MİKTARLARI (M³/YIL)

Yıllar	Büyükbaş	Küçükbaş	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Toplam
2014	214 411 466	7 463 123	96 308 996	28 215 233	346 398 819
2015	216 790 898	7 692 595	97 637 145	32 320 377	354 441 015
2016	221 969 343	7 813 828	95 620 804	31 468 391	356 872 367
2017	267 837 226	8 257 329	89 259 406	32 563 740	397 917 702
2018	294 119 339	8 896 439	97 363 872	43 261 023	443 640 674
2019	300 900 912	10 968 296	94 524 669	44 113 593	450 507 469
Ortalama	252 671 531	8 515 269	95 119 149	35 323 726	391 629 675

Tablo IV'e göre 2019 yılı için elde edilebilecek en yüksek biyogaz miktarı büyükbaş hayvanlardan %66.80 pay ile yaklaşık 300 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bunu %20.98 pay ile (yaklaşık 95 milyon m³/yıl) et tavuklarından, %9.79 pay ile (yaklaşık 44 milyon m³/yıl) yumurta tavuklarından ve %2.43 pay ile (yaklaşık 11 milyon m³/yıl) küçükbaş hayvanlardan elde edilen biyogaz takip etmektedir.

TABLO V
YILLARA GÖRE ELDE EDİLEBİLECEK ELEKTRİK ENERJİSİ MİKTARLARI (KWH/YIL)

Yıllar	Büyükbaş	Küçükbaş	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Toplam
2014	385 940 640	13 433 622	173 356 193	50 787 419	623 517 874
2015	390 223 617	13 846 671	175 746 861	58 176 678	637 993 826
2016	399 544 818	14 064 891	172 117 447	56 643 104	642 370 260
2017	482 107 006	14 863 193	160 666 931	58 614 733	716 251 863
2018	529 414 811	16 013 591	175 254 970	77 869 842	798 553 213
2019	541 621 642	19 742 933	170 144 404	79 404 467	810 913 444
Ortalama	454 808 755	15 327 483	171 214 468	63 582 707	704 933 414

Tablo V incelendiğinde hayvan türü, hayvan sayısı, üretilen gübre miktarı ve kullanılabilir gübre miktarına paralel olarak elde edilen elektrik enerjisi miktarının da yine büyükbaş hayvanlarda fazla olduğu ve bunu et tavukları, yumurta tavukları ve küçükbaş hayvanlardan elde edilen elektrik enerjisinin takip ettiği görülmektedir.

2019 yılı itibariyle elde edilebilecek toplam elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 811 milyon kWh/yıl olup bu miktar Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun 2019 yılı elektrik piyasası gelişim raporuna göre İzmir ilinin yıllık toplam faturalanan tüketiminin (yaklaşık 15.5 milyar kWh/yıl) %5.23'üne karşılık gelmektedir. Diğer bir ifadeyle İzmir ilinde hayvansal atıklardan elde edilebilecek elektrik enerjisi ile Türkiye'de elektrik tüketiminin en düşük olduğu illerden bir tanesi olan Bayburt ilinin (yaklaşık 100 milyon kWh/yıl) yıllık tüketiminin yaklaşık 8.1 katı karşılanabilecek düzeydedir. Aynı miktar Türkiye'de elektrik tüketiminin en fazla olduğu ilimiz olan İstanbul ilinin yıllık tüketimi olan yaklaşık 36.5 milyar kWh'ın %2.2'si kadardır [26].

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma kapsamında 2014-2019 yılları için İzmir iline ait kullanılabilir hayvansal atıkların biyogaz dönüşümüyle elektrik enerjisi üretim potansiyelleri belirlenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalar neticesinde en fazla biyogaz ve elektrik enerjisi üretim potansiyelinin 2019 yılına ait olduğu belirlenmiştir. En fazla biyogaz büyükbaş hayvanlardan (yaklaşık 301 milyon m³/yıl) elde edilirken bunu et tavukları (yaklaşık 95 milyon m³/yıl), yumurta tavukları (yaklaşık 44 milyon m³/yıl) ve küçükbaş hayvanlar (yaklaşık 11 milyon m³/yıl) takip etmiştir. Elektrik enerjisi üretim potansiyelinde de benzer durum söz konusu olup hesaplanan değerler sırasıyla yaklaşık 542 milyon kWh/yıl, 170 milyon kWh/yıl, 79.4 milyon kWh/yıl ve 19.7 milyon kWh/yıl olarak bulunmuştur.

Mevcut durumda İzmir ilinde 4.27 MW (Sütaş Süt Enfaş Enerji) ve 1.20 MW (Tire Biyogaz Elektrik Üretim) gücünde iki adet biyogaz santrali bulunmaktadır [27]. Gelişen hayvancılıkla birlikte bu santrallerin sayılarının daha da artacağı düşünülmektedir. Bu tesislerin işletilebilmesi için gerekli gübre potansiyelimiz olmasına karşın bu tesislerin ilk yatırım maliyetlerinin ve işletme giderlerinin yüksek oluşu hayvancılık işletmelerinin bu üretim tesislerini kurmasının önünde engel olarak görünmektedir. Bu tesisler sadece birer üretim santrali değil aynı zamanda bir atık bertaraf sistemi olarak da görülmeli ve çevresel etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltması, atıklarının gübre olarak kullanılması ve yeni istihdam alanları oluşturması gibi birçok yararlı yönü bulunan bu santrallerin sayısının artmasının ancak üretici birliği ya da kooperatif gibi yapılanmalar ile ya da devlet teşvikleri ve düşük faizli kredilerle mümkün olacağı

düşünülmektedir.

KAYNAK

- [1] Z. Akyürek, Potential of Biogas Energy from Animal Waste in the Mediterranean Region of Turkey. *Journal of Energy Systems*, 2 (4) (2018) 160-167. DOI: 10.30521/jes.455325
- [2] F. Boysan, Ç. Özer, K. Bakkaloğlu & M.T. Börekçi, Biogas Production from Animal Manure. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15 (1) (2015) 908 – 911.
- [3] K. F. Çanka, Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri. *Mühendis ve Makina*, 52 (617) (2011) 94-106.
- [4] C. Karaca, Hatay İlinin Hayvansal Gübre Kaynağından Üretilebilir Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (1) (2017) 34-39.
- [5] B. Demir, C. Sağlam, N. Çetin & S. Büyükkılıç, Beyzi, Mersin İlinin Hayvansal Atıklardan Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli. 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), 24-26 October 2018, Adana, 1589-1591.
- [6] F. D. Tunçez, Ereğli İlçesinin Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (1) (2018) 1-7.
- [7] Y. A. Demir, L. Gazigil, R. Yetiş & B. Çelikezen, Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli: Bitlis Örneği. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 7 (1) (2019) 68-72.
- [8] Y. Korkmaz, S. Aykanat & A. Çil, Organik Atıklardan Biyogaz ve Enerji Üretimi. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 1 (2012) 489-497.
- [9] B. Küçükara, O. Yıldız, S. Sözer & C. Ertekin, Biogas Production from Agricultural Wastes in Laboratory Scale Biogas Plant. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 7 (4) (2011) 373-378.
- [10] T. Aktaş, B. Özer, G. Soyak & M.C. Ertürk, Tekirdağ İli'nde Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogazdan Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11 (1) (2015) 69-74.
- [11] A. Y. Çetinkaya, Süt Endüstrisi Atıksuyunun Biyometanizasyon Potansiyelinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 21 (2) (2018) 457-460.
- [12] M. F. Baran, F. Lüle & O. Gökdoğan, Adıyaman İlinin Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 4 (3) (2017) 245–249.
- [13] A. Akbulut & A. Dikici, Elâzığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 2 (2) (2004) 36-41.
- [14] S. Achinas, V. Achinas & G.J.W. Euverink, A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. *Engineering*, 3 (3) (2017) 299-307.
- [15] A.O. Avcıoğlu, A. Çolak & U. Türker, Türkiye'nin Tavuk Atıklarından Biyogaz Potansiyeli. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10 (1) (2013) 21-28.
- [16] S. H. Ergür & F. Okumuş, Cost and Potential Analysis of Biogas in Eskisehir. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15 (2) (2010) 155-160.
- [17] M. Taşova & S. Yazarel, Yozgat İli Hayvansal Kaynaklı Atıkların Biyogaz ve Enerji Potansiyellerinin Belirlenmesi. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2 (1) (2019) 16-24.
- [18] M. Taşova, Tokat-Erbaa İlçesindeki Hayvansal Kaynaklı Atıkların Enerji Potansiyel Değerlerinin Belirlenmesi. *TÜBAV Bilim*, 12 (1) (2019) 14-19.

- [19] Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S., & R. Reiter, Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2008) 17-19 Aralık 2008, İstanbul, 259-264.
- [20] Anonim. (2019a). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>), (Erişim tarihi: 15/09/2019).
- [21] TÜİK. 2020. Türkiye İstatistik Kurumu. (<http://www.tuik.gov.tr>), (Erişim tarihi: 29.09.2020).
- [22] Anonim. (2019b). Coğrafya Eğitimi. <https://www.cografyaegitimi.biz/konu/izmirin-cografi-koordinatlari-nedir.4095/> (Erişim tarihi: 06/11/2019).
- [23] Anonim. (2019c). Tarım ve Orman Bakanlığı İzmir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. <https://izmir.tarimorman.gov.tr/Menu/90/2018-Yili>, (Erişim tarihi: 05/11/2019).
- [24] P. Abdeslahian, J.S. Lim, W.S. Ho, H. Hashim & C.T. Lee, Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 60 (2016) 714–723. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>
- [25] A.O. Avcıoğlu & U. Türker, Status and Potential of Biogas Energy from Animal Wastes in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (3) (2012) 1557-1561. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.006>.
- [26] Anonim. (2020a). 2019 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/yillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi: 02/10/2020).
- [27] Anonim. (2020b). <https://www.enerjiatlasi.com/sehir/izmir/> (Erişim tarihi: 02/10/2020).

The Current State of Smart Packaging Systems in The Food Industry

Abdulkerim Hatipoğlu

abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1487-1953

Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Mardin Artuklu University, Mardin, Turkey

Abstract Food safety and food waste are among the most fundamental problems of today. According to the World Health Organization, more than 600 million cases of the disease each year are related to the contaminated food supply, and about 420,000 people die each year from foodborne contamination. On the other hand, it has been reported that 931 million tons of food is wasted in the world today. In order to ensure food safety and reduce food waste, smart packaging systems are used in the food industry instead of traditional packaging. Smart packaging provides detailed information on food throughout the supply chain. Smart packaging determines critical points with the help of sensors, indicators and identification systems on the labels affixed on the packaging material, included in the packaging or printed on it, thus protecting the quality of the food and contributing to the prolongation of the shelf life. Smart packages do not have a direct impact on food products, they only monitor their current status. In smart packaging systems, mostly chemical sensors, gas sensors, biosensors, humidity sensors, nanosensors, temperature-time indicators, freshness indicators, radio frequency identification (RFID) systems and barcodes are used. The use of smart packaging is increasing day by day. It is estimated that the global smart packaging market, which was USD 10.8 billion in 2015, will reach USD 26.7 billion in 2024. If these technologies are widely used all over the world, it is estimated that global food waste and environmental pollution will decrease in the near future. In addition, as smart packaging provides quality control opportunities to consumers, food poisoning and allergic reactions will be reduced; Thus, it is thought that the health expenditures made by the countries in this direction will decrease.

Keywords: Smart Packaging, Sensors, Indicators, RFID, Barcode, Food Safety

I. GİRİŞ

Gıda güvenliği ve israfı günümüzün en temel sorunları arasındadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, her yıl 600 milyondan fazla hastalık vakası kontamine gıda tedarikiyle ilgilidir ve her yıl yaklaşık 420 bin insan gıda kaynaklı kontaminasyon nedeniyle ölmektedir [1]. Öte yandan, bugün dünyada 931 milyon ton gıdanın israf edildiği rapor edilmiştir [2]. Son yıllarda tüm dünyada yiyecek ve içecek maddelerinin büyük bir bölümü ambalajlanarak tüketicilere ulaştırılmaktadır [3]. Bu bağlamda, bahse konu gıda maddeleri için kullanılan geleneksel ambalajlama sistemleri mevcut gıda israfını azaltmak bir yana, artırabilmektedir. Hem gıda güvenliğinin sağlanması hem de gıda israfının azaltılabilmesi için gıda endüstrisinde yenilikçi ambalajlama sistemlerinin kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Gıdanın ambalajlanması üç temel işlevi yerine getirmektedir; a. çevreleme, b. kalitenin korunması, c. çevresel, fiziksel ve mikrobiyolojik

etkenlerden koruma. Günümüzde, değişen tüketici tercihleri ve beklentileri nedeniyle ambalajın rolü temel işlevlerinin ötesine geçmiştir. Bu amaçla üretilen yenilikçi ambalajlar gıdanın raf ömrünün uzamasına katkı sağlamakta ve paketlenmiş gıda ürünlerinin kalite göstergesi olarak görev yapmaktadırlar [4].

Geleneksel olarak kullanılan ambalajlama teknolojileri, nem, oksijen ve kirletici maddelerin gıda ürünleriyle temas etmesini önleme işlevine sahip, pasif, inaktif ve inert bariyerlerin kullanımından oluşmaktadır. Dolayısıyla geleneksel ambalajlar, gıda kalitesini belirli bir süre boyunca sürdürmek ve çeşitli fizikokimyasal streslere karşı onu korumak amacıyla kullanılmaktadır. Yenilikçi gıda ambalajları ise, gıdanın korunmasında ve kalite göstergesinde aktif bir rol oynayabilen bir veya birden fazla aktif işlev sunabilmektedir. Bu amaçla, gıda endüstrisinde akıllı ve aktif ambalajlar kullanılmaktadır. Akıllı ambalajlama, tedarik zinciri boyunca gıda ile ilgili ayrıntılı bilgileri sağlamaktadır. Bu tarz ambalajlama, ambalaj malzemesi üzerine yapıştırılan, ambalaja dahil edilen veya üzerine basılan etiketlerdeki sensörler, indikatörler ve tanımlama sistemleri yardımıyla kritik noktaları belirlemekte ve bu şekilde gıdanın kalitesini korumaktadır [5, 6].

Akıllı ambalajlarda kullanılan biyosensörler, gaz sensörleri, nem sensörleri, zaman-sıcaklık göstergeleri ve tazelik indikatörleri gibi sistemler, ürünün içinde veya çevresindeki değişiklikleri test etme, algılama veya kaydetme becerisine dayalı olarak üreticiye, perakendeciye ve tüketiciye gıda kalitesi ve güvenliği hakkında bilgi sağlamaktadırlar [7-10]. Akıllı ambalajlar, gıda ürünleri üzerinde doğrudan etki etmemekte, yalnızca onların mevcut durumlarını izlemektedirler [11]. Akıllı ambalajlamanın temel ilkesi, ambalaj içindeki gıdanın kalitesini izlemek ve bu bilgiyi pakete bağlanan sensörler veya kolorimetrik değişiklikler yoluyla iletmektir [12]. Akıllı ambalajlama, aynı zamanda aktif ambalajların etkinliğini ve gücünü de değerlendiren bir sistemdir [13].

Bu çalışmada akıllı gıda ambalajlarında kullanılan sensörler, indikatörler, radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketleri ve barkodların güncel uygulamaları ele alınmıştır.

II. SENSÖRLER

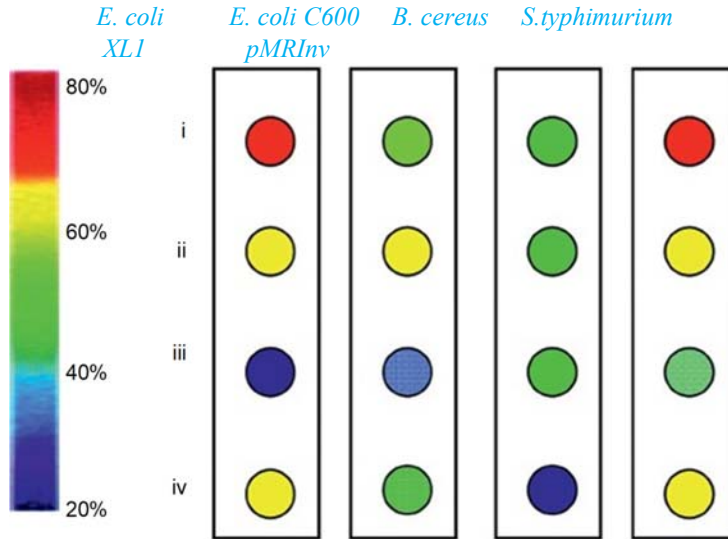
Genellikle sensörler üç işlevsel bölümden oluşmaktadır; algılama bölümü, sinyal işleme bölümü ve ölçülen özellikleri görüntüleyen ara yüz bölümü. İlk bölüm fiziksel özellikleri algılamakta ve genellikle bunu bir elektrik sinyaline dönüştürmektedir. Sinyal işleme bölümü, üretilen bu elektrik sinyalini yükseltmekte, doğrusallaştırmakta ve ölçeklendirmektedir. Görüntüleme işlevini yerine getiren arayüz bölümü ise basit bir mekanik konektör, bir adaptör veya bir kablolu sensör şeklinde olabilmektedir [14].

A. Kimyasal Sensörler

Kimyasal sensör, kimyasal reaktifi, bir reseptör veya tanıma elemanı olarak kullanan analitik bir cihaz veya araç olarak tanımlanabilir. Reseptör, yüzey özelliklerinde bir değişikliğe neden olan yüzey adsorpsiyonu yoluyla belirli kimyasal analitlerin veya gazların aktivitesini, varlığını, konsantrasyonunu veya bileşimini tespit etme yeteneğine sahiptir. Akıllı ambalajlama sistemlerinde kullanılan kimyasal sensörler, genellikle dağıtım ve depolama sırasında gıdadaki pH değişimleri ile gıdada oluşan trimetilamin, dimetilamin, etanol, H₂, CO, CH₄, NO₂, NH₃, H₂S gibi uçucu bileşikler tespit edilebilmektedirler [15, 16].

pH sensörleri genellikle iki parçadan oluşmaktadır; katı baz ve pH'daki değişikliklere duyarlı bir boya. Kullanılan bu boyalar çeşitli meyve ve sebzelerden elde edilmektedir. Bazı gıdaların bozulma süreci başladığında, bir pH değişikliği meydana gelmektedir. Bu anlamda, satın alınmadan veya tüketilmeden önce gıdanın pH'sını belirten bir ambalaj, ürünün kalitesini ve güvenliğini tüketiciye garanti etmektedir [12].

Özellikle et ve balık ürünlerindeki spesifik mikroorganizmalardan kaynaklanan bozulmalar nedeniyle, ambalaj ortamında bazı kimyasal modifikasyonlar meydana gelebilmektedir [11]. Söz konusu kimyasalların tespit edilebilmesi için doğrulukları, basitlikleri, düşük maliyetleri, süratleri ve güvenilirlikleri nedeniyle büyük ölçüde kolorimetrik testler (Şekil 1) kullanılmaktadır [17, 18].



Şekil 1. Kolorimetrik bakteri parmak izi [17]

Örneğin, ambalajın içine yerleştirilmiş polianilin bazlı filmler, biyogenik aminlerin varlığında gözle görülür renk değişikliklerine yol açmaktadırlar [19]. Filmlerdeki polianilin pH'sı değişmekte, dolayısıyla iletkenliği ve rengi değiştirebilme özelliğine sahip olmaktadır. Kolorimetrik test ile kurkumin, formaldehit, alizarin, bromkresol yeşili, bromkresol moru, bromtimol mavisi sodyum tuzu, bromfenol mavisi, ksilenol mavisi, klorfenol kırmızısı, kresol kırmızısı, kristal menekşe lakton, Reichardt boyası, 2,6-dikloro-4-fenolat, fenol kırmızısı, rosolik asit, metil kırmızısı, karminik asit, tiyobarbitürik asit, magnezyum oksit, sülfürik asit, sodyum hidroksit, metanol, borik asit, hidroklorik asit ve asetik asit gibi farklı bileşikler tespit edilebilmektedir [20].

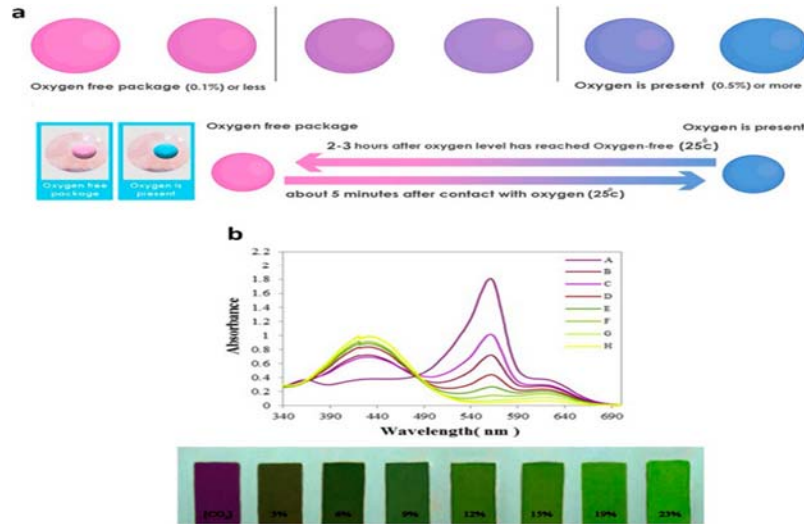
B. Gaz Sensörleri

Gaz sensörleri, kimyasal reaktifin algılama sistemi olarak kullanıldığı kimyasal sensörler olarak da sınıflandırılabilir. Gıda ambalajının içindeki gaz bileşimleri, biyolojik veya fizyokimyasal reaksiyonlar veya sızıntıların bir sonucu olarak zaman ve/veya sıcaklıkla değişebilmektedir. Gıda ambalajında var olan gaz konsantrasyonlarındaki değişim, dolaylı olarak gıdanın kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Gaz sensörleri, tedarik zinciri boyunca gıdaların kalitesini ve ambalaj bütünlüğünü değerlendirmek amacıyla, ambalaj içinde oluşan gaz analitlerinin (O_2 , CO_2) varlığını tespit etmek için kullanılmaktadır. [15, 21].

Bu amaçla kullanılan sensör, genellikle ambalaj yüzeyine yerleştirilen yapışkan bir etikettir. Sensör CO_2 , O_2 veya C_2H_4 'ün varlığını veya yokluğunu gösterebilmektedir [10]. Diğer taraftan mikroorganizmaların gaz emisyonlarına göre kantitasyonu ve / veya tanımlanması için kullanılabilen çeşitli tipte gaz sensörleri geliştirilmiştir. Metal oksit gaz nano sensör, yüksek duyarlılığı ve kararlılığı nedeniyle en popüler sensör türlerinden biridir. Ayrıca mikroorganizmaları gaz emisyonlarına göre ölçebilen ve / veya tanımlayabilen iletken polimerlere dayalı nanosensörler de kullanılmaktadır [22].

Oksijen sensörü, gıda ambalaj sistemlerinde en yaygın kullanılan gaz sensörüdür. Bilindiği gibi havadaki oksijen oksidatif ekşimeye, renk değişikliğine ve mikrobiyal bozulmaya neden olabilmektedir. Oksijen sensörü bahse konu durumları tespit etmek için kullanılabildiği gibi, sızdıran veya kurcalanmış paketlerden kaynaklanan renk değişikliklerini göstermek için de kullanılabilmektedir [23]. Son yıllarda modifiye atmosfer paketleri, çeşitli gıdaların raf ömrünü uzatmak için geniş ölçüde kullanılmaktadır [24, 25]. Modifiye atmosfer paketlerindeki oksijen konsantrasyonu ürünün raf ömrü açısından önemli bir parametredir. Bu bağlamda, paket içindeki oksijenin mevcut durumunu izleyebilen farklı sensörler geliştirilmiştir [26, 27].

Şekil 2a, oksijen varlığında ticari bir sistemde elde edilebilen renk varyasyonunu şematize etmektedir. Sensör, oksijene maruz kaldıktan sonra, birkaç saat içinde rengini pembeden maviye doğru değiştirmektedir. Yüksek hassasiyetlerine ve kolay dönüştürülmelerine rağmen, bu sensörlerin çoğunun anaerobik koşullarda depolanması ve kullanılması gerekir. Bu durum modifiye atmosfer paketlerin geniş çaplı uygulanabilirliklerini önemli ölçüde azaltmaktadır [11].



Şekil 2. a) Kolorimetrik redoks boyasına dayalı O_2 sensörleri. (b) CO_2 'ye tepki olarak etiket rengi değişiklikleri [11].

CO_2 sensörleri de gıda ambalajlarında kullanılan önemli sensörlerden biridir. Gıda ambalajlarında CO_2 'yi izlemek için başlıca iki optik sensör grubu rapor edilmiştir. İlki, CO_2 maruziyeti üzerine floresanlarını değiştiren lüminesan boyalar, ikincisi sensör matrisindeki CO_2 hidrolizinin neden olduğu pH değişikliklerine duyarlı kolorimetrik göstergelerdir [28-30]. Ancak

sensör üretimi için gerekli kimyasallar gıda kalitesinde olmadığından ürünlerle temas etmemelidir. Son yıllarda büyük ölçekli ambalajlarda CO₂ sensörleri geliştirmek için kolorimetrik göstergeler kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar genellikle ışıldayan boyalara göre daha düşük bir duyarlılığa sahip olmalarına karşın, çok daha ucuz, daha güvenli ve herhangi bir enstrümana ihtiyaç duymadan insan gözü tarafından fark edilebilen bir yanıt sağlayabilmektedirler [30-32]. Örneğin, Şekil 2b'de şematik olarak gösterilen, m-kresol mor boyası, bromotimol mavisi, bromokresol yeşili ve fenol kırmızısının karışımına dayalı bir kolorimetrik dedektör, protonasyona ve protosuzlaşmaya duyarlı renkli polimer filmleri imal etmek için geniş ölçüde kullanılmaktadır [11].

C. Nem Sensörleri

Son yıllarda ambalajlardaki nemin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi için sensörler geliştirilmiştir [33, 34]. Nemin izlenmesi, paketin bütünlüğü, paketteki gıda maddelerinin kalitesi ve güvenliği ile ilgili gerçek durum hakkında bilgi vermesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır [35].

Nem sensörleri, genellikle nemin bir fonksiyonu olarak değişen kapasitif ve/veya direnç parametrelerinin ölçümüne dayanan elektronik higrometreler kullanılarak üretilmektedirler [10]. Bu sensörler, basit ve ekonomik oldukları gibi, gıda ambalajlarına kolayca uygulanabilmektedirler. Nem sensörlerinde çoğunlukla bir kağıt alt tabaka kullanmak, ucuz bir platform, yüksek hassasiyet ve makul bir yanıt süresi elde edilmesini sağlamaktadır. Ambalaj içindeki nem arttığında, bu kağıt tabaka suyu emmekte, dolayısıyla kapasitörün kapasitansını değiştirmektedir [11]. Ambalajlanmış gıda ürünlerindeki nemin izlenmesi için radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketine eklenmiş nem sensörleri ile buğday gluteninin de kullanıldığı bildirilmiştir [36, 37].

D. Nano Sensörler

Nanosensörler, gıda bileşenleri (iç faktörler olarak) ve ambalaj malzemeleri (çevresel faktörler olarak) ile etkileşime girmekte ve gıdanın durumu ile ilgili tespit edilebilir bir yanıt (görsel veya elektrik sinyali gibi) üretebilmektedirler [38]. Nanosensör, silika nanopartiküller (SiO₂), kil nanoplateletler, nişasta nano-kristalleri, karbon nanotüpler veya grafen, kitin veya kitosan nanopartiküller, selüloz nanolifler ve metal oksit nanoparçacıkları gibi bir nano dolgu malzemesi ile güçlendirilmiş biyo-nanokompozit polimer matrislerinden yapılmıştır. Nanosensörler, alerjenler, pestisitler, kimyasal ve mikrobiyal toksinler, bozulma ürünleri gibi tehlikeli kimyasal maddelerin mevcudiyetini ve oransal olarak miktarını tespit etmek için tasarlanmışlardır [9].

Nanosensör, reseptör ve dönüştürücü denilen iki temel bileşenden üretilmektedir. Reseptör, seçilen bir analit ile etkileşime giren organik veya inorganik maddedir. Dönüştürücü ise, reseptör ve analit arasında meydana gelen tanımlama olayını ölçülebilir bir sinyale (elektrik, elektrokimyasal ve optik sinyaller dahil) dönüştürmektedir. Bu amaçla kullanılan grafen tabanlı nanosensörler, çevresel kirleticiler, DNA parçaları, antibiyotikler, gazlar, pH ve kimyasal bileşenlerin tespiti için geliştirilmiştir [39, 40].

Öte yandan mikroorganizmaların tespit edilmesi için enzim içerikli altın nanomalzemeler kullanılabilir. Perilen bazlı floroforların nano fibrilleri ise, gaz halindeki aminlerin saptanmasıyla balık ve etlerin bozulduğunu gösterme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca ZnO ve TiO₂ nanokompozitleri, uçucu organik bileşiklerin saptanması için kullanılabilir [41].

Gıda kalitesi ve güvenlik göstergeleri ile bunların gerçek zamanlı izlemedeki uygulamalarından bazıları Tablo 1' de gösterilmektedir.

TABLO I. Ana gıda kalitesi ve güvenlik göstergeleri ve bunların gıda ambalajlarındaki temel uygulamaları [11]

Algılama Göstergesi	Çalışma Prensibi	Ana Uygulamalar
O ₂	Lüminesans tabanlı Redox tabanlı Kolorimetrik test tabanlı	Modifiye atmosfer ambalajları
CO ₂	Lüminesans tabanlı Kolorimetrik test tabanlı	Modifiye atmosfer ambalajları
Nem	İndüktör ve kapasitör tabanlı Kolorimetrik test tabanlı Fotonik kristal bazlı	Modifiye atmosfer paketleri Kuru gıda ürünleri
pH	Kolorimetrik test tabanlı Elektrokimyasal test tabanlı Fotonik kristal bazlı	Et, balık ve süt ürünleri
Sıcaklık	Kolorimetrik test tabanlı	Dondurulmuş gıda ürünleri
Azot	Antikor tabanlı Kolorimetrik test tabanlı	Et ve balık ürünleri

III. İNDİKATÖRLER

A. Zaman-Sıcaklık İndikatörleri

Nakliye, dağıtım ve depolama sırasında gıdanın kalitesi ve güvenliğini etkileyerek, ürünün raf ömrünü kısaltan ana çevresel faktör sıcaklıktır [42]. Bu nedenle gıdaların termal geçmişinin izlenmesi önemlidir. Söz konusu amaca hizmet eden zaman-sıcaklık indikatör sistemleri üç ana gruba ayrılabilir; kritik sıcaklık indikatörleri, kritik zaman-sıcaklık indikatörleri ve tam geçmiş indikatörleri [43]. Bu indikatörlerin çalışma prensibi, iki veya daha fazla malzeme (enzimatik, mekanik, kimyasal, vb.) arasındaki farklı reaksiyonlara dayanmaktadır. Sonuçta, indikatörde geri dönüşü olmayan renk değişikliği meydana gelmektedir. Bu indikatörler, ısıya duyarlı ürün paketlerinin veya ihracat kutularının dış yüzeyine yerleştirilmektedir. Yani bu göstergeler ürünün kendisi ile doğrudan temas halinde değildir [10].

Zaman-sıcaklık indikatörleri, kimyasal, fiziksel ve biyolojik olmak üzere farklı ilkelere dayanan çalışma mekanizmalarına sahiptir. Bu mekanizmalar asit-baz reaksiyonu, erime, polimerizasyon vb. şeklinde olmaktadır [44]. Bu indikatörler, gıdanın güvenliğini izlemek, kaydetmek ve dönüştürmek için tasarlanmıştır. Böylelikle, tüketicilerin ne satın aldıkları konusunda kendilerini güvende hissetmelerini ve üreticilerin kendi ürünlerini tedarik hattı boyunca takip etmelerini sağlamaktadır [22]. Zaman-sıcaklık indikatörleri pastörizasyon ve sterilizasyonun etkinliğini değerlendirmek için de kullanılabilir [7].

Şekil 3'te bir zaman-sıcaklık indikatör örneği olan etiket gösterilmiştir. Bu etiketler hem gıdanın dağıtımını izlemek hem de tüketiciyi bilgilendirmek için tasarlanmıştır. Etiket penceresinde beyaz renkli-gözenekli fitil mevcuttur. Ürün, kritik sıcaklığı aşan bir duruma maruz kaldığında, madde erimekte ve gözenekli fitil boyunca yayılmaya başlamaktadır. Böylece Şekil 3'te görüldüğü gibi renk mavileşmektedir. Genellikle -15 ile +26 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda kullanılan zaman-sıcaklık indikatörleri bulunmaktadır [44].



Şekil 3. Zaman-sıcaklık indikatör örneği [44]

Kritik sıcaklık göstergeleri, yalnızca belirli bir süre için bir referans değere göre sıcaklık farklılıklarının ortaya çıkması nedeniyle, gıdanın organoleptik özelliklerindeki bozulma ve değişikliklere ilişkin bilgi sağlayabilmektedir. Tam geçmiş göstergeleri ise, bir numunenin maruz kaldığı sıcaklık değişikliklerini sürekli olarak izlemekte, geri dönüşü olmayacak şekilde kaydedilen veriler yardımıyla tüketicilere gıda güvenliği ve kalitesi hakkında bilgi vermektedirler [11].

B. Tazelik İndikatörleri

Tazelik indikatörlerinin temel amacı, paketlenmiş ürünün kalitesinin artık kabul edilemez olduğu anı işaret etmektir [7]. Bir gıda ürününün tazeliği, kimyasal ve mikrobiyal bozulma ile değerlendirilmektedir. Bu nedenle tazelik indikatörleri, taşıma, depolama ve sergileme sırasında gıda ürününün kalitesine ilişkin gerçek bilgileri sağlamayı amaçlamaktadır. Tazelik indikatörleri genellikle kap üzerinde etiket şeklinde olup, depolama sırasında mikrobiyal çoğalma ile kimyasal bozulmayı gösteren uçucu nitrojen bileşikler, aminler, organik asitler, karbondioksit, etanol, glikoz veya sülfür bileşiklerine duyarlıdır. Ambalajlı gıdada oluşan bu bileşikler indikatörler tarafından tespit edilmekte, ardından kolayca ölçülebilen ve gıdanın tazeliğiyle ilişkilendirilebilen bir renk tepkisine dönüştürülmektedirler [35, 38, 45].

Şekil 4'te Anjou Armuduna ait bir tazelik indikatörü gösterilmiştir. Armudun olgunlaşması sırasında gaz indikatöründeki renk kırmızıdan sarıya doğru değişmektedir [46]. Öte yandan pek çok et ürünündeki mikrobiyal aktivite nedeniyle, n-bütilat, D-laktat ve asetik asit gibi çeşitli indikatör metabolitlerin konsantrasyonları değişmektedir. pH temelli indikatörler, bu metabolitlerin varlığını renk değişikliği ile tespit ederek tazelik indikatörü olarak hizmet edebilmektedirler. Aynı şekilde tiramin, histamin ve kadaverin gibi çeşitli biyogenik aminler, etin ayrıştırılması sırasında üretildikleri için et tazeliğinin indikatörleri olarak kullanılabilirler [47].

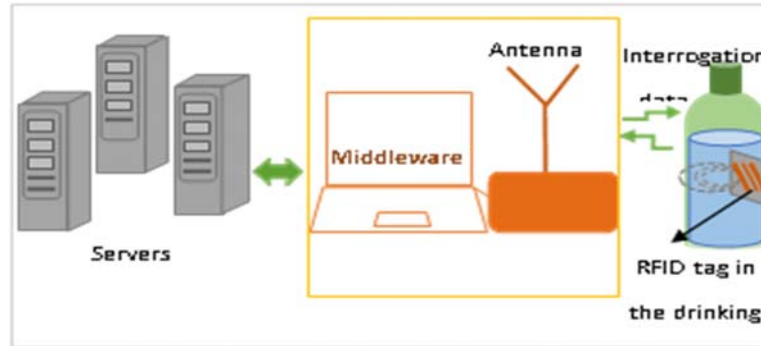


Şekil 4. Tazelik indikatörü [46]

Gıdalarla ilgili farklı tazelik indikatörleri geliştirilmiştir. Örneğin, Esser ve ark. [48], meyvelerin olgunlaşması sırasında salınan CO₂, etilen ve uçucu bileşikler tespit etmek için karbon nanotüpleri kullanan bir sensör geliştirmişlerdir. Lim ve ark. [49] ise, çiğ deniz ürünlerinin bayatladığını ortaya koyan trimetilamini hedefleyerek, söz konusu ürünlerin tazelikliğini analiz etmek için peptit reseptör tabanlı taşınabilir bir biyoelektronik burun geliştirmişlerdir.

IV. RADYO FREKANSI TANIMLAMA (RFID) ETİKETLERİ

RFID sistemlerinin temel işlevi, fiziksel nesnelerin radyo dalgaları aracılığıyla otomatik olarak tanımlanmasıdır. RFID sistemi, büyük veri depolama kapasitesi (üst düzey RFID etiketleri için 1 MB'ye kadar) ile görüş alanı dışındaki nesnelerden gerçek zamanlı ve temassız veri toplama kabiliyeti gibi birçok benzersiz özelliğe sahip olan bir gelişmiş veri taşıyıcısıdır [7]. Bu sistemde (Şekil 5) bir okuyucu, RFID etiketindeki önemli verileri radyo sinyali yardımıyla almaktadır. Okuyucu bu verileri daha sonra bir bilgisayara aktarmaktadır. Böylece kullanıcılar, sıcaklık ve bağıl nem gibi gıdanın mevcut durumu ile ilgili verileri görüntüleyebilmektedirler [50].



Şekil 5. Yaygın RFID sisteminin blok diyagramı [51]

RFID etiketleri, barkodlara kıyasla daha pahalıdır ve daha güçlü bir elektronik bilgi ağına ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak RFID'nin okuma aralığı barkodlara kıyasla daha geniştir. Okuyucular aynı anda birden fazla RFID etiketiyle iletişim kurabilmektedirler. Dolayısıyla depolardan, perakende pazarlara kadar ürünlerin otomasyonu RFID teknolojisi ile kolaylaştırılabilir. RFID sistemi, verileri uzaktan okumak ve yazmak için elektronik ve elektromanyetik sinyaller kullanmaktadır [10].

RFID sistemi bir RFID etiketi, anten, okuyucu ve görüntüleyiciden (PC) oluşmaktadır. RFID etiketleri, pasif ve aktif etiketler olarak sınıflandırılabilir. Aktif etiketler batarya (pil) ile çalışmaktadır. Bu etiketler pasif olanlara göre daha pahalıdır. Aktif etiketlerin okuma frekansları 433 MHz, 2.45 GHz veya 5.8 GHz'dir ve okuma mesafeleri 20-100 metredir. Pasif etiketler ise güç kaynağı olmadan çalışmakta ve 10 metrenin altında okuma yapabilmektedirler [10, 52].

RFID teknolojinin temel teknik sorunu, insan vücudundaki su miktarının fazla olması nedeniyle, müşterilerin yakınında bulunan ultra yüksek frekanslı etiketleri güçlkle okumasıdır [53]. Ayrıca basit RFID sistemleri, yalnızca ürünün tanımlanması, takibi veya izlenebilirliğinin gerekli olduğu gıda dışı ürünlerde oldukça kullanışlı olmasına rağmen, gıda ambalajlarında bu sistemin daha etkili ve verimli kullanılabilmesi için sisteme sensörler entegre edilmelidir. Sensör tabanlı RFID etiketleri, gıda ürünlerinin güvenliği ve kalitesi açısından büyük önem arz eden sıcaklık, nem, gazlar, ışığa maruz kalma, pH ve basınç gibi muhafaza koşulları hakkında bilgi toplayabilmektedirler [47].

TABLO II. Akıllı paketleme örnekleri [47]

Ajan	Fonksiyonu	Çalışma Prensipleri	Firma/Ürün Adı	Gıda Maddeleri
Gaz sensörü	Modifiye atmosferde paketlenen ürünlerdeki hasarı gösterir	Kimyasal, enzimatik, pH boyaları, redoks boyaları	O ₂ Sense™ Ageless Eye® Tell-Tab	Yüksek yağlı gıdalar veya düşük oksijen konsantrasyonu altında paketlenmiş gıdalar
Tazelik indikatörü	Ürünün kullanılabilirliğinin (tazeliğinin) geçtiği zamanı gösterir	Kimyasal, enzimatik	FreshTag®	Deniz ürünleri
Sıcaklık-zaman indikatörü	Taşıma ve depolama sırasında tam veya kısmi sıcaklık profilini yansıtır	Mekanik, kimyasal veya enzimatik	3M MonitorMark™ Timestrip®	Soğutulan ve dondurulan gıdalar
Sensör özellikli RFID etiketi	İzleme ve hırsızlık tespiti	Elektronik	Intelleflex TMT-8500	

V. BARKODLAR

Barkodlama tekniği, ambalajlı ürünlerin dağıtımı ve perakende satışını kolaylaştırmak için 1970'li yıllarda icat edilmiştir. Barkod, ürünlere karakter ve sayı şeklinde yerleştirilmektedir. Barkodlarda saklanan veriler optik barkod tarayıcı tarafından okunmakta ve daha sonra merkezi bir sisteme gönderilmektedir. Basit ve ucuz olmaları nedeniyle günümüzde gıda ambalajlarında barkodlama tekniği çok yaygın kullanılmaktadır. Barkodlar tek boyutlu ve iki boyutlu olmak üzere iki tiptir. Tek boyutlu gıda barkodları genellikle 13 haneli sayıdan oluşmaktadır. İlk üç sayı, barkodun yapıldığı ülkeyi temsil etmektedir [10, 54].



Şekil 6. Bazı yaygın barkod modelleri [10]

İki boyutlu Code 49 adlı barkod (2D barkod) ise, ilk kez 1988’de Intermec Corporation tarafından tanıtılmıştır. 2D barkod, bilgileri hem yatay hem de dikey olarak depolayabilmektedir. Önceki barkodlar 13 karakter depolayabilirken, bu barkodlar 7089 karaktere kadar depolama kapasitesine sahiptirler. QR kod, Aztec kod, Data Matrix, Nex kod gibi birkaç standart 2D barkod vardır. Ancak esas olarak Data Matrix ve QR kod (Şekil 6) kullanılmaktadır [55]. İki boyutlu barkodlar besin değeri, yemek tarifleri gibi ek bilgilerin kodlanmasını sağlayabilmektedir. Ayrıca bu barkodlar aracılığıyla tüketiciler, ürün hakkında daha fazla bilgi edinebilecekleri üreticinin web sitesine erişebilmektedirler [9].

VI. SONUÇ

Gıdaların raf ömrünü artırma çabaları ve kaliteli gıdaya olan yoğun talep akıllı ambalajların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Akıllı ambalajların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. 2015 yılında 10.8 milyar ABD doları olan küresel akıllı ambalaj pazarının, 2024 yılında 26.7 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir [56]. Akıllı ambalaj teknolojileri sayesinde, gıdanın nakliyesi, depolanması ve teşhir edilmesi sırasında maruz kaldığı kimyasal ve mikrobiyolojik değişikliklerin izlenmesi mümkün olabilmektedir. Böylece tedarik zinciri boyunca gıda ürününde oluşabilecek bir olumsuzluk önceden tespit edilebilmekte ve gerekli müdahaleler yapılabilmektedir.

Sensörler, gelecekteki akıllı ambalajlama sistemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için en umut verici teknoloji olarak kabul edilmektedir [10]. Akıllı ambalajların tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılması halinde, yakın bir gelecekte küresel gıda israfının azalacağı tahmin edilmektedir. Bozulan ve tüketilemez hale gelen gıdalar çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu bağlamda, akıllı ambalajların çevre kirliliğine de olumlu katkı yapması beklenmektedir. Öte yandan akıllı ambalajlar, tüketicilere kalite kontrol imkanı sağladığı için gıda zehirlenmeleri ile

alerjik reaksiyonların azalacağı; böylelikle ülkelerin bu yönde yaptığı sağlık harcamalarının da azalacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] WHO (World Health Organization), “Food safety”, Available on: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety> (accessed on 13 May 2021), 2020.
- [2] UN (United Nations), “UNEP Food Waste Index Report 2021”, Available on <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf> (accessed on 16 May 2021), 2021.
- [3] A. Cammarelle, R. Viscecchia, and F. Bimbo, “Intention to Purchase Active and Intelligent Packaging to Reduce Household Food Waste: Evidence from Italian Consumers”, *Sustainability*, vol. 13, 4486, April 2021.
- [4] N. Bhargava, V.S. Sharanagat, R.S. Mor, and K. Kumar, “Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 105, pp. 385-401, November 2020.
- [5] D. Dainelli, N. Gontard, D. Spyropoulos, E. Zondervan-van den Beuken, and P. Tobback, “Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 19, pp. 103-112, November 2008.
- [6] J.K. Heising, M. Dekker, P.V. Bartels (Tiny), and M.A.J.S. Van Boekel, “Monitoring the quality of perishable foods: Opportunities for intelligent packaging”, In *Critical reviews in food science and nutrition*, vol. 54(5), pp. 645-654, February 2013.
- [7] R. Dobrucka, and R. Przekop, “New perspectives in active and intelligent food packaging”, *J Food Process Preserv.*, vol. 43, e14194, September 2019.
- [8] A.U. Alam, P. Rathi, H. Beshai, G.K. Sarabha, and M.J. Deen, “Fruit Quality Monitoring with Smart Packaging”, *Sensors*, vol. 21, 1509, February 2021.
- [9] A.M. Alizadeh, M. Masoomian, M. Shakooie, M. Zabihzadeh Khajavi, and M. Farhoodi, “Trends and applications of intelligent packaging in dairy products: a review”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020.
- [10] M. Soltani Firouz, K. Mohi-Alden, and M. Omid, “A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development”, *Food Research International*, vol. 141, 110113, March 2021.
- [11] A. Dodero, A. Escher, S. Bertucci, M. Castellano, and P. Lova, “Intelligent Packaging for Real-Time Monitoring of Food-Quality: Current and Future Developments”, *Appl. Sci.*, vol. 11, 3532, April 2021.
- [12] E. Balbinot Alfaro, D.V. Craveiro, K.O. Lima, H.L.G. Costa, and D.R. Lopes, C. Prentice, “Intelligent Packaging with pH Indicator Potential”, *Food Engineering Reviews*, vol. 11, pp. 235-244, July 2019.
- [13] J.P. Kerry, M.N. O’Grady, and S.A. Hogan, “Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review”, *Meat Science*, vol. 74, pp. 113-130, September 2006.

- [14] I. Korhonen, and J. Ahola, "Estimating the specific heat capacity and heating of electronic sensors and devices", IEEE Instrumentation and Measurement Magazine, vol. 21, pp. 54-62, February 2018.
- [15] M. Vanderroost, P. Ragaert, F. Devlieghere, and B. De Meulenaer, "Intelligent food packaging: The next generation", Trends in Food Science & Technology, vol. 39, pp. 47-62, September 2014.
- [16] B. Kuswandi, and Jumina, "Active and intelligent packaging, safety, and quality controls", Fresh-Cut Fruits and Vegetables, Elsevier, 2020, pp. 243-294.
- [17] M. Weston, F. Mazur, and R. Chandrawati, "Monitoring of Food Spoilage Using Polydiacetylene- and Liposome-Based Sensors", In Smart Sensors for Environmental and Medical Applications; Wiley, 2020. pp. 81-102.
- [18] S. Sudalaimani, A. Esokkiya, S. Hansda, C. Suresh, P. and Tamilarasan, K. Giribabu, "Colorimetric Sensing of Putrescine and Cadaverine Using Ninhydrin as a Food Spoilage Detection Reagent", Food Anal. Methods, vol. 13, pp. 629-636, October 2019.
- [19] B. Kuswandi, Jayus, A. Restyana, A. Abdullah, L.Y. Heng, and M. Ahmad, "A novel colorimetric food package label for fish spoilage based on polyaniline film", Food Control, vol. 25, pp. 184-189, May 2012.
- [20] M.K. Morsy, K. Zór, N. Kostesha, T.S. Alstrøm, A. Heiskanen, H. El-Tanahi, E. Sharoba, D. Papsovsky, J. Larsen, H. Khalaf, H., Jakobsen, and J. Emnéus, "Development and validation of a colorimetric sensor array for fish spoilage monitoring", Food Control, vol. 60, pp. 346-352, February 2016.
- [21] V. Siracusa, and N. Lotti, "Intelligent packaging to improve shelf life", Food Quality and Shelf Life, Elsevier, 2019, pp. 261-279.
- [22] M. Pereda, N.E. Marcovich, and M.R. Ansorena, "Nanotechnology in Food Packaging Applications: Barrier Materials, Antimicrobial Agents, Sensors, and Safety Assessment", In: Martínez L., Kharissova O., Kharisov B. (eds) Handbook of Ecomaterials. Springer, 2019, pp. 2036-2056.
- [23] K.L. Yam, P.T. Takhistov, and J. Miltz, "Intelligent Packaging: Concepts and Applications", Journal of Food Science, vol. 70, pp. R1-R10, 2005.
- [24] A.W. Hempel, M.G. O'Sullivan, D.B. Papkovsky, and J.P. Kerry, "Use of smart packaging technologies for monitoring and extending the shelf-life quality of modified atmosphere packaged (MAP) bread: application of intelligent oxygen sensors and active ethanol emitters", Eur Food Res Technol, vol. 237, pp. 117-124, April 2013.
- [25] U.L. Opara, O.J. Caleb, and Z.A. Belay, "Modified atmosphere packaging for food preservation", Food Quality and Shelf Life, Elsevier, 2019, pp. 235-259.
- [26] R. Zhu, M. Desroches, B. Yoon, and T.M. Swager, "Wireless oxygen sensors enabled by Fe(II)-polymer wrapped carbon nanotubes", ACS Sens., vol. 2, pp. 1044-1050, June 2017.
- [27] C. Kelly, D. Yusufu, I. Okkelman, S. Banerjee, J.P. Kerry, A. Mills, and D.B. Papkovsky, "Extruded phosphorescence based oxygen sensors for large-scale packaging applications", Sens. Actuators B Chem., vol. 304, 127357, October 2019.
- [28] C. Von Bültzingslöwen, A.K. McEvoy, C. McDonagh, B.D. MacCraith, I. Klimant, C. Krause, and O.S. Wolfbeis, "Sol-gel based optical carbon dioxide sensor employing dual

- luminophore referencing for application in food packaging technology”, *The Analyst*, vol. 127, pp. 1478-1483, October 2002.
- [29] A. Nopwinyuwong, S. Trevanich, and P. Suppakul, “Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage”, *Talanta*, vol. 81, pp. 1126-1132, February 2010.
- [30] F. Saliu, and R. Della Pergola, “Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and poly-lysine mixtures”, *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 258, pp. 1117-1124, December 2017.
- [31] B. Chocarro-Ruiz, J. Pérez-Carvajal, C. Avci, O. Calvo-Lozano, M.I. Alonso, D. Maspoch, and L.M. Lechuga, “A CO₂ optical sensor based on self-assembled metal-organic framework nanoparticles”, *J. Mater. Chem. A*, vol. 6, pp. 13171-13177, June 2018.
- [32] J.S. Lyu, I. Choi, K.S. Hwang, J.Y. Lee, J. Seo, S.Y. Kim, and J. Han, “Development of a BTB /TBA⁺ ion-paired dye-based CO₂ indicator and its application in a multilayered intelligent packaging system”, *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 282, pp. 359-365, November 2019.
- [33] C.L. Hsu, I.L. Su, and T.J. Hsueh, “Tunable schottky contact humidity sensor based on S-doped ZnO nanowires on flexible pet substrate with piezotronic effect”, *J. Alloys Compd.*, vol. 705, pp. 722-733, February 2017.
- [34] Y. Wang, X.J. Zhao, Z.M. Feng, G.Y. Lu, T. Sun, and Y. Xu, “Crystalline-phase-induced formation of fibre-intube TiO₂-SnO₂ fibres for a humidity sensor”, *CrystEngComm*, vol. 19, pp. 5528-5531, January 2017.
- [35] C. Sharma, R. Dhiman, N. Rokana, and H. Panwar, “Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging”, *Front. Microbiol.*, vol. 8, 1735, September 2017.
- [36] R.S. Nair, E. Perret, S. Tedjini, and T. Baron, “A group-delay-based chipless RFID humidity tag sensor using silicon nanowires”, *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 729-732, June 2013.
- [37] F. Bibi, C. Guillaume, A. Vena, N. Gontard, and Sorli B., “Wheat gluten, a bio- polymer layer to monitor relative humidity in food packaging: Electric and dielectric characterization”, *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 247, pp. 355-367, June 2016.
- [38] G. Fuertes, I. Soto, M. Vargas, A. Valencia, J. Sabattin, and R. Carrasco, “Nanosensors for a monitoring system in intelligent and active packaging”, *Journal of Sensors*, 7980476, December 2015.
- [39] F. Perreault, A. Fonseca de Faria, and M. Elimelech, “Environmental applications of graphene-based nanomaterials”, *Chemical Society Reviews*, vol 44, pp.5861-5896, January 2015.
- [40] A.K. Sundramoorthy, T.H. Vignesh Kumar, and S. Gunasekaran, “Graphene-Based Nanosensors and Smart Food Packaging Systems for Food Safety and Quality Monitoring”, *Graphene Bioelectronics*, Elsevier, 2018, pp. 267-306.
- [41] C. Chellaram, G. Murugaboopathi, A.A. John, R. Rivakumar, S. Ganesan, S. Krithika, and Priya G., “Significance of nanotechnology in food industry”, *APCBEE Procedia*, vol.8, pp.109-113, 2014.

- [42] D. Wu, S. Hou, J. Chen, Y. Sun, X. Ye, D. Liu, R. Meng, and Y. Wang, "Development and characterization of an enzymatic time-temperature indicator (TTI) based on *Aspergillus niger* lipase", *LWT-Food Science and Technology*, vol 60, pp.1100-1104, March 2015.
- [43] J.W.W. Han, L. Ruiz-Garcia, J.P.P. Qian, and X.T.T. Yang, "Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends", *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 17, pp. 860-877, May 2018.
- [44] B. Kuswandi, Y. Wicaksono, A. Jayus Abdullah, L.Y. Heng, and M. Ahmad, "Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety", *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, vol 5, pp.137-146, November 2011.
- [45] P. Müller, and M Schmid, "Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview", *Foods*, vol. 8, 16, January 2019.
- [46] S. Gimenez, "Intelligent packaging, packaging which communicates", Available on <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/30555-Envases-inteligentes-envase-s-que-comunican.html/> (accessed on 20 May 2021), 2009.
- [47] R. Sharma, and G. Ghoshal, "Emerging trends in food packaging", *Nutrition & Food Science*, vol. 48, pp. 764-779, April 2018.
- [48] B. Esser, J.M. Schnorr, and T.M. Swager, "Selective detection of ethylene gas using carbon nanotube-based devices: utility in determination of fruit ripeness", *Angewandte Chemie*, vol. 51, pp. 5752-5756, April 2012.
- [49] J.H. Lim, J. Park, J.H. Ahn, H.J. Jin, S. Hong, and T.H. Park, "A peptide receptor-based bioelectronic nose for the real-time determination of seafood quality", *Biosens. Bioelectron.*, vol. 39, pp. 244-249, January 2013.
- [50] M. Ghaani, C.A. Cozzolino, G. Castelli, and S. Farris, "An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 51, pp. 1-11, May 2016.
- [51] P. Fathi, C.K. Nemai, M. Bhattacharya, and S. Bhattacharya, "Potential Chipless RFID Sensors for Food Packaging Applications: A Review", *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, pp. 9618-9636, May 2020.
- [52] Z. Fang, Y. Zhao, R.D. Warner, and S.K. Johnson, "Active and intelligent packaging in meat industry", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 61, pp. 60-71, March 2017.
- [53] C.M. Roberts, "Radio frequency identification (RFID)", *Computers & Security*, vol. 25, pp.18-26, February 2006.
- [54] S. Kalpana, S.R. Priyadarshini, M. Maria Leena, J.A. Moses, and C. Anandharamakrishnan, "Intelligent Packaging: Trends and Applications in Food Systems", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 93, pp. 145-157, November 2019.
- [55] D. Gregor-Svetec, "Intelligent Packaging", In book: *Nanomaterials for Food Packaging*, Elsevier, 2018, pp. 203-247.
- [56] M. Jovic, "Welcome to the Future: Smart Packaging—PreScouter—Custom Intelligence from a Global Network of Experts", Available on <https://www.prescouter.com/2017/03/smart-packaging/> (accessed on 16 May 2021), 2017.

EFFECT OF DISTRIBUTION SELECTION TO FREQUENCY ANALYSES: A CASE STUDY

Sertaç Oruc

sertac.oruc@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2906-0771
Department of Civil Engineering, Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey

ABSTRACT

This study investigated the distributions that fit each of the annual maximum precipitation time series of 5-10-15-30 minutes and 1-2-3-4-5-6-8-12-18-24 hours data of Ankara from 1950 to 2015. The analysis of best fit PDF was carried out by χ^2 and Kolmogorov-Smirnov tests for annual maximum rainfall data among 27 distributions. For the goodness of fit tests, a statistical analyses software called Hydrognomon was used. GEV-Max (L-Moments) distribution was selected for 8 times, which is the 25% of the total selection. While, Log Pearson III was selected for 6 times, GEV-Min (L-moments) was selected 4 times, GEV-Max (kappa specified, L-Moments) and EV2-Max (L-Moments) were selected 3 times. From the result GEV-Max (L-Moments) and Log Pearson III distributions are the best fit. When χ^2 and Kolmogorov-Smirnov tests used separately, GEV-Max (L-Moments) distribution was selected for 3 times, Log Pearson III was selected for 3 times, GEV-Min (L-moments) was selected 2 times, and EV2-Max (L-Moments) were selected 2 times based on χ^2 and GEV-Max (L-Moments) distribution was selected for 5 times, Log Pearson III was selected for 3 times, GEV-Min (L-moments) was selected 2 times, GEV-Max (kappa specified, L-Moments) were selected 2 times based on Kolmogorov-Smirnov tests. On the other hand, none of the subhourly time series fitted to the GEV-Max (L-Moments) which is ranked first as the best fit distribution. The obtained return level results for 100-year return period of the time series are 14.69mm, 22.80mm, 29.15mm, 44.83mm, 60.62mm, 66.92mm, 67.63mm, 68.08mm, 69.08mm, 70.53mm, 72.78mm, 76.02mm, 85.28mm, 89.29mm for best fit GEV-Max (L-Moments) distribution. However, when the second-best fit distribution Log Pearson III is used, the obtained return level values of 100-year return period were calculated as 19.42mm, 24.24mm, 29.33mm, 44.26mm, 59.07mm, 64.71mm, 65.42mm, 66.31mm, 67.11mm, 67.85mm, 68.58mm, 70.80mm, 77.89mm, 83.25mm for the 5-10-15-30 minutes and 1-2-3-4-5-6-8-12-18-24 hour time series. Considering the subhourly time series GEV-Max (L-Moments) distribution has smaller values compared to Log Pearson III while hourly results show higher values.

This study identified the best fitted distribution for observed annual maximum precipitation time series of Ankara Station, and showed that distributions that describe the data best must be evaluated in detail and individually when standard duration annual maximum time series is subject of interest to avoid the uncertainty that is caused by the distribution selection for the frequency analyses.

Keywords—*Distribution; Frequency; Annual Maximum; Precipitation*

A Novel Approach to Develop High Performance Recycled Poly (Butylene Terephthalate): Chain Extension Of Recycled Poly (Butylene Terephthalate)

Başak TUNA

basaktuna@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0366-8842

Department of Metallurgical and Materials Engineering, Kirsehir Ahi Evran University, Kirsehir, Turkey

ABSTRACT

Today, recycling of plastic wastes has been an important task for the sustainable development of the earth. Increasing population rate and higher demand in disposable plastic goods have become a threat to the environment that cause solid wastes, depletion of natural resources, greenhouse gas emissions. On the other hand, the economic impact of recycling is one of main aspects to be considered, the recycling provides new employment opportunities, decreases raw material costs in the production processes and enables to lower solid waste disposal costs. Chemical and mechanical recycling are two main methods that have been used in the plastic recycling technology recently. Chemical recycling includes several chemical processes such as pyrolysis, depolymerization, catalytic cracking and gasification. With these processes, plastic wastes are converted into their smaller molecules like monomers, oligomers, or hydrocarbons to be used in the production of new plastic materials. On the contrary, mechanical recycling does not change the chemical structure of the plastic wastes while being recovered, the plastics are treated with physical processes like separating, shredding, washing, drying, and compounding. Compared to chemical recycling, mechanical recycling presents a more economical and environmental way to recover plastic wastes. In practice, however, multiple processing cycles in the mechanical recycling lead to thermomechanical degradation that results in deterioration of molecular weight and thus lower properties (mechanical, thermal, and rheological). To build back the molecular weight of polymers, solid state polymerization is one of the most used techniques dating back to the 1930s, however the long polymerization time and expensive equipment requirements have enforced researchers to develop alternative methods. Herein, processing of recycled polymers with chemical compounds called chain extenders can be suggested to be an efficient method in which the functional groups of chain extender react with the chain ends of thermally degraded polymer in the conventional extrusion process.

Poly (butylene terephthalate) (PBT) is an engineering thermoplastic that widely used in automotive, electrical-electronics and textile industries. Due to its growing demand by consumers, development of an economical and attractive PBT recycling technology has become more important. In this context, chain extenders can be used during compounding of recycled

PBT therefore split polymer chains are relinked, resulting a polymer with higher molecular weight and repaired properties. Although chain extension method has been successfully applied to recycled poly (ethylene terephthalate) (PET), poly (lactic acid) (PLA) and polyamide-6 (PA-6), no study has been conducted to recycled PBT. Therefore, in this research, two different commercial chain extenders (a multi-anhydride functional chain extender and a multi-epoxy functional chain extender) were used to build back molecular weight of recycled PBT during melt-compounding by a twin-screw extruder. The intrinsic viscosity measurements showed that the epoxy functionalized chain extender had a profound effect to restore molecular weight of recycled PBT, whereas the anhydride functionalized chain extender showed a slight enhancement. The rheological and mechanical test results supported molecular weight increment with higher modulus and viscosity of epoxy functionalized chain extended samples. Thermogravimetric analysis of the samples further confirmed the superior effect of epoxy functionalized chain extender to offset thermomechanical degradation of recycled PBT. The overall results showed that the technology developed in this research would be a pioneer of PBT recycling industry.

Keywords—*Recycling; Extrusion; Thermomechanical degradation; Poly(butylene terephthalate); Chain extenders*

Performance Evaluation of Recent Excavatability Classifications Based on the GSI Parameter

Gülseren Dağdelenler

gulsrn@hacettepe.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9409-8285
Hacettepe University, Geological Engineering Department, Ankara, Turkey

ABSTRACT

Equipment selection within both underground and open pit projects should consider strength and excavation characteristics of ore and side rocks. Choosing the best suited excavatability method to be used in engineering excavations is one of the most important issues that many disciplines are interested in. Some excavatability methods and/or classifications have been developed to determine the field based suitability of the main excavation methods (digging, scraping, ripping, blasting) and many researchers have compared their performances. Within the scope of this study, first of all, a literature summary was conducted on the existing excavatability classifications and the parameters used in the classifications. Three recent excavatability classifications (Hoek and Karzulovic (2000), Tsiambaos and Saroglou (2010) and Dagdelenler et al. (2020)) in the literature were selected in this study for comparison of their performance evaluations. Geological Strength Index (GSI), which has been a frequently used parameter for empirically predicting the strength of jointed rock masses, was performed as an input parameter in three excavatability classifications for defining quality of rock masses.

In this study, a total of 73 data were used from surface excavations held in Greece and Turkey. Within the data, 61 of them were from the study of Tsiambaos and Saroglou (2010) and 12 of them from Dagdelenler et al. (2020) data. The optimum value of Excavation Power Index (EPI) parameter in the flexible EXCASS system developed by Dagdelenler et al. (2020) was taken into consideration for the possible performance evaluations with the GSI-based excavatability classifications by Hoek and Karzulovic (2000) and Tsiambaos and Saroglou (2010). In the study, Hoek and Karzulovic (2000) GSI-based classification chart was also slightly modified by considering the optimum EPI value proposed by Dagdelenler et al. (2020). As a result of the performance evaluation, it was found that each excavatability classification has high overall prediction performance indicating that the GSI parameter is a powerful parameter in excavation assessments of rock masses.

Keywords— *Excavatability method; Classification; GSI; Prediction performance; Optimum EPI*

Determination of Suitable Biological Treatment Method for the City of Bartın

Nesli Aydın

naydin@nku.edu.tr, ORCID NO: 0000-0002-7561-4280

Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Tekirdag, Turkey

ABSTRACT

Recently, municipal authorities have started to concentrate heavily on environmental issues as part of the move towards achieving recycling targets and re-directing waste from landfills. In this context, three issues in waste management have gained importance; source separation of the organic material, treating the organic fraction biologically in a central facility, and producing a marketable final material. This study outlines the possible treatment options for the separate collection of organic materials from households in the city of Bartın by taking into account the national and international legislation. It was estimated that the total amount of waste consists of 16,249 tonnes of dry-recyclables; 16,491 tonnes of residual waste; and 15,524 tonnes of organics annually, along with an estimated 55% loss by weight of the total input material, due to moisture loss and natural degradation processes. The five methods, such as windrow composting, aerated static pile composting, in-vessel composting, anaerobic digestion and mechanical-biological treatment were compared for processing the biodegradable fraction of the household waste collected through the proposed source segregated system in the city. It was found that the most viable option for the collection and treatment should include; (1) the separate collection of garden and kitchen waste from the recyclable and residual fractions, and (2) the processing of organic waste by using an in-vessel composting to produce high-quality compost output for onward sale. It was also found that an in-vessel composting is a costly method; however, it provides the most effective system which is capable of achieving compliance with international requirements for compost quality.

Keywords— *In-Vessel Composting, International Legislation, Organic Materials, Source Separation, Waste Management*

Blood Products Supply Chain Design: A Case Study

Elifcan Göçmen

elifcangocmen@munzur.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0316-281X
Department of Industrial Engineering, Munzur University, Tunceli, Turkey

ABSTRACT

Blood products play a critical role in the provision of medical care. Health policy makers and planners should put the blood products supply chain design at the center of their business models. In this context, the aim of this study is to design a blood supply chain (BSC) design, focusing on prioritized parameters that have a considerable impact on the BSC design. This present study has three specific objectives: i) determination of priorities for each blood supply chain parameters, ii) to provide a mathematical model to obtain the optimal routes and inventory levels, iii) to illustrate the utilization of the methods for a real case study. A two-phase approach is proposed. In the first stage, assignment of the important parameters, each of which is a potential input for the model, is carried out using the Hesitant Fuzzy Analytical Hierarchy Process (HF-AHP). During the second stage, BSC problem is solved using a mixed integer programming approach by incorporating prioritized parameters. The proposed model provides the vehicle routes and inventory decisions, aiming to minimize the total cost including routing and inventory costs. Computational results demonstrate that demand, vehicle capacity, maximum inventory levels, distances have the highest ranking while location of hospitals, time windows, vehicle speed, unloading time, fuel consumption are of lowest rating among all nine parameters. In addition, total cost is decreased about %10 ensuring optimal number of vehicles, delivery routes and inventory policies. The sensitivity analysis on input parameters is conducted, in which objective function is mostly sensitive to the inventory and transportation costs, and the routing length is negligible. Practicality of solution approaches is computationally evaluated through real-world data. The method can provide practical and theoretical insights for blood products distribution and storage decisions.

Keywords—Blood Supply Chain; Mathematical Model; Blood Planning; HF-AHP

Keban-Batı Fırat (Cu-Mo)-Pb-Zn Skarn Yatağının Nadir Toprak Elementleri Jeokimyası (D Türkiye): Mineralizasyon Koşullarının Tayininde Nadir Toprak Elementlerinin İndikatör Olarak Kullanımı

Esra Yıldırım^{*1}, Nail Yıldırım², Cahit Dönmez²

^{*}: eozyildirim@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0823-988X

¹: Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

²: Maden Etüt ve Arama Dairesi, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Keban-Batı Fırat (Cu-Mo)-Pb-Zn skarn yatağı, Doğu Toros orojenik kuşağındaki Permo-Tiryas/Permo-Karbonifer yaşlı metaklast/karbonatlı kayalara sokulum yapan Geç Kretase plutonu ile ilişkilidir. Polimetallik özellikteki bu skarn yatağı; ana kayaç, plutonik kayaç, endoskarn, egzoskarn ve cevher skarından oluşur. Plutonik kayalar siyenitik bileşimli, yüksek Al_2O_3 , Na_2O+K_2O , Zr, Nb, Ta, Th, Rb ve Nadir Toprak Element (REE) içerikleri ile levha-içi (A-Tipi) ve geç orojenik granitoidlerle benzerlik sunmaktadır. Bu tip kayalar yüksek Rb, V ve düşük Sc içerikleri Cu-Zn-W-Mo-tip skarn oluşumlarından sorumludur. Skarn ünitesinde genel olarak hafif nadir toprak elementleri (LREE), ağır nadir toprak elementleri (HREE)'nden daha yüksek konantrasyonlara sahiptir. LREE ve HREE'in dağılımlarına göre, cevher zonu, siyenit porfir, endoskarn ve egzoskarn'a kıyasla belirgin bir tükenme göstermektedir. Skarn zonu en belirgin zenginleşmiş-REE dağılımı sunarken, cevher zonu ana kayadan sonraki maksimum tüketilme dağılımını sergiler. Cevher zonundaki yüksek La/Yb_(n), La/Sm_(n) ve Gd/Yb_(n) oranları REE'nin yüksek fraksiyonlanmasını işaret eder. Skarn lito-ünitesinde La/Y oranları 0.9 ile 26.4 arasındadır ve cevher zonu en yüksek orana (ort. 13.35) sahiptir. La/Y oranları; plutonik kaya ve skarn zonunda nötre yakın alkali koşulların, cevher zonu ve ana kayada ise alkali koşulların baskın olduğunu yansıtmaktadır. Endoskarn zonu, metaalumino-siyenit porfire göre REE zenginleşmesi (özellikle Eu ve Ce) sergiler, bu skarn oluşumu sırasında siyenitoidlerden türetilmiş magmatik suyun bu yatak için baskın bir sıvı kaynağı olduğunu işaret eder. Aksine, kireçtaşları metaalumino kayalara göre çok düşük REE içeriklerine sahiptir. Kalsik (granat-piroksen) egzoskarnlarında ki REE konsantrasyonları hidrotermal akışkanların magmatik orijinli olduğunu gösteren REE özelliklerine (ΣREE , Eu/Eu*, Ce/Ce* ve Pr/Yb_(n) değerlerinin artışı) sahiptir. Cevher zonunun REE jeokimyası, Keban-Batı Fırat yatağından sorumlu hidrotermal akışkanların magmatik su orijinli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler—(Cu-Mo)-Pb-Zn skarn yatağı; REE jeokimyası; Magmatik su; Keban; Türkiye

Rare Earth Element Geochemistry And Genesis Of Keban West Euphrates (Cu-Mo)-Pb-Zn Skarn Deposit (E Turkey): Rare Earth Elements As An Indicator For Defining Mineralization Conditions

Esra Yildirim^{*1}, Nail Yildirim², Cahit Dönmez²

^{*}: eozyildirim@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0823-988X

¹: Geological Engineering Department, Firat University, Elazığ, Turkey

²: Department of Mineral Research and Exploration, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey

ABSTRACT

The Keban-West Euphrates (Cu-Mo)-Pb-Zn skarn deposit is observed along the Late Cretaceous plutonic rocks and Permo-Triassic/Permo-Carboniferous metamorphics in the Eastern Taurus Orogenic Belt. This polymetallic skarn deposit comprise the host rocks, plutonic rocks, endoskarn, exoskarn, and ore skarn. These plutonic rocks are syenitic in composition with high contents of Al₂O₃, Na₂O+K₂O, Zr, Nb, Ta, Th, Rb, and rare earth elements (REEs). Because of this, they are similar with within-plate (A-type) and late orogenic granitoids. The high Rb, V, and low Sc content of these rocks are like those of the granitoids associated with Cu-Zn-W-Mo skarns. The skarn units show higher concentrations of light REEs compared with heavy REEs. The ore zone displays a clear depletion in contrast with syenite porphyry, endoskarn, and exoskarn according to LREEs, and HREEs patterns. The skarn zone samples display the most prominent REE-enriched pattern, and the depletion pattern in the ore zone is only subordinate to that of the host rock. The high La/Yb_(n), La/Sm_(n), and Gd/Yb_(n) ratios of the ore zone indicate the high fractionation of REE. The La/Y ratios of the skarn litho-unit vary from 0.9 to 26.4 with the highest ratios in the ore zone (average=13.35). La/Y ratios of the plutonic rocks and skarn zones reflect near-neutral to alkali conditions, whereas the ore zone and host rock ratios are characteristic of alkali conditions. The endoskarn zone shows high contents of REE (especially Eu and Ce) compared with the metaluminous syenite porphyry, indicating a derivation of the magmatic fluids for skarnisation from the alkali syenitic magma. Conversely, the limestones show lower REE concentrations relative to the metaluminous rocks. The REE concentrations in calcic exoskarns (garnet–pyroxene) display REE features (increase of \sum REE, Eu/Eu*, Ce/Ce* and Pr/Yb_(n) values) of magmatic hydrothermal fluids. The REE geochemistry of the ore zone indicates that the hydrothermal fluids responsible for the Keban deposit are dominantly of magmatic origin.

Key words: (Cu-Mo)-Pb-Zn skarn deposits, REE geochemistry, Magmatic water, Keban, Turkey

Synthesis, Characterization And Electrochemical Properties Of Poly (Phenoxy-Imine) Containing Naphthalene Unit

Hakan Söyüt ^{*,1}, Burçin Akyüz ², İsmet Kaya ²

*: hakansoyut@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0361-7458

¹: Department of Primary Education, Bursa Uludağ University, Bursa, Turkey

²: Department of Chemistry, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

ABSTRACT

Polymers are macro-molecules formed by the polymerization of numerous small-moleculated monomers with covalent bonds. The fact that there is a strong attractive force among the polymer molecules shows that their melting and boiling points are higher than those of monomers. This quality makes them durable, hard and resistant. Polymers are light, cheap, easy-to-shape, practical, chemically inert and corrosion resistant substances. Schiff base polymers (or polyimine) is a conjugate polymer group. Due to their high thermal stability, conjugated polymers(CPs) are widely used in the production of electronic equipment such as accumulators, solar cells, rechargeable cells, conductive coating, photo-receptors, ion exchangers, photo-diodes, sensors, electrochromic devices, and light emitting diodes. That's why the synthesis of new conjugated polymers is essential in technological applications.

In this study, the Schiff base compound obtained through the condensation reaction of 7-amino-4-hydroxy-2-naphthalene sulphonic acid and 4-hydroxy benzaldehyde was synthesized and the substance obtained was transformed into a polymer in an alkali medium with the addition of H₂O₂ as an oxidant. In addition, a poly-naphtol derivative was obtained in an alkali medium from 7-amino-4-hydroxy-2- naphthalene sulphonic acid with H₂O₂ used as the oxidant. After that, the structures of the synthesized compounds were illuminated with UV-Vis, NMR and FT-IR methods. The surface morphology of the polymers were examined with SEM analysis. The thermal characteristics of the substances obtained were found with DSC and TG-DTA measurements. The Mw, Mn, MZ, MP and PDI values of the polymers were calculated with Gel Permeation Chromatography (GPC). Electrochemical, optical and florescence characteristics of the synthesized compounds were illuminated with UV-Vis, CV and Florescence (PL) measurements respectively.

Keywords— Poly(phenoxy-imine)s; Schiff base; Electrochemical properties; Thermal degradation; Surface morphologies

Gama Işınım Şiddet Fonksiyonlarının (g,n) Reaksiyonlarının Tesir Kesitleri Üzerindeki Rolü

Deniz Canbula^{*,1}, Bora Canbula²

*: deniz.canbula@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0283-2698

¹: Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Programı, Manisa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

²: Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

ÖZET

Gama ışıının şiddet fonksiyonları, nükleer reaksiyonlarda gama yayınlama kanalının tanımlanması için büyük öneme sahiptirler. Bu gama kanalı oldukça kapsamlı bir reaksiyon kanalıdır. Çünkü, gama ışınları genel olarak yayılan herhangi bir parçacığın yayınlanmasına eşlik edebilir. Bunun yanı sıra, gama ışıının şiddet fonksiyonları uyarılmış çekirdeklerin ortalama elektromanyetik özelliklerini karakterize eder. Nükleer yapı için temel öneminin yanında, gama ışıının şiddet fonksiyonları, uygulamalı nükleer reaksiyon model hesaplamaları için vazgeçilemez bir araçtır ve nükleer reaksiyonların tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan önemli girdilerden bir tanesidir. Ek olarak, reaksiyon tesir kesiti değerlerini istatistiksel teoriden hesaplamak için kullanılan girdilerden bir tanesidir.

Bu çalışmada, selenyum izotoplarının (g,n) reaksiyonlarının tesir kesiti değerleri farklı gama ışıının şiddet fonksiyonları kullanılarak (Kopcký-Uhl, Brink-Axel, Hartree-Fock BCS, Hartree-Fock-Bogolyubov, Gorielys Hybrid) hesaplanmıştır. Selenyum izotopları, radyoizotop üretiminde öncü olarak kullanılır, ancak hem sınırlı kullanılabilirlik hemde yüksek maliyetleri sorun teşkil edebilmektedir. Buna rağmen, son yıllarda selenyum izotopları üzerine yapılan yoğun çalışmalar nedeniyle, bu izotopların güvenilir ve karşılaştırılabilir ölçüm ve hesaplama sonuçlarına olan ihtiyaç artmıştır. Hesaplamalarda, Talys 1.95 bilgisayar kodu kullanılmıştır. Talys 1.95, nükleer reaksiyonların analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar programıdır. Talys 1.95 bilgisayar programı ile hafif parçacıkların (nötron, proton, döteron, triton, alfa gibi) bombardımanı sonucu oluşan nükleer reaksiyonlar 1 KeV-1 GeV enerji aralığında simüle edilebilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen teorik sonuçlar Uluslararası deneysel veri tabanından (Exfor) alınan deneysel veriler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışma ile, (g,n) reaksiyonlarının tesir kesiti hesaplamalarında özellikle 20-30 MeV altındaki dev dipol rezonansın baskın olduğu enerjilerde gerçekleşen reaksiyonlarda hangi gama ışıının şiddet fonksiyonunun deneysel verileri tekrar elde etmede daha başarılı olduğu olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler—Gama ışıının şiddet fonksiyonları; Tesir kesiti; Talys 1.95; (g,n) reaksiyonları

The Role Of The Gamma Ray Strength Functions On (g,n) Reactions Cross Sections

Deniz Canbula^{*,1}, Bora Canbula²

*: deniz.canbula@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0283-2698

¹: Department of Alternative Energy Resources Technology, Manisa Technical Sciences Vocational School, Manisa
Celal Bayar University, Manisa, Turkey

²: Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Manisa Celal Bayar University, Manisa, Turkey

ABSTRACT

Gamma ray strength functions have great importance for defining the gamma emission channel in nuclear reactions. This gamma channel is a very comprehensive reaction channel. Because, gamma rays can generally accompany to emission of any emitted particles. And also, gamma ray strength functions characterize the average electromagnetic properties of excited nuclei. Besides of its fundamental importance for nuclear structure, gamma ray strength functions are an indispensable tool for applied nuclear reaction model calculations and one of the important input used in cross section calculations of nuclear reactions. In addition, it is one of the input used to calculate the reaction cross section values from statistical theory.

In this study, cross section values of (g,n) reactions of selenium isotopes are calculated using different gamma ray strength functions (Kopeck-Uhl, Brink-Axel, Hartree-Fock BCS, Hartree-Fock-Bogolyubov, Gorielys Hybrid). Selenium isotopes are used as precursors in radioisotope production, but both its limited availability and high costs can be a problem. However, due to intensive studies on selenium isotopes in recent years, the need for reliable and comparable measurement and calculation results of these isotopes has increased. Talys 1.95 computer code is used in the calculations. Talys 1.95 is a computer program which is widely used to analyze the nuclear reactions. With Talys 1.95, nuclear reactions can be simulated with bombarding of light particles (neutron, proton, deuteron, alpha etc.) in the energy range from 1 keV to 1 GeV. The obtained theoretical results are evaluated by comparing with the experimental data obtained from International experimental database (Exfor).

With this study, it is presented that which gamma ray strength functions are more successful to reproduce the experimental data, especially at energies 20-30 MeV where the giant dipole resonance is dominant in the cross section calculations of (g,n) reactions.

Anahtar Kelimeler—Gamma ray strength functions; Cross section; Talys 1.95; (g,n) reactions

Investigation of Electrical Conductivity and Flexural Strength of Different Graphene Oxide Additive Mortars

İsmail Hocaoglu^{*,1}

^{*}: ihocaoglu@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9294-1120

¹: Afyon Kocatepe University, Bolvadin Vocational School, Civil Department, Afyonkarahisar, Turkey

ABSTRACT

As a result of technological development, new generation materials are needed in cement-based building materials. Graphene oxide (GO) is the product of exfoliation of graphite using chemical processes. Because GO has a high aspect ratio, it can be dispersed very well in cement-based materials. As a result of this situation, the use of GO in cement-based materials enables the material's mechanical properties to be improved. In this study, the electrical conductivity properties of mortars containing GO in different amounts (0 %, 0.025 %, 0.050 %, and 0.075 %) by weight instead of cement were investigated. Cement-based mortars are designed with 300 dosages (300 kg cement in 1 m³ mortar) and water/cement ratios of 1.00. Mortars were produced by using electrically insulated wooden molds of 4cm x 4cm x 16cm dimensions. 25 V stress intensity was applied on the mortars to which containing GO in different ratios through the DC power supply. The current passing through the mortars was measured every minute with the help of an ammeter for 24 hours, and the data was recorded on the computer. After the mortars were removed from the molds, they were cured in water saturated with lime for 28 days, and a flexural strength test was applied. It was observed that as the GO ratio in the mortar increased (from 0 to 0.075 %), the current passage of the mortar increased. This means that the mortars are set in less time. When the 28-day flexural strength of the mortars was compared, the mixture containing 0.025 % GO got the highest flexural strength value. As a result, mechanical strength can be increased by both, adding low amounts of GO in admixture and DC current application in cement-based materials.

Keywords—Graphene oxide; Mortar; Electrical conductivity; Flexural strength

Toughening Method of Glass Fiber Reinforced Thermoset Matrix Composite Materials: Thermoplastic Addition

Mehmet Safa Bodur

mehmet.bodur@yeditepe.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5976-0256

Materials Science and Nanotechnology Engineering, Yeditepe University, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Low toughness values are shown as one of the constraints in the use of glass fiber reinforced thermoset matrix composite (GFRP) materials, which are frequently preferred in many different sectors such as automotive, military and aviation. This is because the glass fiber, which is preferred as the reinforcing element, and the thermoset polymers preferred as the matrix component, are very brittle and fragile. Fracture is unavoidable due to rapid crack propagation in sudden loads such as impact loads due to their low toughness. Researchers on the subject have brought different approaches in the literature. Supporting such brittle structures with thermoplastic polymer with high impact resistance values is one of these approaches. In the study, thermoplastic particles were used to improve the toughness values of glass fiber reinforced thermoset matrix composite materials. For this purpose, low density polyethylene (LDPE) particles in different proportions (5% and 10% by weight) were homogeneously mixed and dispersed throughout the structure. Vacuum infusion technique has been used as a composite production technique. While knitted glass fiber with + 45 / -45 knitting angle is preferred as reinforcement element, epoxy resin is used as matrix element. Tensile and impact tests were conducted to examine the effects of low density polyethylene on the toughness values of the composite material. In this study, which can be considered as a pioneering work in terms of toughening processes of glass fiber reinforced thermoset matrix composites, it was observed that the low density polyethylene added 10% by weight to increase the strain values of 3% to the level of 8%, and the breaking energy of around 7 J to the level of 25 J.

Keywords— *Glass Fiber Reinforced Composites; Toughening Techniques; Mechanical Tests*

Bulanık Mantık Denetleyici ile Maksimum Güç Noktası Takibinin Gerçekleştirilmesi

Cem Morkoç^{*1}, Uğur Yüzgeç²

^{*}cem.morkoc@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1688-5259

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D., Bilecik, Türkiye

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye

ÖZET

Her geçen gün artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için, sera gazı salınımı, kirlilik gibi çevreye oldukça zararlı etkileri bulunan fosil kaynaklı yakıtlar yerine, bu etkileri en aza indireceği düşünülen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) tercih edilmesi büyük önem arz etmektedir. En önemli ve sürdürülebilir YEK'lerden biri olarak güneşin sonsuz enerjisinden yararlanmak üzere fotovoltaiik (*Photovoltaic*: PV) paneller yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat Güneş'ten Dünya'ya oldukça uzun bir yol kat ederek ulaşan bu enerji atmosferik olaylara bağlı olarak gün içerisinde sıklıkla değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, PV panellerden elde edilen enerjinin sürekli olarak izlenmesi ve azami verim elde edilmeye çalışılması büyük önem arz etmektedir. Bu amaç doğrultusunda, Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT, *Maximum Power Point Tracking*: MPPT) yapan uygulamalar, PV panellerden sürekli olarak maksimum güç elde edilmesini sağlayarak verimliliği büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu uygulamalar incelendiğinde, daha kolay anlaşılır ve uygulanabilir olması gibi nedenlerle klasik denetleyiciler (PI ve PID gibi) kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Fakat basit bir yapıya sahip olan bu denetleyiciler için denetleç parametrelerinin deneme yanılma yolu ile belirleniyor olması, sistem tasarımı sürecini de zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kontrol edilmek istenen sistemde gerçekleşebilecek herhangi bir değişiklik durumunda bu deneme yanılma sürecinde başa dönülmektedir. Diğer yandan, karmaşık yapılı doğrusal olmayan sistemler söz konusu olduğunda ise bu denetleyiciler yetersiz kalmaktadır. Doğası gereği PV panel uygulamalarındaki değişken sistem parametrelerine hızlı bir şekilde cevap verebilecek, uyarlanabilir özelliklere sahip, bulanık mantık denetleyici (*Fuzzy Logic Controller*) benzeri denetleyiciler kullanmak bu gibi kısıtların üstesinden gelebilmek için uygun olabilmektedir. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, nispeten daha karmaşık matematiksel hesaplamalar içermesi nedeni ile daha karmaşık algoritmalar geliştirilmesi ve daha efektif kodlama tekniklerinin uygulanması gereksinimlerine rağmen, bulanık mantık denetleyiciler MGNT gerçekleştirilmek istenen uygulamalarda tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, benzetim modeli oluşturulan PV panellerden, sürekli olarak maksimum güç elde edebilmek üzere bulanık mantık denetleyici tabanlı bir MGNT algoritması geliştirilmiş ve yine benzetim modeli üzerinden gömülü kod oluşturma yöntemi ile TMS320F28335 Dijital Sinyal İşlemci (*Digital Signal Processor* - DSP) için uygun kodlar üretilmiştir. Böylelikle geliştirilen

algoritma, optimum kod satırı ve uygun kod yapısına sahip olacak şekilde Dijital Sinyal İşlemciye gönderilerek derlenmiş ve uygulamalar için kullanıma hazır hale getirilmiştir. PSIM programı üzerinde oluşturulan benzetim sistemi ile geliştirilen algoritmanın başarımlı test edilmiştir. Benzetim çalışmasında PV panel ışınlm miktarı, ışınlmın gün içindeki değışimini temsil edebilecek şekilde, 625 W/m^2 'den başlayarak 950 W/m^2 'ye yükselip 300 W/m^2 'ye düşen ve 200ms benzetim süresi içerisinde bu döngüyü iki kez tekrarlayan değerler dizisi olarak belirlenmiştir. Böylelikle oldukça sert ve hızlı bir değışim gösterecek şekilde temsil edilen gün içindeki farklı ışınlm miktarlarına karşılık sistemin vereceğı cevap izlenebilmiştir. Buna göre, PV panellerden elde edilen gücün, PV panellerden elde edilebilecek azami gücü yaklaşık olarak 3ms sonunda yakaladığı ve 200ms'lik benzetim süresince sürekli olarak takip ettiğı görülmüştür. Diğer bir değışle, geliştirilen algoritmanın PV panellerden sürekli olarak azami güç elde edilmesini sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Algoritmanın başarımlı, PV panellerden elde edilen gücün PV panellerden elde edilebilecek azami güce oranı ile verimi hesaplanarak belirlenmiştir. Buna göre verim, benzetim modelindeki diğer elemanların etkisi ile ilk an değerleri göz önünde bulundurulduğunda %96.5, ilk an değerleri göz ardı edildiğinde ise %99.5 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, PV panel uygulamalarında gerek ışınlm miktarındaki değışimler gerekse doğrusal olmayan sistem parametreleri nedeni ile yetersiz kalan kontrol algoritmalarının yerine bulanık mantık tabanlı bir kontrol algoritmasının kullanılabilirliği teyit edilmiş olmaktadır.

Anahtar Kelimeler—*Bulanık Mantık Denetleyici; Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT); Gömülü Kod Üretimi*

Tracking Maximum Power Point with Fuzzy Logic Controller

Cem Morkoç^{*1}, Uğur Yüzgeç²

^{*}cem.morkoc@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1688-5259

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D., Bilecik, Türkiye

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye

ABSTRACT

In order to meet the increasing energy need, it is important to prefer Renewable Energy Resources (RES), which are minimize the harmful effects to environment, instead of fossil-sourced fuels. Photovoltaic (PV) panels are used to benefit energy of the sun as one of the most important RES. However, this energy, changes frequently during the day. For this reason, the energy obtained from PV panels must be monitored. In line with this purpose, applications that perform Maximum Power Point Tracking (MPPT) increase efficiency by providing maximum power from PV panels. When these applications are examined, it is seen that they are realized by using classical controllers (such as PI and PID). However, for these controllers, which have a simple structure, the fact that the controller parameters are determined by trial and error makes the system design process difficult. In addition, in case of any changes that may occur in the system to be controlled, this trial-and-error process is over. On the other hand, when it comes to complex structured nonlinear systems, these controllers are insufficient. Using controllers like Fuzzy Logic Controller, which can respond quickly to variable system parameters in PV panel applications may be appropriate to overcome such constraints. Considering all these conditions, fuzzy logic controllers are preferred in applications where MPPT is desired.

In this study, a fuzzy logic controller-based MPPT algorithm has been developed to obtain maximum power from PV panels, and codes for the TMS320F28335 Digital Signal Processor (DSP) have been generated by the embedded code generation method. The performance of the algorithm developed with the simulation system created on the PSIM program has been tested. In the simulation study, the amount of PV panel radiation was determined as a series of values that can represent the change of radiation during the day, increasing from 625 W/m² to 950 W/m², decreasing to 300 W/m² and repeating this cycle twice within 200ms simulation time. Accordingly, it has been observed that the power obtained from the PV panels captures the maximum power that can be obtained from the PV panels at the end of approximately 3ms and follows it continuously during the 200ms simulation period. In other words, it has been concluded that the developed algorithm ensures that the maximum power is obtained from the PV panels continuously. The performance of the algorithm is determined by calculating the ratio of the power obtained from the PV panels to the maximum power that can be obtained from the PV panels and the efficiency.

Accordingly, the efficiency was determined as 96.5% when the first moment values are taken into consideration with the effect of other elements in the simulation model, and 99.5% when the first moment values are ignored. As a result, the usability of a fuzzy logic-based control algorithm instead of control algorithms that are inadequate due to changes in the amount of radiation and nonlinear system parameters in PV panel applications has been confirmed.

Key Words—*Fuzzy Logic Controller; Maximum Power Point Tracking (MPPT); Embedded Code Generating*

Koagülasyon ile Olgun Sızıntı Suyundan Amonyak Gideriminde Proses Optimizasyonu

U. Bihter^{*,1}, V. Gamze¹, Y.G. Senem¹, C.G. Emine¹

*: bihteruykan95@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0739-3604

¹: Çevre Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada olgun sızıntı suyuna ön arıtma olarak Alum ve Poli Alüminyum Klorür (PACl) koagülantlarının kullanıldığı kimyasal koagülasyon prosesleri uygulanmış, proses optimizasyonu için cevap yüzey metodu ve Box-Behnken dizaynı kullanılmıştır. Deneylerin istatistiksel tasarımı ve veri analizleri için, Design Expert 11.1.0.1 yazılımı kullanılmıştır. Kimyasal koagülasyon prosesi işletme parametreleri koagülant dozu, pH ve reaksiyon süresi, model cevabı olarak amonyak giderim verimi seçilmiştir. Model yardımıyla optimum işletme şartları belirlenmiştir. Alumlu koagülasyonda maksimum amonyak gideriminin elde edildiği optimum şartlar: pH değeri 9.7, koagülant dozu 4.99 g/L ve reaksiyon süresi 45 dakika olarak; PACl'li koagülasyonda maksimum amonyak gideriminin elde edildiği optimum şartlar ise: pH değeri 9.5, koagülant dozu 4.95 g/L ve reaksiyon süresi 44 dakika olarak belirlenmiştir. Alumun koagülant olarak ilave edildiği koagülasyon prosesinde, optimum şartlar altında model tarafından tahmin edilen amonyak giderim verimi %54.4 olarak, model uygunluğunu doğrulamak için optimum şartlar altında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda amonyak giderim verimi %52.04 olarak elde edilmiştir. PACl'ün koagülant olarak ilave edildiği koagülasyon prosesinde ise tahmini amonyak giderim verimi %52.6 iken validasyon deneylerinde elde edilen KOİ giderim verimi %50.7'dir. Çalışma sonuçları kimyasal koagülasyonun olgun sızıntı suları için etkili bir ön arıtma yöntemi olduğunu göstermiştir ve cevap yüzey yönteminin kimyasal koagülasyon prosesinin işletme şartlarının optimizasyonu için etkili bir yöntem olduğunu doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler —Sızıntı suyu; Kimyasal Koagülasyon; Alum; PACl; Cevap Yüzey Yöntemi

Process Optimization For Ammonia Removal From Mature Landfill Leachate By Coagulation

U. Bihter^{*,1}, V. Gamze¹, Y.G. Senem¹, C.G. Emine¹

^{*}: bihteruykan95@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0739-3604

¹: Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

In this study, chemical coagulation processes using Alum and Poly Aluminum Chloride (PACl) coagulants were applied for pretreatment of mature leachate. Response surface method and Box-Behnken design were used for process optimization. Design Expert 11.1.0.1 software programme was used for the statistical design of the experimental study and data analysis. Operating parameters of chemical coagulation process were selected as coagulant dose, pH and reaction time whereas removal efficiency of ammonia was selected as the model response. Optimum operating conditions are determined by the model. Optimum conditions for maximum ammonia removal by coagulation using Alum were determined as: pH value of 9.7; coagulant dose of 4.99 g / L and reaction time of 45 minutes. Optimum conditions for PACl coagulation was determined as pH value of 9.5, coagulant dose of 4.95 g / L and reaction time of 44 minutes. In the coagulation process in which alum was added as a coagulant, the COD removal efficiency predicted by the model under optimum conditions was 54.4%, and the COD removal efficiency was 52.04% in the experimental studies performed under optimum conditions to verify the fit of the model. In the coagulation process where PACl was added as a coagulant, the predicted COD removal efficiency was 52.6%, while the COD removal efficiency obtained in validation experiments was 51.3%. The results of the study showed that chemical coagulation is an effective pre-treatment method for mature leachate and confirms that the response surface method is an effective method for optimizing the operating conditions of the chemical coagulation process.

Keywords —Leachate; Chemical Coagulation; Alum; PACl, Response Surface Method

Kavun Çekirdeği ile Zenginleştirilmiş Eriştelerin Fizikokimyasal Özellikleri ve Aminoasit Kompozisyonunun İncelenmesi

Kübra Pozan¹, İlyas Çelik¹, Ali Göncü^{*,2}

*: ali.goncu@adu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9676-1503

¹: Pamukkale University, Faculty of Engineering, Food Engineering Dept., Denizli, Turkey

²: Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Food Processing Dept., Aydın, Turkey

ÖZET

Kavun ve kavun çekirdeği, besinsel değerleri açısından oldukça zenginledir. Kavun, yapısında suda çözünür kuru maddeyi oluşturan birçok şeker, vitamin, mineral madde, enzim, asit ve çeşitli aromatik bileşenler yer almaktadır. Bununla birlikte, suda çözünmeyen pektik bileşenler, alkolde çözünmeyen selüloz, polifenol, organik asit, lignanlar gibi kuru maddeleri de içermektedir. Kavun çekirdeğinin önemli besin maddelerinin iyi bir kaynağı olduğu ve bu nedenle besin takviyesi olarak kullanım imkanlarına sahip olabileceği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Bu çalışmada, besin değeri yüksek ve genelde atık olarak ayrılan kavun çekirdeklerinin fonksiyonel bir gıda bileşeni olarak erişte üretiminde kullanılmasıyla katma değeri yüksek bir ürüne dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Kavun çekirdekleri, ev tipi bir öğütücüde öğütülüp gözenek çapı 500 µm olan elekten elenerek hazırlanmıştır. Elde edilen kavun çekirdeği tozları %10, %20, %30 ve %40 oranlarında buğday unu yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Çalışmada fizikokimyasal, tekstürel ve kimyasal özellikler araştırılmıştır. İkame oranı arttıkça protein, yağ, diyet lifi, mineral madde, aminoasit miktarları ile su absorpsiyonu, hacim artışı, suya geçen kuru madde, *a* ve *b* renk değerlerinde artış meydana gelmiştir. Erişteelerde duyu analizler incelendiğinde renk, koku, tekstür, lezzet ve genel beğeni bakımından en yüksek puanı kontrol örneği olan buğday unlu erişte alırken en düşük puanı ise %40 kavun çekirdeği tozu ikameli erişte almıştır. Kavun çekirdeği tozu ikameli örnekler arasında ise en yüksek skorları alan erişte çeşidi %10 kavun çekirdeği tozu içeren örnek olmuştur. Elde edilen bulgular sonucunda kavun çekirdeği tozunun erişte formülasyonlarında kullanımı için %20 oranına kadar kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Kavun çekirdeğinin erişte formülasyonlarında kullanılması ile hem kavun üreticisi açısından yan ürünlerin değerlendirilmesi ile ekonomik değeri artırılmış hem de ürünü tüketen bireyler açısından besin maddelerince zenginleştirilmiş bir ürüne dönüştürülmüş olunacaktır.

Anahtar kelimeler—Erişte; Makarna; Kavun çekirdeği.

Physicochemical Properties and Amino Acid Composition of Noodles Enriched with Melon Seed

Kübra Pozan¹, İlyas Çelik¹, Ali Göncü^{*,2}

*: ali.goncu@adu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9676-1503

¹: Pamukkale University, Faculty of Engineering, Food Engineering Dept., Denizli, Turkey

²: Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Food Processing Dept., Aydın, Turkey

ABSTRACT

Melon and melon seeds are rich in nutritional value. Melon contains many sugars, vitamins, mineral substances, enzymes, acids and various aromatic components that form water-soluble dry matter. However, water-insoluble pectic components also include dry substances such as alcohol-insoluble cellulose, polyphenol, organic acid, lignans. It has been stated in various studies that melon seed is a good source of important nutrients and therefore can be used as a nutritional supplement. In this study, it is aimed to transform melon seeds with high nutritional value, which are generally separated as waste, into a product with high added value by using them as a functional food component in the production of noodles. Melon seeds were prepared by grinding them in a household grinder and sieving them through a sieve with a pore diameter of 500 µm. The obtained melon seed powders were used by substituting 10%, 20%, 30% and 40% for wheat flour. In the study, physicochemical, textural and chemical properties were investigated. As the substitution rate increased, the amount of protein, oil, dietary fiber, mineral substance, amino acid and water absorption, increased volume, dry matter transferred to water, and *a* and *b* color values increased. When the sensory analysis of the noodles were examined, wheat flour noodles, which were the control samples, got the highest score in terms of color, odor, texture, taste and general taste, while the lowest score was the noodles with 40% melon seed powder. Among the samples with melon seed powder substitution, the noodle variety with the highest scores was the sample containing 10% melon seed powder. As a result of the findings, it was understood that it is appropriate to use up to 20% of melon seed powder for use in noodle formulations. With the use of melon seed in noodle formulations, the economic value of the melon producer will be increased by evaluating the by-products and it will be transformed into a product enriched with nutrients for the individuals who consume the product.

Keywords—Noodle; Pasta; Melon seed.

Brix and CO₂ Precision Mixing In Carbonated Drink Mixer Machines

Özgün Mirat ^{*,1}, Sinan Çalışkan ², Kutay Çikoğlu ³

^{*}: ozgun.mirat@ektam.com, ORCID: 0000-0002-8059-4763

^{1,2,3}: R&D Center1, Ektam Machinery1, Izmir, Turkey

ABSTRACT

With the increment of demand, beverage production industry is growing day by day. Many beverage producers works at high capacity to satisfy customer expectation by producing different kind of products. Each product contains its own production process that there are some different machines and subsystems. Mixer machine/system is a part of production process. It is used to prepare the product that can be carbonated or non-carbonated. Also the product that is demanded by customer can need some additional processes such as cooling or pasteurizing and these sub-processes can be done by mixer machines. There are some points that specify level of product quality, for mixer. Oxygen content of used water, pasteurization time, pasteurization temperature, length of holder, degree of brix and amount of CO₂ are some of important points that affects quality of product. Each of them affects different properties of product and they have their own processes to control these point. Mixer system is a complex machine that controls different properties by following different properties. In this study, working principle of mixer will be explained by giving its P&ID chart and revealing some important sub-systems of mixer. Then, importance of degree of Brix and amount of CO₂ will be shown by explaining what they are and why they must be controlled. Also, followed methodology for achieving desired Brix and CO₂ content will be explained and evaluated by giving real examples that happen is a real production line. Then quality checking methodology will be revealed, test results will be shown before the study will finish.

Keywords: Mixer machine, product preparation, degree of brix, CO₂ content

Study of The Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete Using Local Materials

Mounira Chadli^{*1}, Nadia Tebbal¹, Mekki Mellas²

^{*} mounira.chadli@univ-biskra.dz,

¹Laboratory of Civil Engineering, Department of Civil Engineering and Hydrology, University of Biskra BP 145 RP BISKRA 07000 Algeria

² Institute of Technical Urban Management, Geomaterials Development Laboratory, M'sila University, M'sila (28000), Algeria

ABSTRACT

Reactive Powder Concrete (RPC) is an ultra high performance cementitious matrix material. RPC is characterized by high silica fume content and a very low water / cement ratio. This concrete makes it possible to achieve strengths of 180 MPa in compression, of 7 to 12 MPa in direct tension and to obtain durability characteristics, much superior to those of conventional concretes, it should be noted that the tensile strength of this material is the most interesting property because it has an undeniable reliability character.

The present research work consists in the study of the mechanical properties of RPC from materials existing on the Algerian market. Three mineral additions: granulated slag, quartz powder and silica fume are incorporated into the cement in three percentages (23%, 23% and 23%). The results obtained from the tests carried out on the BPRs show that: The compressive and tensile strengths by bending increase when the additions are incorporated, thus translating the improvement in the compactness of the mixtures by the pozzolanic effect of the latter.

Keywords—*Reactive Powder Concrete; Compression; Flexural Traction; Silica Smoke; Quartz; Slag.*

Yeni Tür Katyonik Esaslı Kopolimerik Hidrojellerin Sentezi ve Sulu Çözeltiden Boyar Madde Gideriminde Kullanılması

Özgür Özay^{*1,2}, Alper Önder³, Pınar Ilgın⁴, Hava Özay²

^{*}: ozgurozay@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6589-9844

¹: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Çanakkale, Türkiye

²: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Çanakkale, Türkiye

³: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

⁴: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Lapseki/Çanakkale, Türkiye

ÖZET

Gelişen endüstriyle birlikte artan kirleticiler nedeniyle, tüm organizmaların temiz suya erişimi büyük bir problem haline geldi. Çeşitli sektörlerde kullanılan toksik, mutajenik ve kanserojen etkileri ile insan ve çevre sağlığını ciddi zararlar veren kimyasal boyalar en önemli su kirleticileri arasında yer almaktadır. pH, sıcaklık, elektrik alanı gibi çeşitli çevresel koşullar altında bile fiziksel yapısını koruyabilen ve kendi boyutlarının yüzlerce katına kadar şişebilen hidrojeller, biyomedikal alanlardan çevresel uygulama alanlarına kadar birçok amaç için kullanılmaktadır. Bu nedenle hidrojeller, literatürde su kirliliğini önlemek için atıksulardan kimyasal boyaların uzaklaştırılması için yüksek verimli adsorbentlerin geliştirilmesi için önemlidir.

Bu çalışma kapsamında, 2-(akrilooksietil)trimetilamonyum klorür, 3-(metakriloamino)propil trimetil amonyum klorür, 3-(akriloamidopropil) trimetil amonyum klorür, 1-vinil imidazol gibi çeşitli vinil monomerlerinin kopolimerizasyonu ile yeni tür katyonik yük taşıyan hidrojeller redoks polimerizasyonu ile sentezlendi. Sentez aşamasında hidrojel sentezine etki eden monomer besleme oranları ve çapraz bağlayıcı oranları değiştirildi. Sentezlenen hidrojellere ait verim ve sol-jel oranları hesaplandı. Bununla birlikte elde edilen hidrojel ağ yapılarından adsorbsiyon prosesi için en uygun olanları seçilerek Fourier Transform Infrared spektroskopisi, Taramalı Elektron mikroskobu ve Energy Dispersive X-ray spektroskopisi gibi aletsel analiz yöntemleri ile yapısal ve morfolojik karakterizasyonları yapıldı. Sulu ortamlarda boyar madde adsorbsiyonu için kullanılacak hidrojellerin aynı zamanda çeşitli ortamlarda şişme karakterizasyonları yapıldı. Sentezlenen katyonik yük taşıyan ve farklı kimyasal yapılarıdaki yeni tür hidrojeller ile sulu ortamdan metil oranj gibi anyonik bir boya ve metilen mavisi, metil violet gibi katyonik boyaların adsorpsiyonu gerçekleştirildi. Çalışma kapsamında adsorbsiyon prosesi üzerine başlangıçtaki hidrojel türü ve kimyasal yapısı, boya konsantrasyonu, adsorban miktarı, sıcaklık, ve pH gibi parametrelerin etkileri incelendi. Adsorpsiyon çalışmalarında elde edilen veriler kullanılarak adsorbsiyon prosesine ait yaygın kullanılan çeşitli izoterm ve kinetik modelleri belirlendi. Bununla birlikte her bir

boyarmadde adsorbsiyonuna ait termodinamik parametreler belirlenerek adsorbsiyon prosesinin mekanizması aydınlatıldı (Şekil-1).



Şekil-1: Hidrojeller ile atık sulardan boyar madde adsorbsiyonu/desorbsiyonunun şematik gösterimi.

Sonuç olarak, çeşitli anyonik ve katyonik boyalar için kullanılabilecek yeni tür hidrojeller sentezlendi. Bu hidrojellerin en önemli özelliği mükemmel adsorpsiyon kapasitelerinin yanı sıra yeniden kullanılabilirlikleri ve neredeyse tüm boyar maddelerin adsorbsiyonunda kullanılabilmeleridir.

Anahtar Kelimeler—Hidrojel; Adsorbsiyon; Atık Su; Temiz Su; Sentetik Boya; İzoterm; Kinetik.

Synthesis of New Types of Cationic Based Copolymeric Hydrogels and Their Usage in Dye Removal from Aqueous Solution

Özgür Özay^{*1,2}, Alper Önder³, Pınar Ilgin⁴, Hava Özay²

^{*}: ozgurozay@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6589-9844

¹: Department of Bioengineering, Faculty of Engineering, Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale, Turkey

²: Department of Chemistry, Faculty of Science and Arts, Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale, Turkey

³: Department of Chemistry, School of Graduate Studies, Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale, Turkey

⁴: Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Lapseki Vocational School, Canakkale Onsekiz Mart University, Lapseki/Çanakkale, Turkey

ABSTRACT

Due to the increasing pollutants with the developing industry, the access of all organisms to clean water has become a major problem. Chemical dyes that cause serious harm to human and environmental health with their toxic, mutagenic and carcinogenic effects used in various sectors are among the most important water pollutants. Hydrogels, which can maintain their physical structure even under various environmental conditions such as pH, temperature, electric field, and swell up to hundreds of their own dimensions, are used for many purposes from biomedical fields to environmental applications. Therefore, hydrogels are important in the literature for the development of high efficiency adsorbents for the removal of chemical dyes from wastewater to prevent water pollution.

In this study, the new types of hydrogels carrying cationic charges were synthesized as a result of the copolymerization of various vinyl monomers such as 2- (acryloyloxy) ethyl] trimethylammonium chloride, 3- (methacryloylamino) propyl trimethylammonium chloride, 3- (acrylamidopropyl) trimethyl ammonium chloride and 1-vinyl imidazole using redox polymerization method. In the synthesis stage, the monomer feed ratios and crosslinker ratios that affect the hydrogel synthesis were changed. The yield and sol-gel ratios of the synthesized hydrogels were calculated. In addition, the most suitable hydrogel network structures for the adsorption process were selected and their structural and morphological characterizations were carried out by instrumental analysis methods such as Fourier Transform Infrared spectroscopy, Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray spectroscopy. The swelling characterization of hydrogels to be used for dye adsorption in aqueous environments were also performed in various environments. Using the synthesized new types of hydrogels carrying a cationic charge and having different chemical structures, the adsorption of methyl orange as an anionic dye, methylene blue and methyl violet as cationic dyes were carried out. In the scope of the study, the effects of parameters such as the initial hydrogel type and its chemical structure, dye concentration, adsorbent amount, temperature, and pH on the adsorption process were examined. Using the data obtained from adsorption studies, various commonly used isotherm and

kinetic models related to the adsorption process were determined. In addition, the thermodynamic parameters of each dye adsorption were determined, and the mechanism of the adsorption process was elucidated (Figure-1).

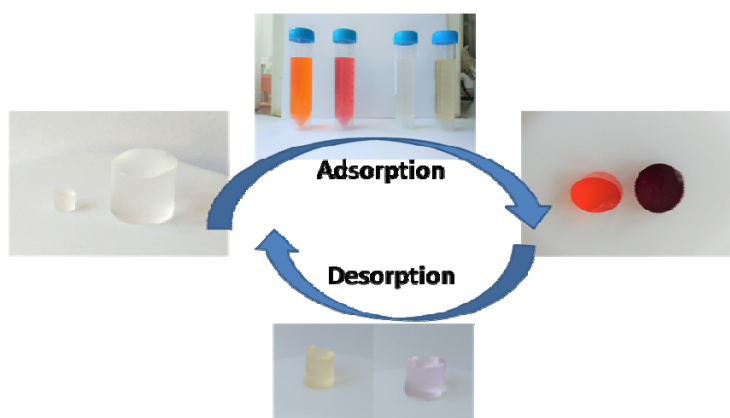


Figure-1: Schematic representation of dye adsorption / desorption from wastewater with hydrogels.

As a result, new types of hydrogels that can be used for various anionic and cationic dyes were synthesized. The most important feature of these hydrogels is their excellent adsorption capacity as well as their reusability and their ability to be used in the adsorption of almost all dyestuffs.

Keywords—Hydrogel; Adsorption; Wastewater; Clean water; Synthetic dyes ;Isotherm; Kinetics.

Kür Edilmiş Et Ürünlerinde Biyojen Amin Oluşumu ve Nitrozaminler

Selen Sallan^{*1}, Mükerrerem Kaya²

*: ssallan@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9806-6937

¹Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Bandırma Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Balıkesir, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

ÖZET

Kür edilmiş et ürünleri için çok fonksiyonlu bir katkı maddesi olan nitrit, aynı zamanda nitrozamin oluşumunda da rol oynamaktadır. Nitrozaminler, kanserojenik, teratojenik ve mutajenik özelliğe sahip bileşiklerdir. Kullanılan nitrit seviyesi, kalıntı nitrit, pH, pişirme tekniği, pişirme sıcaklığı ve süresi, baharat, inhibitör ve katalist maddelerin mevcudiyeti, depolama koşulları nitrozamin oluşumunu etkileyen önemli faktörlerdir. Ayrıca biyojen aminlerin de nitrozamin oluşumunda etkili olabileceği ileri sürülmektedir. Biyojen aminler alifatik, aromatik veya heterosiklik yapıda olup genellikle serbest aminoasitlerin dekarboksilasyonu sonucu oluşmaktadır. Yüksek fermentasyon sıcaklığı, yeterli asitleşmenin olmaması, düşük tuz miktarı serbest aminoasit miktarını artırabilmektedir. Fermente ürünlerde olgunlaşma sırasında proteolizis sonucu oluşan aminoasitler, biyojen aminler için iyi bir kaynak oluşturabilmektedir. Fermente et ürünlerinde aminoasitler, Enterobacteriaceae ve Micrococcaceae familyasının üyeleri ile laktik asit bakterilerinin dekarboksilaz aktiviteleri sonucunda biyojen aminlere dönüşebilmektedir. Ayrıca düşük kaliteli hammadde de aminler ve serbest aminoasitler de dahil olmak üzere protein tabiatında olmayan azotlu madde miktarının iyi bir kaynağı olabilmektedir. Diğer taraftan olgunlaştırma sırasında oluşan sekonder aminler nitrozasyon reaksiyonuna girerek nitrozamin oluşumunda rol oynamaktadır. Pek çok iç ve dış faktörün etkili olduğu et fermentasyonunda tiramin, putresin ve kadaverin tespit edilen başlıca biyojen aminlerdir. Spermin ve spermidin ise ette doğal olarak bulunan biyojen aminlerdir. Putresin, spermidin ve sperminin nitrozopirolidin (NPYR), kadaverinin ise nitrozopiperidin (NPIP) oluşumunda rol oynayabileceği belirtilmektedir. Bundan dolayı, insan sağlığı için önemli bir risk oluşturan nitrozaminlerin oluşumunda biyojen aminlerin rolünün önemli bir konu olduğu düşünülmektedir. Mevcut bu çalışmada, et ürünlerinde biyojen amin oluşumu, biyojen oluşumunda rol oynayan faktörler ile biyojen aminlerin nitrozamin oluşumuna etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Et ürünleri, biyojen amin, putresin, kadaverin, nitrozamin

Nitrosamines and Biogenic Amine Formation in Cured Meat Products

Selen Sallan ^{*1}, Mükerrerrem Kaya²

*: ssallan@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9806-6937

¹Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma Vocational School, Balıkesir, TURKEY

²Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, Erzurum, TURKEY

ABSTRACT

Nitrite, a multifunctional additive for cured meat products, also plays a role in nitrosamine formation. Nitrosamines are carcinogenic, teratogenic and mutagenic compounds. Ingoing nitrite level, residual nitrite, pH, cooking technique, cooking temperature and time, spices, presence of inhibitor and catalyst substances, storage conditions are important factors influencing nitrosamine formation. It is also asserted that biogenic amines may be effective in the formation of nitrosamines. Biogenic amines have an aliphatic, aromatic or heterocyclic structure and are generally formed by the decarboxylation of free amino acids. High fermentation temperature, insufficient acidification, low amount of salt can increase the level of free amino acids. Amino acids formed as a result of proteolysis during ripening in fermented products can be a good source for biogenic amines. Amino acids in fermented meat products can be converted into biogenic amines due to the decarboxylase activities of members of the Enterobacteriaceae and Micrococcaceae families as well as lactic acid bacteria. Moreover, low quality raw materials can also be a good source of non-protein nitrogenous substances including amines and free amino acids. On the other hand, secondary amines formed during ripening participate in the nitrosation reaction and play a role in the formation of nitrosamine. Tyramine, putrescine and cadaverine are the main biogenic amines that are detected in meat fermentation influenced by many intrinsic and extrinsic factors. Spermine and spermidine are biogenic amines found naturally in meat. It is stated that putrescine, spermidine and spermine may play a role in the formation of nitrosopyrrolidine (NPYR), and cadaverine may play a role in the formation of nitrosopiperidine (NPIP). For this reason, the role of biogenic amines in the formation of nitrosamines, which pose an important risk to human health, is believed to be an important issue. The current study investigates the formation of biogenic amines in meat products, the factors influencing the formation of biogenic amines and the effects of biogenic amines on nitrosamine formation.

Keywords — Meat products, biogenic amines, putrescine, cadaverine, nitrosamine

Electrochemical Deposition and Characterization of Sn-rich Sn-Zn Thin Films

Begüm Ünveroğlu

bunveroglu@ybu.edu.tr , ORCID: 0000-0003-2524-7803
Metallurgical and Materials Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

ABSTRACT

Sn-Zn alloys have been interesting due to their corrosion resistance, good ductility, morphological properties, and solderability in various application areas such as the marine, automobile, food, and microelectronic industry. Besides these, Sn-Zn alloys are toxic-free, which is a desirable property particularly for mass production in sustainable production systems. A sustainable mass production should also be energy efficient with the minimum amount of material usage and energy need. Electrochemical deposition is a low-cost and simple industrial technique that can be applied to various geometries with the desired thicknesses. The electrochemical deposition of Sn-Zn thin films with various compositions has been electrodeposited from different electrolyte baths with complexing agents such as PEG and SDS, however, there are not many studies on electrochemical deposition of this thin films from simple electrolytes. This study aims to prepare a simple electrochemical deposition electrolyte to obtain smooth Sn-rich Sn-Zn layers with good corrosion resistance and reasonable electrical resistivity which can be a potential thin film for various applications such as Pb-free solder materials and coatings for microelectronics.

All experiments have been performed on the stainless-steel foil. The substrate is mechanically polished with sandpapers (320-1200), cleaned with ethanol, etched in dilute H_2SO_4 , rinsed in distilled water, and dried before electrochemical depositions. A three-electrode electrochemical cell has been used to electrodeposit Sn-Zn based thin film from a simple acidic solution with Pt wire as the counter electrode and Ag/AgCl as a reference electrode. The electrolyte contains 0.25 M citrate acid as a supporting electrolyte, 10 mM $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, and 5 mM $SnSO_4$ as metal ion resources. To understand the reduction behavior of elements, cyclic voltammetry is applied to the base solution, Sn+base solution, Zn+base solution and Zn+Sn+base solution with the scan rate of 25 mV/s between the potential window 0.5 V and -1.5 V. Electrochemical deposition took place with pulsed electrodeposition with different current peaks. Structural characterization is determined with an X-ray diffractometer (XRD), the morphology of the samples is investigated with a scanning electron microscope (SEM) and the composition of the layers is found with elemental dispersive spectroscopy (EDS). The corrosion behavior of samples is determined with potentiodynamic polarization curves in 3.5 wt% NaCl solution. Lastly, the electrical resistivity of samples is measured with the 4-point probe method.

The reduction of Sn is taking place before Zn reduction and the reduction of Zn is taking place together with hydrogen evolution reaction. To be able to obtain desirable uniform film coatings without gaps in the films, different deposition conditions applied and found that a smooth layer can be obtained at more positive potentials than -1.4V (vs. Ag/AgCl). SEM analyses also show that the dendrite formations start at more negative potentials than -1.4V (vs. Ag/AgCl). The XRD results suggest the presence of elemental Sn and Zn for all the thin films. The Zn amount is found up to 40 at% and the amount of Zn is increased with the increasing peak current. The corrosion resistance of the samples slightly increased with increasing Zn amount and the electrical resistivity of the samples are in a similar range.

Keywords—*Electrochemical Deposition; Thin Film; Sn-Zn; Corrosion*

3-B Yazıcı Teknolojileri Kullanarak Kişiyeye Özel Sternokostal İmplant Tasarımı ve Üretimi

Alev Kurumlu Baş^{1,*}, Osman Eroğul²

^{1,*} alevkurumlu@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7378-5804,

^{1,2} TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

ÖZET

Eklemeli/Katmanlı Üretim (Additive Manufacturing) olarak kabul edilen 3-B yazıcı teknolojisi, bilgisayar ortamında tasarlanan 3 boyutlu objeleri somut hale dönüştürebilen hızlı prototipleme araçlarıdır. Günümüzde 3-B yazıcı teknolojileri birçok alanda hayatı kolaylaştırdığı gibi, medikal alandaki uygulamaları da insan yaşamının kalitesini artırmış, en önemlisi yaşamlarını devam ettirmede büyük rol oynamıştır. 3-B yazıcı teknolojileri tıbbi implantların hızlı bir şekilde üretilmesini sağlamak ve doktorların ve cerrahların prosedürleri planlama yöntemlerini geliştirmek için büyük bir fırsat yaratmaktadır. Günümüzde hastalık, savaş, kaza ve yaralanma gibi sebeplerle eklem kayıpları çok görülmektedir. Bu eklem kayıplarını tedavi etmede kişinin hasarlı bölgesindeki parçanın çıkartılarak yerine geçebilecek kişinin dokusu ile uyumlu malzemeden üretilmiş medikal implantlar kullanılmaktadır. 3-B üretim teknolojisi, eklem kaybının yerine geçebilecek, kişiyeye özel ve kişinin dokusu ile uyumlu malzemeden üretilmiş implantların üretilmesine olanak vermektedir. Pazardaki standart implantların aksine kişinin durumuna özel implant üretilmesi ameliyatların risklerini azaltmanın yanı sıra cerrahların işini de kolaylaştırmaktadır. Titanyum alaşım ailesinden Ti-6Al-4V, dayanıklı ve hafif oluşları nedeniyle sternokostal implantlarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada 3-B üretim teknolojilerinden toz esaslı eklemeli imalat yöntemi olan SLS (Seçimli Lazer Sinterleme) ile kişiyeye özel sternokostal eklem implantının üretim ve tasarım aşamaları incelenmiş, yeni bir implant tasarımı önerilmiştir. METÜM (Medikal Tasarım ve Üretim Merkezi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Yerleşkesi, Ankara) tarafından oluşturulan ve hastaya implantasyonu gerçekleştirilen Ti-6Al-4V malzemeden üretilmiş bir sternokostal implantın analiz programında sonlu elemanlar analizi yapılmış, implanta binen yükler ve stres değerleri ölçülmüştür. Dünyada ve ülkemizde günümüze kadar tasarlanmış olan bazı sternokostal implantlar çalışma dahilinde incelenmiş, yapılan araştırmalar sonucunda analizi yapılan sternokostal implant üzerinde tasarımsal farklılıklar ve iyileştirmeler yapılmış, analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın bundan sonra tasarlanacak olan sternokostal implant çalışmalarına yol göstermesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler— Sternokostal İmplantlar, 3-B Metal Yazıcılar, Ti-6Al-4V, Metal Lazer Sinterleme

Custom Made Sternocostal Implant Design by Using 3D Printing Technology

Alev Kurumlu Başı^{1,*}, Osman Eroğlu²

^{1,*} alevkurumlu@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7378-5804,

^{1,2} TOBB University of Economics & Technology, Biomedical Engineering, Ankara, Turkey

ABSTRACT

3-D printer technology, which is considered as Additive Manufacturing, is rapid prototyping tools that can transform 3D objects designed in computer environment into concrete. Nowadays, 3D printer technologies have made life easier in many areas, as well as applications in the medical field have increased the quality of human life, and most importantly, have played a major role in maintaining their lives. 3-D printer technologies create a great opportunity to enable the rapid production of medical implants and to improve the way doctors and surgeons plan procedures. Today, joint losses are common due to illness, war, accident, and injury. To treat these joint losses, medical implants made of materials that are compatible with the tissue of the person that can replace the part in the damaged area of the person are used. 3-D manufacturing technology allows the production of implants made of personal and compatible materials that can replace joint loss. Unlike the standard implants in the market, the production of implants specific to the person's condition not only reduces the risks of the surgeries but also facilitates the job of the surgeons. Ti-6Al-4V, a member of the titanium alloy family, is preferred in sternocostal implants due to its durability and lightness. In this study, the production and design stages of a custom sternocostal joint implant with SLS (Selective Laser Sintering), which is a powder-based additive manufacturing method from 3-D manufacturing technologies, was examined and a new implant design was proposed. In the analysis program of a sternocostal implant made of Ti-6Al-4V material created by MDMC (Medical Design and Manufacturing Center, University of Health Sciences, Gülhane, Ankara) and implanted to the patient, finite element analysis was performed and the loads and stress values on the implant were measured. Some sternocostal implants designed to date in the world and in our country have been examined within the scope of the study, design differences and improvements have been made on the analyzed sternocostal implant as a result of the researches, and their analyzes have been carried out. The study is aimed to guide the sternocostal implant studies that will be designed from now on.

Keywords— *Sternocostal Implants, 3-D Metal Printing, Ti-6Al-4V, Selective Laser Sintering*

Investigation of The Properties of Different Glass Fiber Type Reinforced Polyphthalamide Composites

İbrahim Berk Çavuş

berk.c@epsan.com, ORCID: 0000-0001-8834-3101

Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Epsan Plastik, Bursa, Türkiye

ABSTRACT

Polyphthalamides (PPA) are known as polyamides that contain aromatic groups in their main chains and provide high mechanical and thermal resistance [1]. They are obtained by polycondensation reaction of hexamethylene diamine, terephthalic acid or isophthalic acids [2]. PPAs have better dimensional stability, lower moisture absorption, better resistance to chemicals and higher mechanical properties compared to aliphatic polyamides. Thanks to these properties, they are generally preferred over metals in automotive parts that require high-temperature performance and where lightness is important [3-4]. One of the methods used to increase the mechanical properties of polymers is fiber reinforcement. Generally, natural fibers, chopped glass fiber and synthetic fiber types such as carbon fiber are widely used for polymer reinforcement. However, studies in the literature have shown that reinforcement with natural fibers is not as effective as synthetic fibers [5-6]. New generation fiber types with different sizes and coatings take their place in the fiber production sector, depending on the changing requirements of the composite industry over time. Compared to other fibers, its high tensile strength, low price, easy availability, and ease of processing make glass fiber the most preferred synthetic fiber. New generation glass fibers (NGF) are used in cases where sufficient mechanical properties, dimensional stability and desired surface quality cannot be achieved in mixtures where chopped glass fiber (CGF) is used. In this study, glass fiber reinforced PPA composites were prepared by using two different type glass fiber namely NGF and CGF. There are size and cross-section differences between the glass fibers used. While CGF has a length of 4.5 mm and a diameter of 10 μ m, NGF has a length of 3 mm. Twin-screw extruder and injection molding methods were used in the production of GF reinforced PPA composites. Fibers and PPA were primarily mixed with melt-mixing method in the extruder and turned into pellets. The pellets produced were molded in the form of test plates by injection molding method. Density, impact, tensile and flexural tests were carried out for the characterization of the composites. In addition, a comparison of the surface aspect has been made. When the surface appearances of the produced composites were compared, it was seen that the appearance of the NGF reinforced composite was better than the CGF reinforced composite. On the other hand, no significant increase in mechanical properties was observed. It was seen that the tensile modulus value increased by 7%. In a conclusion, new generation glass fiber reinforced PPA has been proposed to be used in automotive parts that require aesthetic appearance.

Keywords—Polyphthalamides; Glass Fiber, Composite; Mechanical properties

Development of Molecularly Imprinted Cryogels For Antibiotics Removing from Environmental Water

Çağrı Tartan^{*,1}, Ceren Haktanir¹, Lokman Uzun²

*: tantartan@gmail.com

¹: Gazi University, Chemical Engineering, Ankara, Turkey.

²: Hacettepe University, Chemistry, Ankara, Turkey.

ABSTRACT

According to the studies conducted in recent years, the existence of antibiotics in the environment and environmental waters has a negative effect on biological life. The presence of antibiotics in water increases the resistance of bacteria to these antibiotics and makes it difficult to eradicate these bacteria. In this study, molecularly imprinted cryogels were developed for the removal of antibiotics from environmental waters by adsorption method.

Cryogels are polymers that can be transformed into three-dimensional porous matrix structures with semi-frozen solutions of homogeneous or heterogeneous monomer / polymers. They are gel matrices that are produced below the freezing temperature of the solvent. Such polymers can be suitable for adsorption studies with their high diffusion properties, chemical and mechanical strength, and pore sizes in the range of 10-100 microns. At the same time, the presence of interconnected super-macropores of the cryogel matrices prevents the matrix from clogging and allows the passage of micro, nano or biomaterials. During these transitions, it is aimed to keep antibiotics in the cryogel with molecule-suppressed cryogels.

In this study, PHEMA-based cryogel system was prepared with the template molecule (Hydroxyethylmethacrylate) and functional monomer (Hydroxyethylmethacrylate) was polymerized with Ammonium persulfate-initiated polymerization in the presence of the cross-linking agent methylene bis-acrylamide.

The synthesized cryogels were characterized by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, differential scanning calorimetry (DSC), and scanning electron microscopy (SEM). Swelling degree of the cryogels were also determined for characterization. The optimum condition for vancomycin antibiotic removal was investigated using solutions having different pH, temperature and, initial antibiotic concentration. Reusability of the synthesized system was also examined using adsorption desorption cycles.

Keywords— *Cryogels, Antibiotics, Vancomycin, Molecular Imprinting*

Preparation of the Low-Temperature Sintering Porcelain Tile Composition by Addition B_2O_3 and MgO Components

Neslihan Başaran^{*,1}, Neslihan Tamsü Selli¹

*: nengin@gtu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7467-8613

¹: Department of Materials Science and Engineering, Gebze Technical University, 41400, Turkey

ABSTRACT

This study aims to develop a porcelain tile composition with low sintering temperature using different amounts of B_2O_3 and MgO in the compositions. For this purpose, an additional amount of these components was added to the standard porcelain tile composition. 5 different mixture compositions were prepared and added to the standard porcelain tile slurry so that the total mixing ratio of these two components was between 0.017 moles and 0.0970 moles. Densification behavior, water absorption, firing shrinkage, viscosity, and strength values of the samples were calculated to study the sintering behavior. Optical dilatometer analysis was performed to determine the maximum sintering temperature, and the colors of the fired samples were measured with a spectrometer to observe whether there was a color change or not. The sintered samples were also characterized by XRD and SEM. It was observed that the B_2O_3 and MgO addition facilitates sintering, decreases the viscosity of the glassy phase and narrows the sintering temperature range. It was observed that as the total mole amount of these oxides increased, the sintering temperature decreased. The best result was achieved with the 0,0970 moles mixture addition, and it was determined that the sintering temperature dropped by $70^\circ C$ compared to the standard composition. While there was an improvement in sintering behavior, no change in mechanical properties and color was observed.

Keywords—*Porcelain Tile, Boron Oxide, Magnesium Oxide, Sintering.*

Investigation of Blanking Process with Negative Clearance

Kaan Emre Engin

kengin@adiyaman.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6439-7700
Department of Mechanical Engineering, Adiyaman University, Adiyaman, Turkey

ABSTRACT

In sheet metal forming industry, blanking process holds an important place and has a wide usage. Procuring a good quality on the blanked surface with minimum energy consumption is the main goal in blanking process. During the shearing of metal from the stock by using a punch and a die, many parameters that have effects on the blanked part can be referred. Amongst those parameters, clearance has the most dominant effects both on surface quality and on the cutting load. Negative clearance is the reverse approach to the adjustment of punch diameter which is larger than the lower die. The main purpose of this study was to investigate and compare the effect of 4 clearance values (1%, 5%, 10% and 15% of the material thickness) for conventional blanking and blanking with negative clearance. The stock material was AISI 316 stainless steel with 2 mm thickness. Tensile tests were done to obtain stress-strain graph of the stock and the data was inputted into the FEM program, Deform 2-D. Conventional blanking tests were performed to compare the findings gathered from simulations. After the validation of the results, the rest of the study was continued by simulation work. Results showed that using negative clearance had effect on both surface quality and cutting load. Cutting load increased for each negative clearance value when compared to conventional clearance values. On the other hand, surface quality got improved when negative clearance values were used.

Keywords—Blanking, Clearance, Cutting load, Surface quality

Risk Assessments for Migration of Cesium And Strontium Solidified Wastes In Glass And Ceramic Matrices In Radioactive Waste Repository

Furkan Çınar¹, Sema Akyıl Erenturk^{*1}

^{*} erenturk@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9938-1285

¹: Energy Institute, Istanbul Technical University, Maslak, 34469 Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Risk assessments for radioactive waste repositories are important for determining the pathways to be followed for thousands of years to come and to develop radioactive waste repository methodologies. The main problem in radioactive waste repositories is the migration of radionuclides in nuclear wastes from the radioactive waste repository to the biosphere due to an accident or an unexpected situation in overtime. In this way, radionuclides can enter surface aquifers and human habitats. Especially, the risks of fission products with high fission efficiency such as ^{137}Cs and ^{90}Sr are significant. Considering the risks of high-throughput these fission products, they carry long-term risks and their activities will die within a few hundred years. The K_d values of ^{137}Cs and ^{90}Sr are moderately and poorly in the rock-ground water system, respectively.

In this study, risk assessments for migration of cesium and strontium solidified wastes in different glass and ceramic matrices in the radioactive waste repository were investigated to evaluate risks for the radioactive waste repositories. In order to perform a long-term risk assessment and modelling for ^{137}Cs and ^{90}Sr in solidified forms in glass and ceramic matrices, GOLDSIM Monte Carlo Simulation Software with radionuclide transport module has been. Carcinogenic and non-carcinogenic risks were calculated for human health risk assessment that ^{137}Cs and ^{90}Sr may cause in the event of an accident. Excess Lifetime Cancer Risks (ELCR) were also calculated, which deals with the likelihood of developing cancer for a lifetime in the event of exposure from ^{137}Cs and ^{90}Sr in the event of an accident.

Keywords—Radioactive waste repository; Solidified wastes; Migration; Risk assessments

Development Of Functional Fruit Products by Vacuum Impregnation Technology

Gülce Ertek^{*1}, Hande Çil¹, Buket Yalçın Şahyar¹, Özge Taştan², Taner Baysal³

gulce.ertek@isiktarim.com, ORCID: 0000-0001-7285-5778

¹: Işık Tarım Ürünleri San.ve Tic. A.Ş., R&D Center, 35733 Kemalpaşa, İzmir, Turkey

²: Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 34755 Ataşehir, İstanbul, Turkey

³: Ege University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 35100 Bornova, İzmir, Turkey

ABSTRACT

Consumer awareness and interest in functional foods continue to increase by scientific researches that identify the benefits of nutraceutical substances on human health. In this concept, food manufacturers formulate innovative health-promoting food products by following the demand for the functional food market and health trends. This trend has supported the consumption of various food products enriched with health-promoting compounds such as probiotics, prebiotics, enzymes, vitamins, minerals, and phenolic extracts. Fruit-based products have been consumed all over the world due to their health benefits. To develop functional fruit-based products, vacuum impregnation (VI) technology is an innovative production method that is rapidly introducing enrichment solutions into porous structures of fruit tissues in controlled process conditions. This method can reduce the pH and water activity of the fruit, improve texture, color, taste, and aroma, and extend the shelf-life. VI technology can be used to produce minimally processed fruits, intermediate-moisture fruit products, and functional fruit-based snacks, and to improve different fruit preservation processes. Therefore, VI has a wide range of applications in fruit and vegetables, which are increasingly consumed because of their nutritional and fresh properties, and offers many unique advantages.

This review provides an overview of the main processing factors and responses of fruits to VI technology and summarizes the important developments and current applications of VI technology in the production of functional fruit-based products. As a result of all researches, it can be concluded that the use of health-promoting substances with VI technology in the production of functional fruit-based snacks is a promising application for the future.

Keywords—*Vacuum impregnation, functional food, bioactive compounds, probiotics, prebiotics, enzymes, vitamins, minerals, fruit*

Comparison of The Effects of Temperature And Solar Irradiation On Performance Of Monocrystalline, Polycrystalline And Thin-Film PV Panels

Aleyna Nur Karakılıç^{*,1}, Akif Karafil², Naci Genç²

^{*}: aleynakrklc@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4525-6598

¹: Department of Electrical and Electronics Engineering, Institute of Science, Yalova University, 77200 Yalova, Turkey

²: Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Yalova University, 77200 Yalova, Turkey

ABSTRACT

The rapidly increasing population and developing technology in the world have caused an increase in the need for electrical energy. Fossil based fuels are mostly used to meet this energy demand. However, the use of renewable energy sources is increasing due to the fact that fossil-based fuels are exhaustible and they cause damage to the environment. Renewable energy sources are inexhaustible, environmentally friendly and reliable sources. Solar energy, one of the renewable energy sources, is an important source in meeting the energy needs today. Solar energy, which is also used in electrical energy production, has recently enabled the rapid development and preference of photovoltaic (PV) panel technologies. Electricity generation from solar energy is provided by PV panels. Although PV panel technology is developing, their efficiency is low. Factors affecting PV panel efficiency are location, shading, angle of inclination, reflection, dusting, solar irradiation, temperature and losses. Among these parameters, solar irradiation and temperature are the most important parameters affecting the PV panel efficiency. With the change of atmospheric conditions during the day, the temperature and solar irradiation affecting the panel also change. Panel power is inversely proportional to temperature. Panel power decreases with increasing temperature. The solar irradiation coming to the PV panel varies according to the geographical location and the angle of inclination of the panel. Solar irradiation is directly proportional to panel power. In other words, as the solar irradiation increases, the panel power increases. In this study, the equivalent circuits of the panels were modeled in the PSIM program using the catalog data of monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon thin-film PV panels. The circuits of these modeled panels were set up separately in the PSIM program, and the changes in solar irradiation of 250, 500, 750, 1000 W/m² at temperatures of 0, 25 and 50 °C were shown with characteristic curves. Changes in current, voltage and power values of these panels due to changes in temperature and solar irradiation were examined. It was also evaluated which PV panel was affected more by the change in temperature and solar irradiation.

Keywords— *Fotovoltaic Panel, Solar Irradiation, Temperature*

PID Parameter Optimization of DC Motor Speed Control with Deep Reinforcement Learning

Emine Hümeyra Demircioğlu^{*,1,2}, Ersen Yılmaz³, Güneş Yılmaz³

*: hdemircioglu@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4296-5532

¹: Ph.D. Scholarship Student in Electrical-Electronic Engineering Department, Bursa Uludağ University, Bursa, Turkey

²: Ph.D. Scholarship Student for EMKO Elektronik A.Ş., Bursa, Turkey

³: Electrical-Electronic Engineering Department, Bursa Uludağ University, Bursa, Turkey

ABSTRACT

Controlling the motor speed has an important role in industrial control systems. The performance of the control system affects the performance of the whole system. In order to improve the performance of the control system, the parameter optimization of the controller by using an optimization algorithm is generally chosen as a successful solution in the literature. Proportional integral derivative (PID) is one of the best known and the most applied control algorithm in the industrial control systems. Manual tuning of PID parameters requires tedious computations. In this study, PID parameters for Direct Current (DC) motor speed control are optimized by using Deep Deterministic Policy Gradients (DDPG) reinforcement learning algorithm. In the proposed approach, the reinforcement learning agent communicates with the environment and the DDPG learning algorithm creates actions for finding the optimum parameters by observing the error. The performance of the approach used in the study are compared with the performance of the two best known PID types in the literature, which are genetic algorithm based PID and classical PID. The performances of these three approaches are compared in terms of overshoot, steady state error and important time durations: delay, settling, rise and peak times. The performance evaluation of the approaches applied in the study is carried out by using computer simulations. In the simulations, three different number of DDPG agents are created and the performance results are given for these number of agents. Simulation results show that the proposed approach in the study performs better than the other two approaches.

Keywords—Machine Learning; Motor Speed Control; PID; Reinforcement Learning

Sliding Mode Observer-based Estimator for Epidemic SIR Model with Generalized Incidence Function: Application to Covid-19

Fares Nafa^{*,1}, Manel Boulfous²

*: f.nafa@univ-boumerdes.dz, ORCID: 0000-0003-0951-860X

¹: *Laboratoire Ingénierie des Systèmes et Télécommunications, Faculty of Technology, University of Boumerdès, Boumerdès, Algeria*

²: *Proximity Public Health Institution (EPSP) Réghaia, Algiers, Algeria.*

ABSTRACT

Forecasting the spread of an epidemic is still a big challenge for researchers and particularly governments. Nowadays, and thanks to mathematics, the transmission of an infectious disease in a host population can be described, modelled and analysed accordingly. The SIR model describes the interactions between three compartments of the population: the number of susceptible (S), infective (I) and recovered (R) individuals. Hopefully, COVID-19 can be modelling accordingly. However, susceptible compartment and infection rate remain the biggest unknown part which impact the incidence function, in addition of seasonal variations and uncertainties in the measurement of infected and recovered individuals. Within this context, we study the problem of state estimation of an SIR model (based on continuous measurement) and design for this aim a sliding mode observer. The role of this observer is basically to estimate all states and especially the susceptible compartment. Also, the proposed observer has the ability to estimate the incidence function (or infectious rate). The main result of this work is the consideration of a global incidence function instead of using bilinear, saturated or specific nonlinear functions. At first stage, we consider a global form of SIR model which includes additionally vaccination and treatment. To understand the dynamics of such systems, we analyse the equilibrium points and the so-called basic reproduction number R_0 . It was proven that the pandemic will vanishes when $R_0 < 1$ and diverges otherwise. After that, we describe a sliding mode observer dedicated to estimate all states variables of the system, namely: S, I and R, and the generalized incidence function. As result, and according to the definitions, an online estimation of R_0 can be guaranteed and then allowing the supervisory the pandemic spread. Furthermore, convergence and asymptotic stability analysis with respect to incidence variation are ensured by a suitable choice of the observer gains through the use of Lyapunov stability theory. To show the effectiveness of the proposed method, numerical experiments are presented by considering Algeria COVID-19 cases for a period of one year within which the pandemic shows several peaks and random variations. The obtained results show satisfactory performances that promote further works.

Keywords— *SIR; Sliding mode Observer; Basic Reproduction Number; COVID-19.*

Comparative Analysis of Retinex Algorithms used in Low-Light Color Image Enhancement

Ferzan Katircioğlu

ferzankatircioglu@duzce.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5463-3792

Duzce MYO, Department of Electronic and Automation, Duzce University, Duzce, TURKEY

ABSTRACT

In color image applications taken under insufficient or uneven light, undesirable situations such as low brightness, poor contrast and sudden changes in light occur. The Retinex theory, which is widely used to low-light color image enhancement, was generally developed to analyze local image derivatives and decompose them into illumination and reflectance components. This paper presents a comparative analysis of state-of-the-art image enhancement algorithms based on Retinex-based algorithms. For this, ten highly preferred Retinex-based methods, which have been used to low-light color image enhancement, have been taken. In addition, five commonly used benchmark measurement metrics were analyzed and used as performance comparison.

It was taken as an enhancement image reflection component in the studies which are (Single Scale Retinex SSR), (Multi Scale Retinex MSR) and (Multi Scale Retinex with Color Restoration MSRCR) presented. Therefore, in these studies, the images are unnatural and the problem of excessive improvement was frequently seen. Although the (Naturalness Preserved Enhancement Algorithm NPE) method prevents the results from excessive improvement, it has shown less impressive performance than other methods in terms of both efficiency and visual quality in the comparison analysis. The performance of the (Multi-scale Fusion Enhancing Method MF) method is promising in many scenes. However, due to the blindness of the lighting structure, MF has the risk of losing the realism of the richly textured areas. (Structure-Revealing Low-Light Image Enhancement Via Robust Retinex Model, RRM) and (A Structure and Texture Aware Retinex Model, STAR) methods have been found successful in terms of naturalness and clarification of details.

Comparison results are given visually and numerically. This comparative analysis study aims to assist researchers to develop new efficient algorithms in the field of Retinex-based image enhancement.

Keywords—*Low-Light Color Image Enhancement; Retinex Algorithm; Comparison metrics.*

Düşük-Işıklı Renkli Görüntülerin İyileştirilmesinde Kullanılan Retineks Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Ferzan Katırcıoğlu

ferzankatircioglu@duzce.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5463-3792

Duzce MYO, Department of Electronic and Automation, Duzce University, Duzce, TURKEY

ÖZET

Yetersiz veya düzgün olmayan ışık altında alınan renkli görüntü uygulamalarında, düşük parlaklık, zayıf kontrast ve ışıkta ani değişiklik gibi istenmeyen durumlar meydana gelmektedir. Düşük ışıklı renkli görüntülerini iyileştirilmesi için yaygın kullanılan Retineks teorisi, genel olarak yerel görüntü türevlerini analiz ederek, aydınlatma ve yansıtma bileşenlerine ayırmak için geliştirilmiştir. Bu çalışma, Retineks tabanlı algoritmalara dayanan son teknoloji görüntü geliştirme algoritmalarının karşılaştırmalı bir analizini sunmaktadır. Bunun için günümüze kadar düşük ışıklı renkli görüntülerin iyileştirilmesinde kullanılan ve çok tercih edilen on adet Retineks esaslı yöntem alınmıştır. Ayrıca beş adet yaygın kullanılan karşılaştırma ölçüm metrikleri de incelenmiş ve performans karşılaştırması olarak kullanılmıştır.

Sunulan (Tek ölçekli retineks SSR), (Çok ölçekli retineks MSR) ve (Renk restorasyonu yapabilen çok ölçekli retineks MSRCR) çalışmalarında iyileştirme görüntü yansıtma bileşeni olarak alınmıştır. Bu nedenle bu çalışmalarda görüntüler doğal değildir ve aşırı iyileşme sorunu çalışılan bütün görüntülerde sıklıkla görülmüştür. (Doğallık korumalı iyileştirme algoritması NPE) yöntemi, aşırı iyileştirmeden kaynaklanan sonuçları engellemesine rağmen, yapılan karşılaştırma analizlerinde hem verimlilik hem de görsel kalite açısından diğer yöntemlere göre daha az etkileyici performans göstermiştir. (Füzyon tabanlı iyileştirme metodu MF) yönteminin performansı birçok görüntüde umut vericidir, sayısal sonuçları en iyi performans gösteren yöntemlere yakındır. Ancak aydınlatma yapısının körlüğü nedeniyle MF, zengin dokuya sahip bölgelerin gerçekçiliğini kaybetme riskine sahiptir. (Yapıyı ortaya çıkaran düşük ışıklı iyileştirme metodu RRM) ve (Yapı ve dokuya duyarlı retineks model STAR) yöntemleri doğallık ve detayların belirginleştirilmesi noktalarında en çok başarılı yöntemler olarak tespit edilmiştir.

Karşılaştırma sonuçları görsel ve sayısal olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmalı analiz çalışması Retineks esaslı görüntü iyileştirme alanında yeni verimli algoritmalar geliştirmek için araştırmacılara yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler—Düşük Işıklı Renkli Görüntü İyileştirme; Retineks Algoritması; Karşılaştırma metrikleri.

Study of New Scintillator Materials Based on Lanthanide Halides in the Field of Non-Destructive Testing

T. Nouioua^{*,1}, A. H. Belbachir², A. Dib² Et A. Amrani³

^{*}: tarek.nouioua@univ-tebessa.dz,

¹ Département de mathématiques et d'informatique, Université de Tébessa, 12002 Tébessa

² Département de Physique, Université UST Oran, El Mnaouer Bir el djir Oran

³ Département de Physique, université d'Es-senia Oran

ABSTRACT

A very particular interest has been brought to the Lanthanides Halides, which are; one has to remember; at the base of many applications of radioprotection. As a result, their role in future industries will continue to grow in importance. The proposed work concerns the search for new materials based on lanthanides halides whose type of crystalline structure is an important factor, it is responsible for density (belongs to the heavy compounds) and we assume that they are much more suitable to serve as a protection against X-rays. This study is based on a simulation under GEANT4 and WIEN2k.

Under GEANT4 we study compounds with densities between (5.94-7.64 g/cm³) and having a type of structure (LaF₃ and β -YF₃), compounds LnX₃ (Ln= La...; X=F, I, Cl Br). An exception is made for LuX₃ (X=F, I, Br) which have different structure but as we will see it has a very good electronic properties giving it the chance to be a very suitable candidate as a shielding material against X-Rays. The simulation established with samples of different materials with different thicknesses (2mm, 3mm, 3.5mm and 4mm) in the field of energies of X-rays between 38-80 KeV. we study the interaction of X-Rays with the materiel and we calculate the energy deposited in the material and the energy transmitted, other effects also have been studied such as oger effect and reflected energy.

Under WIEN2k we perform structures generation and we study their properties such as DOS, electronic densities and Optic properties which is very interesting in our research because our candidate material must having no absorption in the visible light range (1.55-3.1 eV) .

Keywords—*ab initio Calculation; DFT; Structural Properties; Scintillators; Lanthanide Halides*

Memristor Based 2 dof PID Controller Design and Speed Control Test in DC Motor

Kamil Orman

korman@erzincan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7236-9988
Computer Engineering Dept., Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Turkey

ABSTRACT

Memristor, which has been receiving an increasing interest in recent years and is called the missing circuit element, is tested in different areas. The applicability of the memristor, which does not have much research on its applications in the field of control systems, especially in the control tasks to be performed on nano-sized circuits with the widespread use of high-level memristor based controller designs and its use in real circuit designs will increase the sensitivity of these circuits and devices. In this study, a memristor based 2 dof PID controller (2 Dof Mem-PID) is designed to shed light on the applicability of memristor in the field of control systems. The purpose of using 2-Dof controllers is to overcome performance, reference tracking, disturbance rejection and robustness trade-offs that 1-Dof controllers fall short of. In 2 Dof controllers, thanks to the parameter added to the controller structure, it is possible to improve the transient state response of the system while maintaining the disturbance rejection performance. The derivative and integral operations in the designed controller structure have been done thanks to memristor circuits. In order to test the performance of the designed controller, the speed control of a DC motor was simulated using the designed 2 Dof Mem-PID and 2 Dof PID controllers. The parameters belonging to the 2 Dof PID controllers are optimized by the PSO algorithm and the same parameters are used in the 2 Dof Mem-PID controller. The graphics of the test results of the DC motor at low and high speeds are presented for comparison.

Keywords—*Memristor; 2 DOF PID; 2 DOF Mem-PID; Speed Control*

Memristor Tabanlı 2 dof PID Kontrolör Tasarımı ve DC Motorda Hız Kontrol Testi

Kamil Orman

korman@erzincan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7236-9988

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Turkey

ÖZET

Son yıllarda artan bir ilgi görmekte olan ve eksik devre elemanı olarak adlandırılan Memristör farklı alanlarda test edilmiştir. Kontrol sistemleri alanındaki uygulamalarına yönelik fazla araştırma bulunmayan memristör ile yapılan çalışmalar arttıkça özellikle üst düzey memristor tabanlı kontrolcü tasarımlarının yaygınlaşması ile nano boyuttaki devreler üzerinde yapılacak kontrol görevlerinde uygulanabilirliği ve sonrasında gerçek devre tasarımlarında kullanılması bu devrelerin ve cihazların hassasiyetini arttıracaktır. Bu çalışmada Memristörün kontrol sistemleri alanında da uygulanabilirliğine ışık tutmak için Memristör tabanlı bir 2 dof PID (2 Dof Mem-PID) kontrolcüsü tasarlanmıştır. 2-Dof denetleyicileri kullanmanın amacı, 1-Dof denetleyicilerin yetersiz kaldığı performans, referans izleme, bozulmanın bastırılması ve dayanıklılık gibi dengelemelerinin üstesinden gelmektir. 2 Dof kontrolörde, kontrolör yapısına eklenen parametre sayesinde bozulmanın bastırılması performansını korurken sistemin geçici durum cevabını iyileştirmek mümkündür. Yaygın kullanılan 2 Dof PID kontrolör yapısındaki türev ve integral işlemleri tasarlanan kontrolcüde memristörlü devreler sayesinde yapılmıştır. Bu sayede memristör tabanlı bir 2 Dof PID kontrolcüsü elde edilmiştir. Tasarlanan kontrolcünün performansını test etmek için bir DC motorun hız kontrolü tasarlanan 2 Dof Mem-PID ve 2 Dof PID kontrolcülerini kullanarak simüle edilmiştir. 2 Dof PID kontrolcüsüne ait olan parametreler PSO algoritması ile optimize edilmiştir ve aynı parametreler 2 Dof Mem-PID kontrolcüsünde de kullanılmıştır. DC motorun Düşük ve yüksek hızlarda yapılan test sonuçlarına ait grafikler kıyaslama yapılabilmesi açısından sunulmuştur.

Keywords—Memristor; 2 DOF PID; 2 DOF Mem-PID; Hızı Kontrolü

Molecularly Imprinted QCM Sensor for Real-Time Anti-Depressant Detection

Ezgi Aldemir^{*1}, Ceren Haktanir¹, Lokman Uzun²

^{*}: ezgiialdemir@gmail.com

¹: Department of Chemical Engineering, Gazi University, Ankara, Turkey

²: Department of Chemistry, Hacettepe University, Ankara, Turkey

ABSTRACT

Prozac, also known as fluoxetine is a selective serotonin re-uptake inhibitor (SSRI) drug, widely used to treat depression, nervous anorexia, autism and bulimia nervosa, which inhibits the selective reuptake of serotonin in central neurons. Depression is a major prevailing condition, and SSRIs are comprehensively used by doctors as a new class of antidepressant. Among the major SSRIs, fluoxetine has been proved to be highly effective, showing good efficacy in major depression and panic disorder. Pharmaceutical drug residues are variously found in fresh and ground water reservoirs and in hospital effluent due to their general high-level usage, and their loss into the environment have become a particular cause for concern. The increase in the use of antidepressants and the natural excretion of the non-degradable parts of the drugs have also had negative effects on the surrounding waters. Many methods have been tried to determine these wastes in environmental waters and nature. The utilization of molecularly imprinted polymers with quartz crystal microbalance (QCM) is a promising technique for the determination of fluoxetine-like antidepressants. Molecular imprinting technique is based on the creation of cavities in a highly cross-linked polymeric matrix. These cavities have the ability to recognize the size and shape of the template molecule. Removal of the template molecule by any desorption method reveals functional monomer groups in fixed positions and a structure conjugated to the template molecule is formed.

In this study, molecularly imprinted support material was prepared and characterized using FTIR, SEM and Ellipsometer. The synthesized support was attached to the QCM sensor and the determination of the target molecule, Prozac, on the surface of the QCM chip, and kinetic and affinity binding studies were carried out by introducing Prozac solutions of different concentrations to the QCM.

Keywords—*Prozac, Fluoxetine Hydrochloride, Molecularly Imprinted Polymers (MIP), Quartz Crystal Microbalance (QCM)*

Geomechanical Assessments and Estimation of Bearing Capacity of the Buyukyenice Dam Site (Balıkesir, Turkey)

Mehmet Celal Tunusluoğlu

ctunus@comu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2421-6864

Department of Geological Engineering, Canakkale Onsekiz Mart University, Terzioğlu Campus, 17020 Canakkale, Turkey

ABSTRACT

Rock mass evaluation for the foundations of the Buyukyenice impervious central core rockfill dam to be constructed in the southwestern part of Balıkesir, Turkey was investigated. The Buyukyenice dam project aims to provide water for irrigation of 169 hectares of village areas. This dam is planned to have a storage capacity of 1.5 million m³ of water. The aims of this study are to determine the geomechanical properties of foundation rock mass and estimate the safe bearing capacity of the proposed Buyukyenice dam site. The dam site consists of silty clayey sandstone, silty sandstone, sandstone, tuff and agglomerate tuff. The study involves three stages: field studies, laboratory testing and estimation of bearing capacity with different empirical equations. Field studies involved detailed discontinuity surveys, geotechnical borehole drilling, Lugeon permeability tests and sampling for index and some mechanical tests. In this study, a total of 10 boreholes with a total depth of 262 m were drilled to determine engineering properties of the geological units besides their vertical and horizontal distributions. Lugeon tests were made in 10 boreholes and the permeability of the units were investigated. Laboratory tests were carried out to determine unit weight, porosity, water absorption by weight, uniaxial compression strength and tensile strength tests. Rock mass classifications have been performed according to Rock Mass Rating (RMR), Rock Mass Quality (Q), Rock Mass Index (RMi) and Geological Strength Index (GSI) systems for the dam site. As a general conclusion, the rock mass at the dam site was divided into three classes from fair to very poor rock. The ultimate bearing capacity was computed from different equations that utilize the Hoek–Brown empirical failure criterion for safe design. Finally, the ultimate bearing capacity values of the dam foundation rocks was found an average of 2.1 MPa.

Keywords— Buyukyenice dam; RMR; Q; RMi; GSI; Bearing capacity

Uygulama Katmanında Desen Arama Tabanlı Güvenlik Duvarı

Ercan Çelen^{*1,2}, Tolga Kızılkaya^{1,2}, Harun Şeker¹, Cengiz Togay²

^{*}: ercan.celen@bg-tek.net, ORCID: 0000-0002-2323-1181

¹: BG-TEK Bilgi Güvenliği Teknolojileri, Bursa, Türkiye

²: Bilgisayar Mühendisliği, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

ÖZET

Ağların güvenliğini sağlayan en önemli teknolojilerden birisi güvenlik duvarlarıdır ve temelde, paket dâhilindeki bilgiler ve ön tanımlı kurallar kullanılarak paketlerin geçişine izin verilmesini ya da ağdan düşürülmesini sağlayabilmektedir. Standart güvenlik duvarları, OSI katman üç (ağ) ve katman dörtte (taşıma) paketlerin başlık bilgilerini inceleyerek, sırasıyla IP ve port bilgilerine göre önceden hazırlanmış olan kuralları kullanarak, gelen ve giden paketleri filtreleyebilmektedir. Kuralda verilen kaynak veya hedefe ait bilgiler, kuralda tanımlı aksiyona (izin ya da düşürme) göre işlenir. Güvenlik duvarları donanımsal ya da yazılımsal şekilde özel ağlara entegre edilebilmektedir. Yazılımsal güvenlik duvarları genellikle sıkılaştırılmış işletim sistemleri üzerinde çalıştırılmaktadır. Daha önceki tecrübelerimize dayanarak istikrarlı ve sıkılaştırılmış açık kaynak kodlu UNIX benzeri bir işletim sistemi olan FreeBSD, sunulan çalışmada tercih edilmiştir. FreeBSD barındırdığı açık kaynak kodlu paket filtreleme (PF) yazılımı kural tabanlı bir güvenlik duvarı olup geleneksel paket filtreleme işlevlerini başarı ile yerine getirebilmektedir. Ancak PF çok güçlü bir güvenlik duvarı olmasına karşın, katman yedi seviyesinde filtreleme yapamamaktadır. Son zamanlarda gerçekleştirilen atakların doğrudan uygulamaları hedef alması nedeni ile standart güvenlik duvarları yetersiz kaldığından OSI katman yedide paket içeriğine bakarak filtreleme yapan uygulamalara özel güvenlik duvarları (WAF, Web application firewall) geliştirilmeye başlanmıştır. Bu geliştirmeler genelde her uygulama için ayrı ayrı yazılması sebebiyle sistem maliyetlerini de artırmaktadır. Örnek olarak sadece SQL enjeksiyon testleri için WAF'ın kurulması ya da SIP paketlerinde içerik büyüklük testinin yapılması için ayrı iki güvenlik duvarının kullanılması yerine bildiride sunulan yaklaşım kullanılabilir. Geliştirilen yöntem uygulamadan (SIP, Web, vb.) bağımsız olarak paketlerde desen araması yapmaktadır. Aranılan desen sayısı ve trafiğe bağlı olarak oluşabilecek performans problemlerine yönelik arama algoritmaları ve çekirdek seviyesinde paket işleme yaklaşımları uygulanmıştır. Algoritmalar ve aranacak desen sayısına bağlı oluşan performans sonuçlarına göre optimum değerler konusunda çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler— Bilgisayar Ağları; Katman 7 Filtreleme; Desen Arama Algoritmaları; Çekirdek Programlama; Güvenlik Duvarı; FreeBSD

Pattern Search-Based Firewall in Application Layer

Ercan Çelen^{*1,2}, Tolga Kızılkaya^{1,2}, Harun Şeker¹, Cengiz Togay²

^{*}: ercan.celen@bg-tek.net, ORCID: 0000-0002-2323-1181

¹: BG-TEK Bilgi Güvenliği Teknolojileri, Bursa, Türkiye

²: Bilgisayar Mühendisliği, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

ABSTRACT

Firewalls are one of the most important technologies that ensure the security of networks, and basically, packets can be allowed to pass through or dropped from the network by using information included in the package and pre-defined rules. Standard firewalls can filter incoming and outgoing packets by analyzing header information and using pre-prepared rules according to IP and port information on OSI layer three (network) and four (transport). Information about the source or target given in the rule is processed according to the action (permission or drop) defined in the rule. Firewalls can be integrated into private networks in hardware or software. Software firewalls are generally run on hardened operating systems. Based on our previous experience, FreeBSD, a stable and hardened open-source UNIX-like operating system, was chosen in the presented study. FreeBSD's open-source packet filtering software (PF) is a rule-based firewall and can successfully perform traditional packet filtering functions. However, although PF is a very strong firewall, it cannot filter at layer seven. Since the recent attacks target applications directly, standard firewalls are insufficient, special firewalls (WAF, Web application firewall) for applications are developed that filter by looking at the packet content in OSI layer seven. These improvements generally increase system costs as they are written separately for each application. For example, instead of installing WAF for SQL injection tests or using two separate firewalls for content size testing in SIP packages, the approach presented in the paper can be used. The developed method searches for patterns in packages regardless of the application (SIP, Web, and vb.). Search algorithms and kernel-level packet processing approaches have been applied for performance problems that may occur depending on the number of patterns and traffic. A study has been made about optimum values according to the performance results based on algorithms and the number of patterns to be searched.

Keywords— *Computer Networks; Layer7 Filtering; Pattern Searching Algorithm; Kernel Programming; Firewall; FreeBSD*

Molecular Docking Prediction of Metamizole on CA15-3 Tumor Marker

Deniz Karataş

deniz.karatas@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8176-4883

Bioengineering Department, Manisa Celal Bayar University, Yunusemre, Manisa, 45140, Türkiye

ABSTRACT

Purpose: Accurate measurement of tumor markers in the blood is important to accurately evaluate the efficacy and treatment success of chemotherapeutics. It has been shown that the drugs used by the patients may interfere with the analysis of these markers. It is not possible to determine how many patients' results have interfered in the past, especially with a frequently used analgesic such as metamizole. Since it is not possible to detect measurement errors instantly in the clinic, it can be possible to take precautions for errors that may occur with pre-experiments. As a result, misvaluation of the patients' clinical condition and malpractice can be prevented. Therefore, the aim of this study is to investigate the interference property of metamizole on CA15-3 marker by molecular docking and to evaluate its role in measurement error.

Method: Doking was run using Autodock V4.2 program. In this study, the interaction of different conformations of metamizole with CA15-3 was modeled. First of all, polar hydrogens and Gasteiger charges of the receptor (CA15-3) and ligand (Metamizole) molecules were assigned through the graphical user interface of the program. Secondly, XYZ axes are set at 126x126x126 grid points to fit the central atoms of all molecules in the grid box. Thirdly, Grid center of the formed cubic volume was determined 2.944, -14.912 and -19.097 Å, respectively for XYZ coordinates at 0.5 Å spacing. Then, the docking parameters of the receptor / ligand model obtained as a result of autogrid were established. Before submitting docking, the population size and number of conformation run were determined as 300 and 100, respectively, by means of the Hybrid Genetic Algorithm (Lamarckian GA and GA) parameters. The maximum energy evals number was chosen as 25.000.000, which is the longest number.

Findings: Number of distinct conformational clusters found as 38, out of 100 runs, using a rmsd-tolerance of 2.0 Å. The energy of the lower in energy cluster during the docking process is -6.20 kcal / mol for conformation 61. It is calculated between -5.93 and -3.86 kcal / mol for the rest clusters. One of the most important factors resulting from structural changes in the formation of those clusters is the van der Waals (vdW) energy parameter. On the contrary, electrostatic interaction had little effect. For example, for the model number 61, which is the most probable cluster, the vdW contribution was -7.37 kcal / mol, while the electrostatic contribution remained at -0.33 kcal / mol. Similarly, the vdW value of the model number 64, which is the highest energy cluster, was calculated as -5.34 kcal / mol, whereas the electrostatic contribution was -0.01 kcal / mol. Another important parameter that plays a role in the formation of molecular interactions is

H-bonds. For example, 2 H-bonds were formed in conformation 61, which is the most stable model. One was found between the oxygen of Aspartic acid (ASP1116) in the B chain and the polar hydrogen of metamizole (1.94 Å), the other was found between the hydrogen of Glutamine (GLN1120) and the oxygen of metamizole (1.89 Å). On the other hand, the mean of the interaction in the mostly repeated region where the clustering is 9 times was recorded as -5.01 kcal / mol. The lowest energy in this region belongs to conformation 22 with -5.22 kcal / mol. The effective amino acids here are isoleucine (ILE1092) and tyrosine (TYR1066) in the A chain. Another situation observed during docking is that there is increased inhibition due to decreasing interaction energy. For example, while the most probable model number 93 in the region where clustering is the second most repeated with 8 times, the interaction energy of the mentioned model is -4.95 kcal / mol and the inhibition coefficient is 234.66 µM, while the interaction energy of the model number 51 with the highest energy in the same region own -4.42 kcal / mol energy and the inhibition coefficient is 573.5 µM. The trend is exactly the same in 100 conformation. Accordingly, as the interaction increased, as expected, the inhibition decreased.

Results: The negative conformational interaction energies obtained throughout the study suggest that there is an affinity between metamizole and CA15-3. This may cause a spontaneous reaction. The conformational change caused by the interaction may cause molecular detection errors and analytical mismeasurements in immunoassay method. Mismeasurement in tumor markers may cause malpractice risk by causing false clinical evaluations. The results of this study may give a new perspective to clinical researchers to prevent malpractices caused by analytical errors.

Keywords—CA15-3; Metamizole; Molecular Docking; H-bond; vdW

Solution Approach for Exam Scheduling Problem Under Pandemic Conditions

Emre Mumyakmaz*, Hüseyin Sercan Gündoğan¹, Tuğra Keçecioglu², Zehra Kamışlı Öztürk³

*: emre.mumyakmaz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8996-6164

^{*,1,2,3}: Industrial Engineering Department, Eskisehir Technical University Engineering Faculty, Eskisehir, Turkey

ABSTRACT

Exam Scheduling Problems are the issues which address the assignment of exams to appropriate times under certain resource constraints (classroom, time, capacity, invigilator, student, etc.). With the inclusion of the Covid-19 pandemic measures, which are important for human health, to these problems, the necessity to solve the "Exam Scheduling Under the Effect of the Epidemic" problem has emerged. This study aims to find optimal solution to the problem which has been stated and create proper exam schedule for the educational institutions. Assigning exams to time slots is a time-consuming problem educational institution face a few times in each term. Room assignments are either considered within the exam scheduling or this problem can be solved separately. Here, a multi objective mathematical model, with room splitting, is developed for exam-timeslot-room assignments.

Initially, study was focused on one department of engineering faculty of Eskisehir Technical University with 280 students, 8 classrooms and 53 exams. The proposed mathematical model which guaranties the least contact status of students by minimizing five soft constraint violations, has been proposed by using all resources of the faculty at the same time. In addition to this, exams are clustered as easy, medium and difficult by using the K-Means Algorithm for including to relevant constraint in the proposed model. The best solution was obtained with the GAMS. The main goal of this study is to collect exam schedules in one hand for whole departments of the faculty. The number of hard and soft constraints and thus the size of this problem, which is in the NP-Hard class, has increased even more with the necessity of providing healthier exam conditions. With the mathematical model that minimizes the number of those who do not meet the five soft constraints, which are defined by considering pandemic conditions, the solution was obtained which has (0.7) tolerance for 560 students, 325 exams and 13 classrooms. Since an optimal solution could not be obtained for 2 departments simultaneously, it was decided to use a heuristic algorithm, Genetic Algorithm, for a quality solution for the whole departments of the faculty. Since the exam scheduling problem in the pandemic environment is not a problem studied before in the literature, the proposed mathematical model is an original and widely effective model suitable for use by all educational institutions in pandemic conditions.

Keywords— Exam scheduling, pandemic, Covid19, optimization, genetic algorithm

Acknowledgement: This study is supported by TÜBİTAK 2209/A Program and Eskisehir Technical University Scientific Research Projects Committee (ESTUBAP 21LTP015 and 20ADP115).

Application of HIDROTÜRK 1-D Hydrodynamic Sub-Model To Nif Stream

Kağan Cebe^{*,1}, Lale BALAS²

*: kcebe@nevsehir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1288-1362

¹: Civil Engineering Department, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Nevşehir, Turkey

²: Civil Engineering Department, Gazi University, Ankara, Turkey

ABSTRACT

HIDROTÜRK model is the first national hydrological, hydrodynamic, hydrogeological water quality and ecological model developed for the sustainable management of water resources in Turkey. The 1-D hydrodynamic sub-model of the HIDROTÜRK is one of the three individually processing hydrodynamic sub-models, namely one (1-D), two (2-D), and three (3-D) dimensional. Although, the 1-D hydrodynamic sub-model is developed in FORTRAN programming language, the inputs and outputs of the model are controlled by an interface that works as a plugin on QGIS, a free and open source geographic information system (GIS) software with multi-platform support. The 1-D hydrodynamic sub-model solves the Saint-Venant equations, which are the gradually varied unsteady flow equations in the flow direction, and applies dynamic wave routine. The sub-model interprets the channel system as links connected to nodes/junctions. Cross section of the links can be set as a natural, irregular channel section, as well as a trapezoidal, a rectangular or a triangular shaped open channel section, also as a closed culvert or a pipe section. Structures affecting the flow on the channel, such as orifice, weir, bridge or culvert can also be simulated in the sub-model. The sub-model calculates the flow rate and average velocity on each link, cross-sectional flow area and water depth at each node/junction in each time step during the simulation period.

In this study, 1-D hydrodynamic model was applied to the Nif (Kemalpaşa) Stream, which is a tributary of the Gediz River. The storm water depths are calculated in several nodes on the stream according to the 10-year and 50-year flood flow rates. The storm water depths calculated by the 1-D hydrodynamic model are compared with the results of SWMM 5.1 and HEC-RAS 5.0.7 numerical models in order to validate the sub-model's accuracy.

Keywords—HIDROTÜRK; Hydrodynamic Model; Wave Routine; Gediz River; Nif Stream

Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Bazı Verim Unsurlarının Belirlenmesi

Cengiz Yürürdurmaz^{*,1}, Rıdvan Tuşat²

*: cengiz.yururdurmaz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3407-0184

¹: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni,Ziraat Fak.Tarla Bit. Böl.,K.Maraş ,Türkiye

²: Karaman İl Tarım Ve Orman Müdürlüğü, , Karaman, Türkiye

ÖZET

Dünya nüfusunun beslenmesinde buğday çok önemli bir yer tutmaktadır. Gerek dünyada gerekse ülkemizde stratejik öneme sahip olan bu bitki, insanların temel enerji ve protein kaynağı konumundadır. Buğday üretimi bakımından dünyada en çok üretilen ürünlerin başında gelmektedir. Buğday, dünyadaki diğer ülkelerde olduğu gibi Ülkemizde de insan beslenmesindeki en temel besinlerin (unlu mamuller, makarna, irmik, bisküvi, bulgur) hammaddesi olduğundan dolayı diğer tarım ürünlerine göre daha fazla önem arz etmektedir.

Araştırmada, çeşitlerin bazı verim unsurları ile çeşitler arasında tane verimi bakımından bölge koşullarına uygun ve yüksek verimli olanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu araştırmada 12 farklı ekmeklik buğday çeşidi (Yakamoz, Ziyabey 98, Basribey 95, Ceyhan 99, Meta 2002,Yüreğir 89, Gökkan, Gönen 98, Seri 2013, Adana 99, Kaşifbey 95 ve Gelibolu çeşitleri) Kahramanmaraş ekolojik koşullarında, 2017-2018 üretim sezonunda yetiştirilmiş ve bölge koşullarında verim unsurları değerlendirilmiştir. Deneme, tesadüf blokları deneme planına göre, 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede çeşitlere ait bitki boyu, başak uzunluğu, başaktaki tane sayısı, başaktaki tane ağırlığı, bin tane ağırlığı, tane verimi ve hektolitreye ağırlığı gibi verim unsurları incelenmiştir.

Bu araştırma sonucunda incelenen her özellik bakımından çeşitler arasında önemli farklılıklar görülmüştür. Bitki Boyu 77.67-86.33 cm, Başak uzunluğu 7.77-8.80 cm, başaktaki tane sayısı 33.07 -51.93 adet, başaktaki tane Ağırlığı 1.36-2.13 g, bin tane ağırlığı 35.10-39.47 g, tane verimi 597.50 - 734.60 kg/da, hektolitreye ağırlığı 79.33-81.17 kg/hl arasında değişim göstermiştir. Tane verimi ortalama değerleri incelendiğinde tane verimi yönünden en yüksek değeri 734.60 kg/da ile Basribey 95 çeşidinden, en düşük değer 597.50 kg/da ile Gelibolu çeşidinden elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmayla Kahramanmaraş ekolojik şartları için tane verimi için en yüksek verim değerine sahip olan Basribey 95 ile Seri 2013 çeşitleri önerilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler— Ekmeklik Buğday, Çeşit, Tane Verimi, Verim Unsurları.

Determining Some Yield Elements Of Different Bread Wheat Types Under Kahramanmaraş Conditions

Cengiz Yürürdurmaz^{*,1}, Rıdvan Tuşat²

^{*}: cengiz.yururdurmaz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3407-0184

¹: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni, Ziraat Fak. Tarla Bit. Böl., K. Maraş, Türkiye

²: Karaman İl Tarım Ve Orman Müdürlüğü, , Karaman, Türkiye

ABSTRACT

Wheat has a very important place in the nutrition of the world population. This plant, which has strategic importance both in the world and in our country, is the main source of energy and protein for humans. It is one of the most produced products in the world in terms of wheat production. Wheat is more important than other agricultural products because it is the raw material of the most basic foods in human nutrition (bakery products, pasta, semolina, biscuit, bulgur) in our country as in other countries in the world.

In the research, it was aimed to determine some of the varieties with some yield elements and among the varieties that are suitable for the conditions of the region in terms of grain yield. In this study, 12 different bread wheat varieties (Yakamoz, Ziyabey 98, Basribey 95, Ceyhan 99, Meta 2002, Yüreğir 89, Gökkan, Gönen 98, Seri 2013, Adana 99, Kaşifbey 95 and Gelibolu varieties) were produced in Kahramanmaraş ecological conditions, 2017-2018. It was grown in season and its yield elements were evaluated in regional conditions. The experiment was carried out in 3 replications according to the randomized blocks trial plan. In the experiment, yield factors such as plant height, spike length, number of grain per spike, grain weight per spike, thousand grain weight, grain yield and hectoliter weight were investigated.

As a result of this research, significant differences were observed among the cultivars in terms of each trait examined. Plant Height 77.67-86.33 cm, Spike length 7.77-8.80 cm, grain number per spike 33.07 -51.93 pieces, grain weight in spike 1.36-2.13 g, thousand grain weight 35.10-39.47 g, grain yield 597.50 -734.60 kg / da, hectolitre weight 79.33 It varied between -81.17 kg/hl. When the average grain yield values were examined, the highest value in terms of grain yield was obtained from Basribey 95 variety with 734.60 kg/da, and Gelibolu variety with the lowest value with 597.50 kg / da.

With this study, Basribey 95 and Series 2013 varieties, which have the highest yield value for grain yield, can be recommended for Kahramanmaraş ecological conditions.

Keywords— Bread Wheat, Genotypes, Grain Yield, Yield Components

Virtual Reality Applications in Logistics 4.0

Dursun Balkan^{*1}, Göknur Arzu Akyüz²

^{*}: dursunbalkan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4024-9498

¹: University of Turkish Aeronautical Association, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey

²: University of Turkish Aeronautical Association, Department of Logistics Management, Ankara, Turkey

ABSTRACT

Logistic activities are dramatically reshaped by Industry 4.0 philosophy. In this phenomena, multiple technologies come together to provide end to end visibility and traceability of logistic activities across multiple partners. Virtual reality technologies are becoming parts of today's logistics and supply chain activities. This study provides a literature review of virtual reality applications by comprehensively discussing their potential efficiency improvements and benefits from logistics and supply chain perspective. The study reveals significant potential of the technology to be applied in almost all logistics and supply chain processes such as; virtual modeling and simulation in collaborative design and prototyping process; facility layout planning and design; ergonomic workplace planning and design; visualization of sales and outbound logistics activities; visualization of different warehousing, transportation (dynamic freight/container flow simulation) and logistics activities (receiving, storage, sorting, picking); virtualization of manufacturing and assembly processes integrated with CAD/CAM systems; offering customer digital experience for sales, marketing and advertising; providing 3D employee and operator training (manufacturing, maintenance and test personnel); gaming and simulation applications for education and training in Logistics and SCM. The technology also enhances procurement activities by product catalog virtualization and improves human interfaces across the entire procure-to-pay cycle. With all these identified applications, virtual reality is one of the enabler technologies of Industry 4.0 context. It has been revealed that the technology has various applications in different stages of logistics and supply chain integrity and it provides virtual representation of supply chains. It is also important to highlight that use of this technology has increased during covid-19 pandemic since it provides socially distant reality.

Keywords— *Virtual Reality; Logistics; Supply Chain Management*

Zonguldak İli Hava Kirletici Verilerinin Facebook Prophet Algoritması ile Mevsimselliğinin Saptanması ve 12 Aylık Tahminlerinin Yapılması

Mehtap Yücel^{*,1}, Ersin Aytaç²

*: mehtapyucel-67@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-7734-5435

^{1,2}: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

ÖZET

Zaman serileri sıralanan bir dizi analizin belli bir zaman içinde düzenli aralıklarla istatistiksel olarak incelenmesini ve ilerleyen zamanlarda elde edilebilecek verilerin tahmininin güvenilir bir şekilde yapılabilmesini içeren bir dizi veri noktasıdır.

Başka bir deyişle zaman dizinsel sırayla elde edilen verilere ait değişkenlere zaman serisi denilmektedir. Veri $f(t)=y$ zamanının bir işlevidir. Her bir bileşeni belirli bir t anında kaydedilen x_t gözlem grubudur. Bir seri olabilmesi için verilerin en az birisi zamana bağlı olmalıdır. Ayrık zamanlarda gerçekleştirilen gözlemlerde zaman serilerine ayrık zaman serisi, düzenli zaman aralığında devamlı yapıldığında ise sürekli zaman serisi denilmektedir. Bunlara bağlı olarak zaman serilerinde geleceğe yönelik tahmin yapılarak hava kirleticilerinin mevsimsellik özelliği ele alınmıştır.

Araştırmanın Amacı ve Önemi : Araştırmanın amacı Zonguldak ilinin hava kirleticilerinin haftalık, aylık ve yıllık bazda mevsimsellik gösterip göstermediğinin yeni geliştirilen bir yapay zeka algoritması olan Facebook Prophet API ile araştırılması. Ayrıca yine Prophet presedürü kullanılarak önümüzdeki 1 yıllık süreç içerisinde nasıl hareket edeceğinin saptanmasıdır. Araştırma çok güçlü bir algoritma olan Facebook Prophet'ın Türkiye'de ilk defa hava kalitesi verileri üzerine kullanımının Zonguldak ili üzerine uygulanışı olması bakımından önem taşımaktadır.

Araştırma Yöntemi : Araştırmanın ilk adımı www.aqicn.org üzerinden günlük ortalama hava kalitesi verilerinin (PM10, SO₂, NO₂, CO, CO₂) indirilmesi olacaktır. İkinci adımda eksik verilerin lineer interpolasyonla doldurulması işlemi gerçekleştirilecektir. 3. Adımda ise verilerin frekansı ve durağanlığı belirlenecektir. Son olarak projeksiyon yapmaya uygun hava kalitesi verilerin mevsimselliği ve gelecek 12 aylık dönem için öngörülen değişimleri Facebook Prophet algoritması ile modelleneyecektir.

Anahtar Kelime— Hava Kirleticileri; Zaman Serisi; Facebook Prophet

Determining The Seasonality Of Zonguldak Air Pollutant Data With Facebook Prophet Algorithm And Making 12-Month Predictions

Mehtap Yücel^{*,1}, Ersin Aytaç²

^{*}: mehtapyucel-67@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-7734-5435

^{1,2}: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

ABSTRACT

Time series is a series of data points that includes the statistical analysis of a series of analyzes at regular intervals over a certain period of time and the reliable estimation of the data that can be obtained in the future.

In other words, the variables belonging to the data obtained in time sequential order are called time series. The data is a function of time $f(t) = y$. It is an xt observation group, each of which is recorded at a specific time t . In order to be a series, at least one of the data must be time dependent. Time series in observations performed in discrete times are called discrete time series, when they are performed continuously in a regular time interval, they are called continuous time series. Depending on these, the seasonality characteristics of air pollutants were discussed by making predictions for the future in time series.

Purpose and Importance of the Research: The aim of the research is to investigate whether the air pollutants of Zonguldak province show seasonality on a weekly, monthly and yearly basis with Facebook Prophet API, a newly developed artificial intelligence algorithm.

In addition, using the Prophet procedure, it is to determine how it will act in the next 1 year. The research is important in terms of the application of Facebook Prophet, which is a very powerful algorithm, on air quality data for the first time in Turkey, on the province of Zonguldak.

Research Method: The first step of the research will be to download daily average air quality data (PM10, SO2, NO2, CO, CO2) via www.aqicn.org. In the second step, the missing data will be filled with linear interpolation. In step 3, the frequency and stability of the data will be determined. Finally, the seasonality of the air quality data suitable for projection and the predicted changes for the next 12 months will be modeled with Facebook Prophet algorithm.

Keywords—Air Pollutants; Time Series; Facebook Prophet

Biocompatibility of High Entropy Alloys Based on FeMoTaTiZr AND MoTaNbTiZr

V.I. Iovu^{*,1}, P. Socorro-Perdomo¹, N. Florido-Suarez¹, I. Voiculescu², J.C. Mirza-Rosca¹

*: viorel.iovu101@alu.upgc.es, ORCID: 0000-0003-0623-3318

¹: Dept. of Mechanical Engineering, University of Las Palmas de Gran Canaria, Spain

²: Faculty of Industrial Engineering and Robotics, Politehnica University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

Introduction: So far, a lot of metallic biomaterials have been developed, including various alloys. Yet, there is a great need in the field of medicine for solutions regarding metallic biomaterials with superior biocompatibility and mechanical properties capable of meeting the increasingly demanding requirements. Ti alloys are widely used as implants in the human body because of their great biocompatibility and low density but they don't have enough strength for most exigent devices [1]. High Entropy Alloys (HEAs) could be one of these solutions: they may potentially break the properties limits of traditional alloys based on one dominant element. A HEA consists of the mixture of at least five principal metallic elements with near equiatomic percentage [2]. Since the 2000s, extensive worldwide research has been carried out in this field and articles published in journals have grown exponentially.

Purpose: To carry out this study, we have received from the Polytechnic University of Bucharest a total of six samples of two different HEAs (three samples per alloy), named A and B, based on FeMoTaTiZr and MoTaNbTiZr, respectively. These alloys were obtained by vacuum arc remelting (VAR) from high purity raw materials. The main objective of the study is to determine the biocompatibility of both alloys. To do so, their microstructure will be examined through metallography and corrosion tests will be carried out to find out their behavior while submerged in a liquid which simulates the human body fluid.

Experimental: Before the analysis of the samples, they have undergone a preparation process that includes grinding and polishing on an automatic machine. Abrasive papers of SiC in successively finer grit sizes (from 300 - 2500) were used for grinding. The samples were polished with a soft polishing cloth and an agglomerated alpha alumina suspension. Then, the specimens were embedded in a resin to facilitate their handling and get more accurate results. The result after the preparation can be observed in Figure 1. Subsequently, the microstructure of the areas to be observed was revealed through chemical etching with Kroll's reagent and analyzed by bright-field microscopy.

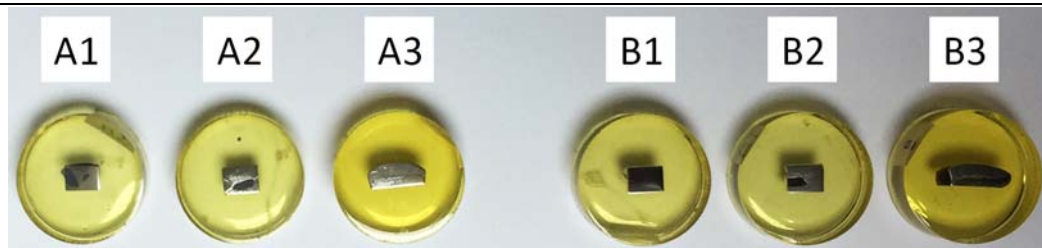


Figure 1 - Samples of HEAs A and B after preparation process

Results: During the macroscopic metallographic analysis non-homogeneous areas and porosity were observed on samples A1, A2, B1 and B2. This might be an indication that the melting and the mixture of the powders were not perfect. Samples A3 and B3 come from another melting batch and they seem to be more promising. Under the microscope the suspicion about the A1, A2, B1 and B2 specimens was confirmed. Figure 2 shows two main areas on sample A1 and B2, and even a microcrack on B2 can be seen; two main phases are observed with regular dendritic structures that have formed during a rapid cooling. Samples A2 and B1 show a very similar microstructure. A3 and B3 show a more homogeneous structure than the previous samples, yet the mixture is not perfect since two main areas are observable with diverse grain sizes. The homogenization process must be improved.

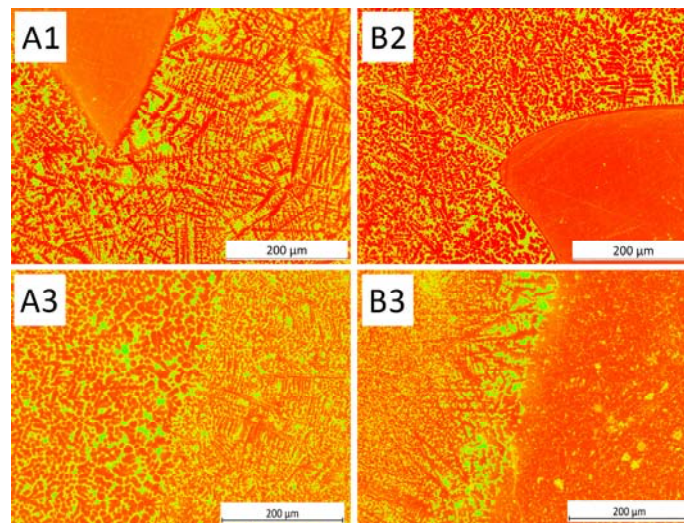


Figure 2 – Samples seen under the microscope after etching (x10 magnification)

From the corrosion tests we found out that HEA B has a higher corrosion potential, then HEA B is less susceptible to corrosion than HEA A. In addition, the pitting potential of HEA A is 0.7V while there are no clear signs of pitting on HEA B, it behaves passively. There are no signs of surface degradation on HEA B after the electrochemical attack either, this suggests HEA B has a good resistance to pitting due to the Nb presence in the composition of the alloy.

Keywords—*BioHEA; High Entropy Alloys; Biocompatibility; Mechanical Properties; FeMoTaTiZr; MoTaNbTiZr*

References

- [1] M. López Ríos *et al.*, “Effects of nickel content on the microstructure, microhardness and corrosion behavior of high-entropy AlCoCrFeNi_x alloys,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-78108-5.
- [2] M. L. Rios, V. L. Baldevenites, I. Voiculescu, and J. M. Rosca, “AlCoCrFeNi High Entropy Alloys as Possible Nuclear Materials,” *Microsc. Microanal.*, vol. 26, no. S2, 2020, doi: 10.1017/s1431927620014555.

Soğuk Bükme Çelik Profilin EN-15512 Kapsamında Deneylerinin Yapılarak Etkili Alanının Bulunması

Cemre Yıldırım¹, Fatih Alemdar²

cmryldrm06@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0486-8347

^{1,2}: Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Dünyada gün geçtikçe artmakta olan nüfusun sonucu olarak endüstriyel üretime olan talep de artmaktadır. Endüstriyel alanın ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve depo alanını verimli bir şekilde kullanabilmek amacıyla endüstriyel raf sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Endüstriyel raf sistemlerinin inşasında çoğunlukla soğuk bükme hafif çelik profillerden yararlanılmaktadır. Fabrika ortamında gerekli kontroller yapılarak belirli kalite standartlarında üretilen bu profillerin, montajı hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Hafif çelik profillerin kullanılması, proje maliyetlerini düşürmesinin yanı sıra çelik konstrüksiyonun hafif olmasından dolayı deprem etkileri altında olumlu performans göstermesini sağlamaktadır. Raf sistemleri genel olarak üç yapısal elemandan oluşmaktadır. Bunlar ayak profili, travers profili ve diyagonal profilleridir. Raf sistemlerinde eksenel ve eğilme etkisi altında çalışan raf ayağı profillerine, raf ekosisteminin gereklerini karşılayabilmesi amacıyla boyu doğrultusunda düzenli delikler açılmaktadır. Raf sistemlerinin tasarımı yapılırken güvenlik, ekonomi ve uygulanabilirlik optimizasyonu için rafların taşıyabileceği yükü belirleyebilmek önemli bir problemdir. Depo raf ayağı profillerinde ki düzenli deliklerin varlığının hesaplamaya doğru bir biçimde katılabilmesi için Avrupa normlarında çeşitli yöntemlerden bahsedilir. Bu yöntemlerden birisi olarak kısa kolon (Stub Column) testi olarak belirtilen, deney ortamında bir ucu sabit bir ucu belirli bir dönme serbestliğine sahip raf ayağı profiline uygulanacak basınç etkisi ile deliklerden kaynaklı kaybedilen alanın meydana getirdiği efektif alanın belirlenmesidir. Deneysel çalışmalar sonucunda belirlenen A_{eff} değeri kullanılarak yönetmeliklerde belirtilen analitik çözümler uygulanır. Diğer bir yaklaşımda da nümerik bir yöntem olan direkt mukavemet yönteminden (direct strength method, DSM) faydalanılır. Bu yöntemde yerel, distorsiyonel ve Euler modlarını içeren eksenel yük kapasitelerine, bilgisayar yazılımı üzerinden (CUFSM yazılımı) ile doğruluk payı yüksek ve hızlı bir biçimde ulaşılmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı endüstriyel raf sistemlerinde kullanılan 100x80x2 boyutlarında uzunluğu boyunca deliklere sahip ayak profilinin, yük taşıma kapasitesinin tayininde kullanılan, etkili kesit alanının EN-15512 yönetmeliğine göre incelenmesi ve nümerik bir yöntem olan DSM ile karşılaştırılmasıdır. Yapılan çalışmada raf ayağı profillerinin uzunluğu doğrultusunda bulunan delikler, kesitin eksenel yük kapasitesini ve burkulma sonrasında ki dayanımını etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler — Soğuk Bükme Profil, Deneysel Çalışma, Analitik Basınç Kapasitesi, Raf Ayağı Profili, Direkt Mukavemet Metodu

Calculation of EN-15512 for Effective Area of Perforated Steel Storage Rack Uprights

Cemre Yıldırım¹, Fatih Alemdar²

cmryldrm06@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0486-8347

^{1,2}: Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

As a result of the increasing population in the world day by day, the demand for industrial production is increasing. The use of industrial storage rack systems is widespread to meet the needs of the industrial area and to use the warehouse area efficiently. Cold-formed profiles are mostly used in the construction of industrial storage rack systems. These profiles, which are produced in certain quality standards by making the necessary controls in the factory, are quickly assembled. The use of cold-form profiles not only reduces project costs, but also provides a positive performance under the effects of earthquake due to the lightness of the steel construction.

Rack systems generally consist of three structural elements. These are the uprights profile, traverse profile, and diagonal profiles. In order to meet the requirements of the rack system, regular holes are drilled in the rack upright profiles that work under the effects of axial and bending in rack systems. It is an important problem to determine the load that the racks can carry for safety, economy, and applicability optimization while designing racking systems. Various methods are mentioned in European norms so that the presence of regular holes in the storage rack upright profiles can be accurately included in the calculation. One of these methods is the determination of the effective area created by the pressure effect to be applied to the rack upright profile, which is specified as the stub column test, with a fixed end and a certain rotational freedom in the experimental test. Analytical solutions specified in the regulations are applied by using the A_{eff} value determined as a result of experimental studies. In another approach the direct strength method (DSM) is used which is a numerical method. In this method, axial load capacities, including local, distortion and Euler modes, are obtained with high accuracy and fast by computer software (CUFSM software).

The main purpose of this study is to examine the upright profile used in industrial storage rack systems with holes along its length of 100x80x2 dimensions, which is used to determine the load carrying capacity, according to EN-15512 regulation and to compare it with DSM, which is a numerical method. In the study, the holes in the direction of the length of the storage rack upright profiles affect the axial load capacity of the section and its post-buckling strength.

Keywords— Cold Formed Steel, Experimental Test, Analytical Pressure Capacity, Steel Storage Uprights, Direct Strength Method

Development of a Mobile Application with Gamification Approach for Contact Center

Merve Dinç

mervdinc@stu.okan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1558-8375

Graduate School of Natural and Applied Sciences, *İstanbul Okan University, İstanbul, Turkey*

ABSTRACT

Technological developments have required the need for different methods in the field of professional life. Gamification is a term that has been found frequently in literature, especially last decade. It is thought that the gamification method is important within the context of focusing particularly Z generation on the work, motivating them, and making the job fun. In today's business world, where remote working is new normal in the Covid 19 pandemic, it becomes even more critical to increase motivation and encourage teamwork. It is a method that enables people to increase their commitment and motivation to their work by using game design elements such as earning points, creating competition, getting trophies, leveling up and title enhancement in non-game areas. In this study, a gamification-based mobile application was designed and developed by using the most common gamification elements for contact center employees. Via the mobile application platform, contact center customer representatives will be able to see their performances, organize team games with group movements, choose individual game scenarios, and compare themselves with their team or other team members if they wish. Through the teams to be formed, competitions and events will be held, and a competitive environment that increases job satisfaction will be created. The platform will also include common area physical indicators and interaction components, especially to enable numerous personnel doing the same job to interact and increase participation, and it will aim to enrich the game interaction with different indicators (traffic light, moving trinket, LED matrix, etc.) outside the screen. A productive and happy working environment can be created with the awards and events determined for employees through gamification applications. Apart from individual competitions, it is ensured that teammates encourage each other through team spirit work by setting goals as a group. Orientation and training programs are also carried out through this platform. Contact center representatives will follow their shifts, gamification scores, and training through a single application.

Keywords—*Gamification; Mobile Application; Digital Gamification; Contact Center*

Effect of Vegetable Fiber's Nature on Mechanical Performance and Transfer Properties of Mortars Containing Metakaolin

Belkadi Ahmed Abderraouf^{1*}, Dridi Meriem², Oussama. Kessel¹, Mohamed Lyes Kamel Khouadjia³,

*belkadi_ms@hotmail.fr, ORCID: 0000-0002-4271-7988¹:

¹: Department of Civil Engineering, Mohammed El-Bachir Ibrahimi University of Bordj Bou Arreridj, Algeria.

²: Department of Civil and Hydraulic Engineering, University of Mohamed Khider Biskra, Algeria.

³: laboratory of Materials and durability of constructions (LMdc), university Mentouri of Constantine, Algeria.

ABSTRACT

In recent years, the use of vegetable fibers regains the interest. Indeed, these fibers may represent an alternative to traditional fibers used in building materials, such as polypropylene fibers. Sustainable development requires materials that are respecting the environment and therefore natural materials. In this sense, the vegetable fibers used as reinforcement for cementitious materials constitute very interesting option for the construction industry.

Thus, this article examines the mechanical performances (flexural strength) and the transfer properties (thermal conductivity and accelerated carbonation) of cementitious mortars reinforced with vegetable fibers. The vegetable fibers used in this work (Dis, Alfa, Date palm and Hemp) were previously treated with calcium hydroxide.

The results obtained by this work show that the reinforced mortars of vegetable fibers present a better deformation capacity than the control mortar without fibers. In addition, the best bending strength was recorded for hemp mortars and date palm. Concerning the thermal conductivity of the fibrous mortars, it was reduced by about 15%, although the fiber content introduced was relatively low (0.1%). However, the latter has led to an increase in the depth of the carbonation.

The results obtained by this work suggest that there is a promising future for the use of vegetable fibers in cementitious materials.

Keywords—Vegetable Fibers, Thermal Conductivity, Flexural Strength, Accelerated Carbonation.

Kumaş Boya Prosesinde Soğutma Suyunun, Soğutma ve Boyama Amaçlı Tekrar Kullanılması

Fedai AYZAZ^{*,1}, Can Kanberoğlu²

*: fedayi.ayaz@kadifeteks.com

¹:AR-GE Merkezi, Kadifeteks Mesucat San. A.Ş., Sakarya, Türkiye

ÖZET

Tekstil endüstrisi yoğun olarak doğal kaynakların tüketimiyle üretim yapan sektörlerin başında gelmektedir. Kumaş geliştirme çalışmalarında, iplik üretiminden son ürün haline gelene kadar yapılan işlemlerde kullanılan su, enerji ve hammadde çoğu sektörle kıyaslanamayacak kadar çoktur ve kullanılan doğal kaynakların geri kazanılması neredeyse imkansızdır. Özellikle tekstil boyama işlemlerinin farklı aşamalarında kullanılan su ve enerji miktarının fazla olması bu alanda iyileştirme çalışmalarını zorunlu kılmaktadır. İşletmemiz boyahane işlemleri sırasında kullanılan su miktarı boyanacak kumaş miktarına ve prosese göre değişmekle birlikte bir proses için 400 tonları bulmaktadır. Dolayısıyla bir boyama işlemi için kullanılan enerji miktarı da uygulanan prosese göre yükselmektedir. Üretim proses şartlarının yüksek sıcaklık ve basınca sahip olması ve kullanılması zorunlu olan doğal kaynaklar birim üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Üretim şartları ve müşteri beklentileri düşünüldüğünde mevcut durumun hem doğaya geri dönüşü olmayan zararlar verdiği hem de işletmemizin pazardaki rekabet gücünü birim üretim maliyetleri açısından kaybettiği tespit edilmiştir. Ar-Ge Merkezi proje çalışmaları kapsamında yapılan ön fizibilite faaliyetleri sayesinde bu alanda yaşanan yüksek kullanımların ve verimsizliğin engellenebileceği anlaşıp çalışmalara başlanmıştır. Sürdürülebilir yöntemler yardımıyla doğal kaynakların korunarak çevreci ürünlerin üretilmesini sağlayan bu çalışmada, kumaş boyama işlemlerinde kullanılan soğutma suyunun soğutma ve boyama amaçlı kullanımı sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda geliştirilen proses, akış diyagramları ve kullanılan yöntemler sayesinde doğal kaynak tüketimi azaltılmıştır. Yapılan Ar-Ge proje çalışmaları sonrasında geliştirilen proses sayesinde yıllık 2052000 Kw/yıl enerji ve 75429 m³/yıl su tasarrufu sağlanmıştır. Yapılan geliştirmeler sayesinde işletmemiz 776000 TL/yıl tasarruf sağlanmıştır. Bu sayede hem sürdürülebilir üretim yöntemleri geliştirilmiş hem de birim üretim maliyetleri azaltılarak pazardaki rekabet gücü artırılmıştır. Bunun yanı sıra yapılan proje çalışmalarının çıktıları işletme içerisinde iki farklı Ar-Ge projesinin başlamasına olanak sağlayarak sürdürülebilir üretim metodolojilerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler—*Tekstil, Su Tasarrufu, Enerji Tasarruf, Ar-Ge, Proses*

Re-Use Of Cooling Water in the Fabric Dyeing Process for Cooling and Dyeing Purposes

Fedai AYZ^{*,1}, Can Kanberoğlu²

*: fedayi.ayaz@kadifeteks.com

¹:AR-GE Merkezi, Kadifeteks Mesucat San. A.Ş., Sakarya, Türkiye

ABSTRACT

The textile industry is one of the sectors that produce intensively with the consumption of natural resources. In fabric development studies, water, energy and raw materials used in the processes from yarn production to the final product are incomparable with most sectors and it is almost impossible to recover the natural resources used. Especially the high amount of water and energy used in different stages of textile dyeing processes necessitates improvement studies in this area. The amount of water used during the dyehouse operations of our company varies according to the amount of fabric to be dyed and the process, but it reaches 400 tons for a process. Therefore, the amount of energy used for a dyeing process increases according to the process applied. The natural resources that have to be used and the production process conditions have high temperature and pressure directly affect the unit production costs. Considering the production conditions and customer expectations, it has been determined that the current situation causes irreversible damages to the nature and that our company has lost its competitive power in the market in terms of unit production costs. Through to the pre-feasibility activities carried out within the scope of the R&D Center project studies, it was understood that the high usage and inefficiency in this area could be prevented and the studies started. In this study, which ensures the production of environmentally friendly products by preserving natural resources with the help of sustainable methods, the use of cooling water used in fabric dyeing for cooling and dyeing purposes has been provided. Natural resource consumption has been reduced thanks to the processes developed in the studies, flow diagrams and methods used. Through to the process developed after the R&D project studies, an annual energy saving of 2052000 Kw / year and 75429 m³ / year of water was achieved. Through to the improvements made, our business has achieved a savings of 776000 TL / year. In this way, both sustainable production methods were developed and the competitive power in the market was increased by reducing unit production costs. In addition, the outputs of the project studies enable the initiation of two different R&D projects within the enterprise, allowing the development of sustainable production methodologies.

Key Words: *Textile, Water Saving, Energy Saving, R&D, Process*

Classification of Radio-Frequency Signals from Drones with Deep Learning Models

İlyas ÖZER

iozer@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2112-5497

Department of Computer Engineering, Bandırma Onyedi Eylül University, Balıkesir, Turkey

ABSTRACT

In recent years, the use of unmanned aerial vehicles has spread over a wide area. These vehicles, also known as drones, are finding a place for use in a different space daily with their technologies such as cameras, laser sensors and GPS. Also, the expansion of the drone market and the reasonable prices make it possible for many people to access drones. However, the widespread use of drones brings with it some security problems. Some of the security threats posed by drones are issues such as unauthorized viewing of personal areas, unauthorized access to commercial flight areas, taking images from military and strategically important places and organizing attacks on these places. In recent years, attacks with drones have reached alarming proportions. The attack by drones on the Saudi oil field Aramco, similarly targeting the Abha airport and the attacks on the Russian military base Hmeymim in Syria can be given as examples of these attacks. There have also been reports of drones entering commercial airfields at Dubai and Singapore airports. As a result, there were delays in flights.

Rule makers make some legal regulations regarding the use of drones. Besides, several systems are being developed to detect drones in areas of military and strategic importance. However, the relatively smaller dimensions of drones compared to manned platforms make it difficult to detect them with radars and cameras. Also, studies are carried out for the development of acoustic-based systems. Here, too, other environmental noises are a major source of the difficulty. On the other hand, drones generally use radio frequencies (RF) to control or transmit images. These RF signals communicate with the ground control station (GCS). Here, the GCS can be a professional platform and a computer or smartphone, depending on the type of drone. Thanks to RF signals, it is possible to detect drones, and in certain cases, information such as drone models can be obtained.

In this study, drone classification is made on an RF dataset previously published in the literature. The dataset was obtained from three separate drone models. These are AR, Bebop and Phantom. In addition, data were collected in video recording, hovering and flying modes for all three drones. Also, background RF activities were recorded in an environment where there is no drone. The dataset consists of 227 segments in total. In the literature, studies such as binary classification (drone, not drone) or detection of drone mode have been carried out on the same dataset. In this study, the modes of each drone are discussed separately. Accordingly, the problem is handled under 10 classes, of which 9 are drone signal and one is background RF activity.

Deep learning models are machine learning algorithms that have been widely used in recent years. In this study, fully connected deep neural network (FCDNN) and long short-term memory network (LSTM) models were used for classification. FCDNN models do not make any preliminary assumptions about the data. However, LSTM is a feedback neural network model specializing in detecting long-term temporal dependencies between data. 80% of the data was used for training in the classification process and the remaining 20% for testing. In the first two layers of the LSTM model, there are bidirectional LSTM layers, each consisting of 100 modules. After these, there is the fully connected layer consisting of 100 neurons. The activation function of this layer is the rectified linear unit (ReLU). In the last layer, there is again a fully connected layer. This layer consists of 10 neurons and includes the softmax activation function to obtain probability distributions between classes. The FCDNN model has the same number of layers as the LSTM model. This entire model consists of fully connected layers. There are 100 neurons in the first three layers and all of them have ReLU activation functions. The last layer has the same features as the LSTM model. Both models were trained for 500 epochs and the highest scores among them are reported.

In the LSTM model, the performance value for 10 classes was 66.06%. In the FCDNN model, the performance value was 63.97%. RF signals are time-dependent signals. LSTM models are very successful in detecting temporal dependencies. On the other hand, FCDNN models do not make any preliminary assumptions about the data. Accordingly, while they can be applied in a wide range of areas, their performance often lags behind specialized models for a particular task. Accordingly, the LSTM model is considered to provide better performance.

Keywords — *Radio-Frequency; Drone; Deep Learning*

Gender Recognition over Medical Record using BiLSTM

A Case Study: Mesothelioma's Disease

Kutlucan Görür^{*,1}, Onursal Çetin¹

^{*}: kgorur@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3578-0150

¹: Bandirma Onyedi Eylul University, Electrical and Electronics Engineering Department, Balıkesir, Turkey

ABSTRACT

Gender recognition is stated as a very important feature in human identity. This feature is used in various areas of Human-Computer Interaction (HCI), such as security systems, video surveillance systems, online purchasing systems, judicial systems, transportation, and medical healthcare/diagnosis systems. There are many methods to identify gender estimation, including biological signals (Electroencephalography/EEG), face and hand patterns, the voice of speech, and handwriting. In order to achieve high performance and robustness in gender classification, as far as we know, there is still a lack of medical record based gender recognition approach, consisting of demographic and laboratory data.

In this study, the publicly available medical record of mesothelioma's disease was handled to investigate gender recognition implementing BiLSTM (Bidirectional Long-Short Time Memory) deep learning algorithm. Malignant mesotheliomas (MM) are noted as very aggressive tumors of the pleura. MM is defined as a rare disease with an incidence rate of 1-2 per million in the general population. Particularly in industrialized countries, the rate has been reported to vary between 1 and 5 per million per year for women and between 10 and 30 per million per year for men. This medical record of MM has consisted of 34 features, including demographic and laboratory data to be diagnosed patient or not. Hence if target classes are included in the medical record, 35 feature vectors are obtained for 324 samples. The exact numbers for gender type were not defined in the paper. However, numerated genders of the individuals were reported 190 and 134 for male or female.

BiLSTM is a type of neural network-based RNN to detect patterns in the form of sequences for a dataset with correlation. This deep learning algorithm is formed in repetitive structures such as chains. BiLSTM can extract hidden state information for a given array of a dataset. In this research, the data was arranged as a sequence form in terms of the gender classes. Then 34 features (including patient status), 33 features (omitting the patient status), and 32 features (omitting both patient status and age) were processed to recognize the targeted gender using BiLSTM models. The architecture of this deep learning model is formed in 200 neurons and 200/300 epochs with Adam optimizer. Moreover, traditional validations were implemented in these partitions (80% training and 20% testing) and (70% training and 30% testing) to show

classification outcomes. Furthermore, performance metrics are accuracy (ACC), sensitivity (SENS), specificity (SPEC), precision (PREC), F-score, and AUC. ROC curves and confusion matrices were also revealed to gain insight to the results.

According to the performances of BiLSTM for gender classification, the accuracies of 34 features for 80% training and 70% training are 83.07% and 72.44%, respectively. Moreover, 0.758 and 0.822 AUC scores were provided for both training models. The performances of accuracies for 33 features are provided as around 75% by BiLSTM. Beside, F-scores are obtained as 75.84% (80% training) and 86.04% (70% training). For 32 features in the 200 maximum epoch, the classification outcomes were shown in the range of 85.71-86.15% and 0.928-0.996 for ACCs and AUC, respectively. It is worth noting that, when the maximum epoch was increased to 300, the performance of BiLSTM models has provided the highest outcomes reaching the 95.38% and 89.79% accuracies for both training models. Overall, the other performance metrics are also generated in high values. The medical record-based gender recognition approach of MM using BiLSTM has been observed to be one of the issues rarely addressed in the literature so far, and it is clear that it gives promising results for future studies.

Keywords— Gender Recognition; Mesothelioma's Disease; BiLSTM; Medical Record