

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Arastırma Makaleleri / Research Article	Sayfa No
Ertug AYDIN Effects of Elevated Temperature for the Marble Cement Paste Products for Better Sustainable Construction Yüksek Sıcaklık Altında Mermer Tozu Katkılı Çimento Pastasının Daha İyi Sürdürülebilir İnşaat Sektörüne Etkisi	259-267
Hanifi TOKGÖZ, Hüseyin BAYRAKTAR Deprem Tehlikesine Maruz Yerleşimler için "Yerel Deprem Puanı (Ydp)" Yönteminin Geliştirilmesi Development of "Local Earthquake Score" (Ydp) Method for Earthquake-Prone Settlements.....	269-276
M. Alper SÖFÜOĞLU, Selim GÜRGEN, Fatih H. ÇAKIR, Sezan ORAK, Melih C. KUŞHAN Yeni Sıcak Ultrasonik Yardımlı İmalat Ünitesi Tasarımı ve Ekonomik Analizi Design and Economic Analysis of A Novel Hot Ultrasonic Machining System.....	277-282
Hasan Tabsin ÖZTÜRK, Erdem TÜRKELİ Tabanında Anahtar Kesiti Bulunan Betonarme İstinat Duvarlarının Jaya Algoritmasıyla Optimum Tasarımı Optimum Design of Rc Retaining Walls with Key Section Using Jaya Algorithm.....	283-291
Selim GÜRGEN A Numerical Investigation on Oblique Projectile Impact Behavior of AA5083-H116 Plates AA5083-H116 Levhaların Açılı Mermi Çarpma Davranışı Üzerine Sayısal Bir Araştırma	293-301
Metin ERSOY Mermer Blokların AHP Destekli TOPSIS Ve GRA Yöntemleri ile Sınıflandırılması Classification of Marble Blocks Using AHP Assisted TOPSIS and GRA Methods.....	303-317
Mehmet Onur KARAAĞAÇ, Ahmet KABUL, Fatih YİĞİT Kombine Doğalgaz Çevrim Santralinin Performans Analizi Performance Analysis of Natural Gas Combined Cycle Power Plant.....	319-325
Hasan ŞAHİN, Orhan ATABAY, Özgen AKALIN Acil Direksiyon Uyarı Sistemi ile Kaza Önlenmesi: Sürüş Simülatörü Yaklaşımı Collision Avoidance Via Emergency Steering Warning System: A Driving Simulator Approach	327-333
Alper BÜYÜKKARAGÖZ, Nuri SEVİL, Yağmur KOPRAMAN Gazbeton Malzemesinden Üretilmiş Duvarların Çelik Lİfli Beton Panellerle Güçlendirilmesi : Deneysel Çalışma Strengthening of Walls Produced From Aerated Concrete Material with Steel Fibered Concrete Panels: Experimental Study.....	335-340
Sefiye Beran ÇELİK, İbrahim COBAN OĞLU Denizli Travertenlerinde P ve S Dalga Hızları ile Bazı Fiziksel ve Tek Eksenli Sıkıştırma Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması Investigation of Relations Between P and S Wave Velocities And Some Physical and Uniaxial Compressive Strength Properties in Denizli Travertines.....	341-349
İbrahim KOCAK, Kurtuluş BORAN Türkiye'deki İllerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi Evaluation of Effectiveness of Electricity Consumption of Provinces in Turkey with Data Envelopment Analysis.....	351-365
AHİYEŞİLDAG Benzilamin İnce Filmleri ile Kovalent Bir Şekilde Modifiye Edilmiş Silisyum Yüzeyleri Üzerinde Sırat-Kaplı Altın Nanopartiküllerin Üretimi ve Karakterizasyonu Synthesis and Characterization of Citrate-Capped Gold Nanoparticles on Covalently Modified Silicon Surfaces by Benzylamine Thin Films	367-373
Hakan ADA, Cemil ÇETİNKAYA, Ahmet DURGUTLU Taguchi Metoduyla Belirlenen Kaynak Parametrelerinin API 5L X65 Boru Birleştirmelerinde Radyografik ve Makrografik İncelemeleri Radiographic and Macrographic Investigations of Welding Parameters Determined by Taguchi Method In API 5L X65 Pipe Joints	375-384
Orkan ÖZCAN Performance Evaluation of Bridges Under Scour by UAS Based Measurements Oyulma Etkisindeki Köprülerin İHS Esaslı Ölçümlerle Performans Değerlendirilmesi	385-391
Umut AYDEMİR Elektron Demet ile İşlenmiş PTCDA Arayüzey Tabakalı Au/PTCDA/N-Si Diyotların Elektriksel Özellikleri The Electrical Properties of Au/PTCDA/N-Si Diodes With Electron Beam Irradiated PTCDA Interfacial Layer.....	393-398
Mehmet YAŞAR, Mustafa ALTUNOK Some Physical and Mechanical Properties of Impregnated Chestnut Wood With Natural and Chemical Agent Exposed to Outdoor Conditions Açık Hava Koşullarına Bırakılan Doğal ve Kimyasal Maddelerle Emrenye Edilen Keşane Odununun Bazı Fiziksel ve Mekânik Özellikleri	399-406
Musa ATAR, A. Cihançir YALINKILIÇ, Hakan KESKİN İsli İşlem Yemikli Ağaç Malzemede Renk Değişimine Etkisi Impact of Heat Treatment on the Exchange of Color in Varnished Wood Materials.....	407-413
Zeki BOZKURT, Zeliha SELEK Karayolu Ulaşımında Farklı Yol Kaplamalarının Çevresel Gürültü Seviyesine Katkılarının İncelenmesi: Adana Örneği Investigation of Contribution of Various Road Pavements to Environmental Noise Level on Highways: Adana Example.....	415-429
Güllü AKKAŞ, İhsan KORKUT Kinematic Analysis of Tapping Machine and Simulation With Simmechanics Kılavuz Çekme Makinası Kinematik Analizi ve Simmechanics ile Simülasyonu.....	431-436
Osman PEKÇİN, Mustafa ALTUNOK Impact of Heat Treatment on Weight Loss During Combustion of Laminated Veneer Lumber (LVL) İsli İşlem Lamine Kaplama Kerestenin (LVL) Yanma Esnasındaki Ağırlık Kaybına Etkisi	437-442
Berat KARAAĞAÇ, Yusuf UCAR, N. Murat YAGMURLU, Alaattin ESEN A New Perspective on the Numerical Solution for Fractional Klein Gordon Kesirli Mertebeden Klein Gordon Denklemimin Nümerik Çözümleri Üzerine Yeni Bir Bakış Açısı	443-451
Serdar EKİNCİ, Baran HEKİMOĞLU, Ethem UYSAL PID Güç Sistemi Kararlı Kılıcı Parametrelerinin Belirlenmesi için Böbrek-İlhamlı Algoritma PID Güç Sistemi Kararlı Kılıcı Parametrelerinin Belirlenmesi için Böbrek-İlhamlı Algoritma	453-460
Merve ÖZTÜRK, Onur ÖRÜÇ Duvardan Radyant Soğutma Sistemlerinde Soğutucu Akışkan Sıcaklığının İsli Konfora Etkisinin İncelenmesi Investigation of Coolant Temperature Effect on Thermal Comfort In Wall Mounted Radiant Cooling Systems.....	461-468
Özge TÜZÜN ÖZMEN, Salar Habibpur SEDANİ, Mehmet KARAMAN, Kadir GÖKŞEN, Raşit TURAN Farklı Üretim Parametrelerinin Katı Faz Kristalizasyon (SPC) Tekniği Kullanılarak Üretilen Polikristal Silisyum İnce Filmlerin Kalitesi Üzerine Etkileri The Effects of Different Fabrication Parameters on the Quality of Polycrystalline Silicon Thin Films Formed by Solid Phase Crystallization (SPC) Technique	469-475
Bahadır ACAR Yağ Soğutmalı Kondenser Tasarımının Termostat Kontrollü Bir Soğutucuya Uyarlanması ve Performans Deneylerinin İncelenmesi Adaptation of Oil Cooled Condenser Design to A Thermostat Controlled Cooler and Performance Analysis.....	477-484
Yedilkhan AMIRGALİYEV, Murat KUNELBAYEV, Aliya KALIZHANOVA, Omirlan AU ELBEKOV, Nazbek KATAYEV, Ainur KOZBAKOVA Theoretical and Mathematical Analysis of Double-Circuit Solar Station with Thermo Siphon Circulation Termo Sifon Sirkülasyonu ile Çift Devreli Güneş İstasyonunun Teorik ve Matematiksel Analizi	485-493
Emine EHFNEBATI, İsmail EKMEKÇİ A Proposal of Novel Performance Criteria Development for Shopping Malls Alışveriş Merkezleri için Yeni Performans Kriterleri Geliştirme Önerisi	495-507
İkilem GÖÇEK İyileştirilmiş Özellik Elde Edilmesi Amacıyla Tekstil Malzemelerinin Nanokil Katkısı ile Fonksiyonleştirilmesi Functionalization of Textile Materials with Nanoclay Incorporation for Improved Characteristics	509-522

Journal of Polytechnic

POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 22 NUMBER / SAYI 2 JUNE / HAZİRAN 2019

Politeknik Dergisi

Journal of Polytechnic

Sahibi / Owner
Prof. Dr. İbrahim USLAN
Rektör / Rector

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager
Prof. Dr. Adnan SÖZEN
Dekan / Dean

Editör Yardımcısı / Associate Editor
Doç. Dr. M. Tolga ÖZKAN
Gazi Üniversitesi / Gazi University

Editör / Editor
Prof. Dr. Adnan SÖZEN
Gazi Üniversitesi / Gazi University

Editör Asistanı / Assistant Editor
Dr. Serhat KARYEYEN
Gazi Üniversitesi / Gazi University

YARDIMCI EDİTÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

Prof. Dr. Jose Manuel LOPEZ-GUEDE, University of the Basque Country
Prof. Sanjeevikumar PADMANABAN, University of Johannesburg
Prof. Dr. Hacı Bayram KARADAĞ, İnönü Üniversitesi
Prof. Dr. İhsan ALP, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hilal KURT, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ, Çankırı Karatekin Üniversitesi
Prof. Dr. Figen BALO, Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Zafer TEKİNER, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan KESKİN, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Murat YÜCEL, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Bünyamin CİYLAN, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa ÖZER, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Hamit SOLMAZ, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kasım SERBEST, Sakarya Üniversitesi

YAYIN DANIŞMA KURULU/EDITORIAL ADVISORY BOARD

Abid ABU-TAIR , Berzeit University	Metin İPEK , Sakarya Üniversitesi
Adel NASİRİ , University of Wisconsin Milwaukee	Murat HOŞÖZ , Kocaeli Üniversitesi
Ali Kemal YAKUT , Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Musa ATAR , Gazi Üniversitesi
Arcan DEREÇİOĞLU , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Mustafa AKTAŞ , Gazi Üniversitesi
Arif WANI , California State University	Myung Hyun KİM , Kyung Hee University
Ayhan ÖZÇİFTÇİ , Aksaray Üniversitesi	Nadire Şule ATILGAN , Hacettepe Üniversitesi
Bekir Sami YILBAŞ , King Fahd University	Nizamettin KAHRAMAN , Karabük Üniversitesi
Dilek KUMLUTAŞ , Dokuz Eylül Üniversitesi	Nobumasa MATSUI , Nagasaki University
Engin ÖZDEMİR , Kocaeli Üniversitesi	Nusret AS , İstanbul Üniversitesi
Erol ARCAKLIOĞLU , Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	Oğuz TURGUT , Gazi Üniversitesi
Farzollah MIRZAPOUR , University of Zanjan	Osman ISIKAN , Marmara Üniversitesi
Hakan YAVUZ , Çukurova Üniversitesi	Peter LUND , Helsinki University of Technology
Hamit SARUHAN , Düzce Üniversitesi	Ramazan BAYINDIR , Gazi Üniversitesi
Hani H.W.SAIT , King Abdulaziz University	Ramazan KÖSE , Dumlupınar Üniversitesi
Henryka Danuta STRYCEWKA , Politechnika Lubelska	Ramazan YILMAZ , Sakarya Üniversitesi
Hüseyin AKILLI , Çukurova Üniversitesi	Recep ÇALIN , Kırıkkale Üniversitesi
Hüseyin Rıza BÖRKLÜ , Gazi Üniversitesi	Recep YAMANKARADENİZ , Bursa Uludağ Üniversitesi
İbrahim DİNÇER , University of Ontario, Institute of Technology	Rodica MILICI , Stefan cel Mare Suceava University
İbrahim SEFA , Gazi Üniversitesi	Saffa B. RIFFAT , Nottingham University
İhsan KORKUT , Gazi Üniversitesi	Sare SAHİL , Gazi Üniversitesi
İlhami ÇOLAK , İstanbul Gelişim Üniversitesi	Saw Sor HEOH , INTI International University
İlker USTA , Hacettepe Üniversitesi	Sing LEE , Institute for Plasma Focus
İshak KARAKAYA , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Souad A.M.ALBATHI , International Islamic University of Malaysia
Jamal KHATIB , University of Wolverhampton	Tayfun MENLİK , Gazi Üniversitesi
Jerzy SMARDZEWSKI , Ponzan University	Turgay AKBULUT , İstanbul Üniversitesi
John KINUTHIA , University of South Wales	Ulvi ŞEKER , Gazi Üniversitesi
Mahmood GHORANNEUISS , Azad University	Yasin VAROL , Fırat Üniversitesi
Metin GÜRÜ , Gazi Üniversitesi	Yılmaz ARUNTAŞ , Gazi Üniversitesi

Cilt / Volume : 22	Sayı / Issue : 2	Haziran/ June : 2019
<p>Politeknik Dergisi Gazi Üniversitesi tarafından yılda dört sayı olarak yayınlanmaktadır / Journal of Polytechnic has been published four issues per year by Gazi University</p>		

BU SAYIYA (CİLT 22 SAYI 2) KATKI VEREN HAKEMLER (REVIEWERS)	
Ahmet ÖZTEL	Mehmet BAHAT
Aliye ALTUNDAŞ	Mehmet DEMİRTAŞ
Alpaslan ALKAN	Mehmet KURUOĞLU (2 kez)
Aslı NUMANOĞLU GENÇ	Muhammed FİDAN
Ayhan AYTİN	Murat FAHRİOĞLU
Ayhan ONAT	Murat ÖKTÜR
Ayşen DEMİRÖREN	Murat ÖZALP
Berna ÇATIKKAŞ	Mustafa AYDIN
Bilsay PASTAKKAYA (2 kez)	Mustafa BOZ
Canan CİMSİT	Mustafa BOZDEMİR
Celal AĞAN	Mustafa BURUNKAYA
Cemal YILMAZ	Mustafa ÖZDEMİR
Emre KURAL	Mümin EMİRLER
Engin ÖZDEMİR	Neşe AKDAĞ
Ercan ÇELİK	Nihat MOROVA
Erdem SELVER	Osman PERÇİN (2 kez)
Erkut SAYIN	Ömer ELALDI
Fırat KAFKAS	Özge ÖZMEN
Gökhan AYDIN	Reyhan KESKİN
Habibe TECİMER	Serdal TERZİ
Hakan ERSOY	Şekip YAŞAR
İbrahim AYDOĞDU	Şemsettin ALTINDAL
İbrahim YILMAZÇOBAN	Tarık ASAR
İlber DÖKME	Tayfun FINDIK
İlker KALKAN	Tayfun UYGUNOĞLU
İlker TOPÇU	Ulvi ŞEKER
İsa VURAL	Volkan Soner ÖZSOY
İzzet KARAKURT	Yasemin LEVENTLİ
Kaplan KAPLAN	Yusuf PANDIR
Mahmut İZCİLER	Zeliha SELEK

Yazışma Adresi / Correspondence Address :

Politeknik Dergisi Editörlüğü
Gazi Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Tanıtım ve Yayın Müdürlüğü
06500 Teknikokullar
ANKARA –TÜRKİYE

Tel : 0312-202 34 12

Fax : 0312-212 00 59

Elektronik Posta Adresi / e-mail : politeknik@gazi.edu.tr

Teknik Sorumlu / Technical Manager: **Erdem ÇİFTÇİ**

Dizgi / Compositor: **İdris ÖZÇELİK**

e - ISSN : 2147-9429



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Effects of elevated temperature for the marble cement paste products for better sustainable construction

Yüksek sıcaklık altında mermer tozu katkılı çimento pastasının daha iyi sürdürülebilir inşaat sektörüne etkisi

Yazar(lar) (Author(s)): Ertug AYDIN

ORCID¹: 0000-0001-5660-0687

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Aydin E., “Effects of elevated temperature for the marble cement paste products for better sustainable construction”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 259-267, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.441707

Yüksek Sıcaklık Altında Mermer Tozu Katkılı Çimento Pastasının Daha İyi Sürdürülebilir İnşaat Sektörüne Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ertug AYDIN*

Engineering Faculty, Civil Engineering Department, European University of Lefke, Lefke, Turkish Republic of Northern Cyprus, TR-10, Mersin, Turkey

(Geliş/Received : 27.11.2017 ; Kabul/Accepted : 02.03.2018)

ÖZ

Mermer eski uygarlıklardan beri kullanılan bir inşaat malzemesidir. İnşaat sektörünün dünya genelinde ciddi çevre tahribatına neden olan atık malzemelerin etkin kullanımı üzerinde durması gerekmektedir. Çimentolu kompozitlerin yapıları mikro, mezo ve makro seviyede sınıflandırılmaktadır. Çimento matrisinin yüksek sıcaklarda sıcaklığın artmasıyla fiziksel ve mekanik özellikleri makro düzeyde azalma eğiliminde olmaktadır, kompozitlerin iç yapıları bozulmakta ve sonrasında mikro ve mezo düzeyde bozulmalar meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıkların çimentolu kompozitlerinin fiziksel ve mekanik yönden bozulma mekanizmalarını anlamamız ve çimento matrisinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki bu değişimleri iyi algılamamız açısından önemlidir. Mermer tozu 80 % olan sertleşmiş çimento pastasında yüksek sıcaklık altında dayanım kaybı 28-günlük kompozitlerde 81 %, mermer tozu 60 % olan sertleşmiş çimento pastasında ise bu kayıp artarak 84 %'e ulaşmıştır. Yapılan çalışma sonucunda 300 °C'nin mermer tozlu çimento pastası kompozitlerin için optimum sıcaklık olduğu düşünülmektedir. Çalışma, bu sıcaklık üzerine çıktığında fiziksel ve mekanik özelliklerin olumsuz etkilendiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mermer, yüksek sıcaklık, dayanım, pasta, bozulma.

Effects of Elevated Temperature for the Marble Cement Paste Products for Better Sustainable Construction

ABSTRACT

Marble has been effectively used as a building material since the early civilization. The construction sector needs to effectively utilize wastes that cause serious environmental problems around the world. Structure of cementitious composites can be classified into micro, meso, and macro levels. For cementitious matrix subjected to high temperature, with the increase in temperature, physical and mechanical properties tend to decrease at macro-level, internal structures deteriorate, and micro-defects develop at micro and meso-levels. Studying the physical and mechanical properties of cementitious matrix at elevated temperature helps us understand the mechanisms of such deterioration or reduction in both physical and mechanical properties. At elevated temperature, the compressive strength loss of hardened cement paste composites comprising 80% of marble dust was 81% at the end of 28-day curing period, and the reduction increased to 84% for the hardened cement paste composites comprising 60% of marble dust. It seems that 300 °C was optimum temperature for hardened marble cement paste composites in that physical and mechanical properties above this level were adversely affected.

Keywords: marble, high temperature, strength, paste, deterioration.

1. INTRODUCTION

Sustainability has been an important issue since ancient times. However, nowadays, the sustainability is considered much more in the manufacturing and use of natural resources, which are required for human beings. Strategic long-term plan on waste management needs to consider the ethical, environmental, and global issues in order to improve the quality of human life [1]. The introduction of the concept of “sustainability” in the

building sector has gradually led to the production of insulation products made of natural or recycled material. Some of them are already present in the market while others are still at an early stage of production or study. These approaches could be particularly important and useful in developing countries, which do not have well-defined recycling policies, and they are affected by disposal issues due to large quantities of agricultural and industrial by-products [2].

The disposal problem of industrial wastes due to the growing construction sector has been pressuring the

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : eraydin@eul.edu.tr

world leaders to consider the implementation of new sustainability strategies to reduce environmental effect of such wastes. The improvement in the recycling rate of industrial wastes, increased landfill taxes, and site waste utilization based on guidelines and code of practice are such examples. Additionally, the waste can be treated or managed on site to allow the concrete producers use those wastes efficiently to improve the green building technologies [3].

The positive implementation of new sustainability strategies, especially on site, can support the sustainable development of the construction sector, which uses 20-25% of annual world energy during the production of cement, plastic, and steel. During the production of concrete, approximately 1.5 billion tons of cement, 1 billion tons of water, and 10 billion of fine and coarse aggregates are being used annually around the world [5]. The concrete annual production has reached 25 billion tons. China and India are the top-ranking countries for such production, responsible for approximately 50% of the world production and thus for the waste production [5].

However, rapid urbanization and customers' expectations and desires have affected the construction sector. To successfully implement the sustainability strategies, concrete producers and institutions should work together. At this time, changing the current bad scenario (continuous CO₂ emission) in building construction to a sustainable solution does not seem to be a pessimistic approach. More research needs to be conducted to show that "concrete is an environmentally friendly material" that can be manufactured using large amount of industrial wastes, such as marble powder, fly ash, bottom ash, coconut husk ash, rice husk ash, and various fibers [6-9].

During the production of the marble cutting and shaping, a powder in slurry form of marble accumulates near the plant. Current studies have proven that if those marble powders are collected and utilized for concreting purposes, the physical and mechanical properties of the final products can be improved. The two different forms of wastes, i.e., fine materials of less than 2 mm and large marble particulates especially in granular forms, are produced during manufacturing process. During cutting operation of one cubic meter of marble block, roughly 25% of fine particles are produced as wastes. This is the main reason for trying to find a sustainable solution to this problem (i.e. waste utilization rate) [15].

Most laboratory studies evaluated the marble dust in mortars and concrete. The effects of marble dust on workability and strength have been compared with those of the control samples [10-21]. Valeria and Moriconi [22] evaluated the marble powder with very high Blaine fineness and observed that the marble powder had positive effect on mortar and concrete strength, especially in self-creting applications. Binici et al. [11] found that the concrete composed of marble powder has higher compressive strength compared to concrete produced with limestone dust.

The marble powder is used in precast concrete industry at elevated temperature and self-concrete applications. Large numbers of precast units are produced this way. The researches noticed that adequate curing is necessary to prevent the secondary ettringite formation. The scanning electron microscopy investigation showed that pastes temperature below 105 °C form coarser calcium silicate hydrate gel in early age compared with the same pastes cured in water. The thickness of the calcium silicate hydrate near the cement grains tends to increase with increasing elevated temperature. However, the thickness of the inner calcium silicate hydrate was denser than its outer hydrate products for paste prepared at 80 °C [23]. At elevated temperatures, a greater proportion of Portlandite was found to form dense clusters, as opposed to the more usual lamellar type morphology observed in ambient conditions [23, 24].

The loss of water due to elevated temperature can cause microstructural changes in concrete, such as increase in porosity, and weaken the calcium silicate hydrate gels. The previous findings showed that the loss of bound water occurs around 100-300 °C, causing the development of micro-cracks in mortar and concretes. The strain differences in composites due to temperature rise cause expansion, shrinking upon cooling. The few data are available for cement pastes at elevated temperatures [25].

The performance of the composites is said to be durable when exposed to chemical attacks, such as sulfates, chlorides, and acidic environment, if the porosity is lower. However, the behavior under elevated temperatures needs more attention to qualities like durability. The spalling is the form of deterioration in structures, especially the concrete, at high temperatures. The density of concrete, moisture content, mineral admixtures, and the rate of temperature affect this behavior under elevated temperatures. Thermal stress, water vaporization, and high pore pressure are the consequences of the elevated temperature [26].

After long-term exposure, cement paste prepared at elevated temperature undergoes microstructural changes leading to cracking, as the expansion causes failure of the composites. Physico-chemical transformation and thermal strains are the two main phenomena that have to be considered. It was reported that the mechanisms involved in alkali aggregate reactions are a widespread problem in nuclear plants and other concrete structure [27-32]. The elevated temperature adversely affects the compressive strength, modulus of elasticity, resistance to abrasion, and resistance to sulfate attack, among others. The elevated temperature affects the hardened cement paste the consistency of which depends mostly on the degree of hydration and available moisture. Beyond the 300 °C, the interlayer calcium silicate hydrate water and some of the bound water from the hardened gel might be lost. After this formation, decomposition of the Ca(OH)₂ begins around 500 °C and the final stage is the result of the complete decomposition of the calcium silicate

hydrate at 900 °C [24, 29]. As temperature increases, water to cement ratio tends to decrease while the porosity increases [33]. Further, the pore system in hardened cement paste also changes with degree of hydration and chemical changes.

Pores are created and become larger by thermal micro-cracking as the elevated temperature increases. At elevated temperature, porosity of cement paste increases due to non-uniformly distributed hydration products. The hydration products at elevated temperatures are coarser and porous compared to those at normal temperature [24, 30]. Lower bound water content and high rate of dissipation of water at elevated temperature cause the formation of a coarser and more uneven hardened cement paste (HCP) structure. Additionally, capillary suction of water especially into the microcracks results in the formation of a less dense matrix [23]. The hydrates are stable at low temperatures while at higher temperatures, they consist of destabilized water molecules. Upon self-desiccation, the exerted force created by the chemically bound water to the adjacent sides causes crystallization. At high temperature, the hydrates are more crystalline compared to those formed at lower temperatures (i.e., denser with low surface area). The decrease in surface area causes more hydration with the help of physically bound water. This can be used for better understanding of the low and normal water-cement ratio systems. At low water to cement ratio, the available water is inadequate for hydration (i.e., in the case of self-desiccation). The reduction in absorption increases the available water for hydration [24, 33, 34].

The reduction in compressive strength at elevated temperatures due to the quick arrangement of denser inner hydrate products on the surface of the cement grain resulted in a decreased hydration rate and increased porosity. Pozzolanic materials reactions caused no remarkable changes in the water phase distribution, but they did bind a large portion of the accessible water originally in the mixture through surface absorption. Thus, the effects of pozzolans on the water phase distribution include reducing the existing w/c ratio. Therefore, the presence of a filler in the system initially increased the w/c ratio, and the critical effect reduced the amount of water available for cement hydration, thereby causing a large reduction in strength [19, 23-25].

The aim of this study was to determine the physical and mechanical properties of pure marble cement paste at elevated temperatures, as construction materials, to determine the effects of marble dust in both fresh and hardened states and minimize the environmental pollutions for better sustainability. For this purpose, various amounts of marble dust were used to investigate the physical and mechanical properties of cement paste composites at elevated temperatures. Most published literature has dealt with mortar and concrete whereas only limited research on marble powder in cement paste has considered the increasing trend in sustainability.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The chemical compositions and selected physical properties of the components employed are presented in Table 1. Ordinary Portland cement of grade 42.5 that conforms to ASTM C150M-15 [35] was used in this research. The Blaine fineness of the cement was 305 m²/kg, and its specific gravity was 3.15.

The marble slurry was collected from a dumpsite near a marble processing plant. The marble slurry consisted of powder and lumps. Before its use, the slurry was dried at room temperature for 72 h, and the dried lumps were then completely reduced to powder (i.e., most particles having a diameter of less than 50 µm). The specific gravity was 2.49, and the fineness of the powder was 335 m²/kg. Its chemical composition is presented in Table 1.

Table 1. Chemical compositions of marble dust and cement

Oxide	Marble dust (%)	Cement (%)
SiO ₂	5.1	21.2
Al ₂ O ₃	0.5	5.1
Fe ₂ O ₃	0.7	2.5
CaO	43.5	64.7
MgO	14.6	0.9
K ₂ O	0.03	0.2
SO ₃	0.04	1.5
Loss on ignition	33.5	2.5

Tap water was used as the mixing and curing liquid in all the mixtures. The water was free from deleterious materials.

2.2. Preparation, Casting of Test Specimens and Mixture Proportioning

Cement paste composites were mixed in a Hobart mixer (planetary laboratory mixer MA-52X mixer type, Gilson Company, USA) with 4.7-liter capacity. Marble dust and cement were mixed together in dry form for 30s, and tap water was then added to the mix. The mixtures were then cast and consolidated by vibration for 1 min.

Table 2. Marble-cement paste composites

Group	Marble dust (%)	Cement (%)	Water/binder (w/b)	Temperature(C°)
G1	80	20	0.43	0
G1.1	80	20	0.43	300
G1.2	80	20	0.43	600
G1.3	80	20	0.43	900
G1.4	80	20	0.43	1050
G2	60	40	0.43	0
G2.1	60	40	0.43	300
G2.2	60	40	0.43	600
G2.3	60	40	0.43	900
G2.4	60	40	0.43	1050



Figure 1. (a) Flow Table Test



(b) Mini slump test for fresh composites

Specimens were extracted from the molds after 1 to 2 days and kept in a curing room at $20 \pm 1^\circ\text{C}$ and 70% relative humidity for the entire curing period until testing (at 28 days). Two different mix groups were prepared, first group (G1) comprised marble dust (80%) and cement (20%), and the second group was prepared by mixing 60% of marble dust and 40% Portland cement. The water/binder (w/b) was fixed at 0.43 to achieve the required slump for both groups.

Each group was tested at different temperatures (Control (0°C , room temperature), 300°C , 600°C , 900°C , and 1050°C) using high temperature oven and tested for water absorption (WA), density, and compressive strength.

Workabilities of specimens were determined using a flow table and mini slump cone tests according to ASTM C230M-14 [36] and WK27311-10 [37], respectively. Dry bulk density and WA experiments were performed according to ASTM C127-15 [38]. A fresh sample was placed in the conical shape mold in three equal layers, and each layer was tamped 25 times. The mold was removed, and then the table was lifted and dropped 15 times, each cycle taking approximately 4 sec. As a result, the fresh paste spread, and the maximum spread parallel to the two edges of the table was measured as the flow table. For the mini slump test, the same procedure from the slump test was applied to a fresh sample. The drop in height was reported as the mini slump value.

Cubic 50-mm molds were used for unconfined compressive strength (UCS) tests and $40\text{-mm} \times 40\text{-mm} \times 160\text{-mm}$ prismatic molds for flexural strength (FS). UCS and FS tests conforming to ASTM C109M-13e1 [39] and ASTM C348-14 [40], respectively, were conducted. A third point loading test was carried out for flexural strength test. The mixture proportioning and elevated temperature regime of the mixture groups are presented in Table 2. Six samples were used for each test and average used in Tables and Figures.

The flow table test, mini slump test and preparation of fresh marble-cement paste mixture composites are shown in Fig. 1a, Fig. 1b and Fig. 2, respectively



Figure 2. Preparation of fresh marble-cement paste mixture composites

3. RESULTS AND DISCUSSION

The fresh unit weight, flow table and inverted slump test results for cement paste composites are presented in Table 3.

Table 3. Fresh unit weight, flow table and inverted slump for marble cement paste composites

Group. No	Fresh Unit weight (kg/m^3)	Flow Table (cm)	Inverted
G1	1745	13.00	
G1.1	1745	14.00	
G1.2	1745	13.00	
G1.3	1745	13.00	
G1.4	1745	14.00	
G2	1723	16.00	
G2.1	1723	16.00	
G2.2	1723	15.50	
G2.3	1723	15.00	
G2.4	1723	16.00	

Water content is a key factor affecting the fresh properties. It should be noted that the relationship between slump and water content for a given set of materials is nonlinearly proportional [33, 41]. Since the slump affects the ease with which the mixture will flow during placement, most mix design procedures rely on slump as a crude index of workability [41]. The hardened marble-cement paste composites after elevated temperature are shown in Figure 3. The dry unit mass (DUM) before and after elevated temperature for marble cement paste composites are presented in Table 4.



Figure 3. Hardened marble cement composites after elevated temperature

Table 4. Dry Unit mass for marble cement paste composites for before and after elevated temperature

Group Name	Dry Unit Mass (kg/m ³) before elevated temperature	Dry Unit Mass (kg/m ³) after elevated temperature	Elevated temperature (C°)
	1350	1350	0
G1.1	1332	1304	300
G1.2	1260	1116	600
G1.3	1376	1145	900
G1.4	1292	844	1050
G2	1316	1316	0
G2.1	1394	1206	300
G2.2	1270	1190	600
G2.3	1476	1170	900
G2.4	1313	861	1050

The reductions in DUM values were calculated as 2.1%, 11.4%, 16.8%, and 34.7% for G1 and 8.4%, 9.6%, 11.1%, and 34.6% for G2 at 300°C, 600°C, 900°C, and 1050°C, respectively, when comparing the initial and elevated temperatures.

The DUM of G1 was 1350 kg/m³ at 0 C° but decreased to 844 kg/m³ at 1050C°. The mass loss by the elevated temperature was non-linear. The cement paste composites comprised various sizes of connected and disconnected pores. The mixture proportions affected the

pore size distribution, and the use of marble dust or other supplementary cementitious materials led to a formation of the densified matrix and pore size refinement. The highest mass loss reported in mixture groups at 1050 C°. This is due to the loss of free combined water which was removed around 1000 C°. Water that remains in small pores is difficult to remove. When temperature increases, the mass loss occurs in three stages, drying, evaporation, and decomposition. The increase in dry unit mass in G1.3 is due to water absorption value. The increase in porosity of paste, which absorbs readily available water, leads to the formation of more hydration products. The rate of water loss from hardened cement paste due to the increasing elevated temperature affects the surface/volume ratio of the structure. Higher loss of water from the final composite can cause a reduction in its dry unit mass. Increasing elevated temperature reduces the particle surface area of the cement-marble composites, which can cause weakening of the interface bond at high temperatures. This can cause a reduction in the DUM values at elevated temperature [23, 30]. A DUM value of the final composites indicates that the final composites are in the range of lightweight concrete. This lightweight composite with dry unit mass ranging between 1210 – 1670 kg/m³ is quite lower compared to those of conventional construction materials, promising beneficial outcomes in terms of construction costs and earthquake safety. The final product can be used satisfactorily in the manufacturing of lightweight aggregates and semi-isolating materials. Based on the DUM values of mix groups, the final composites can be used satisfactorily in manufacturing of aerated composites. Density of aerated composites varies from 300 to 2100 kg/m³. They are widely used in the manufacture of lightweight concrete wall panels, the manufacture of light commercial structures and residential houses [41, 42]. The air-void system of the HCP was found perform better. The water absorption test results for marble cement paste composites is presented in Fig. 4.

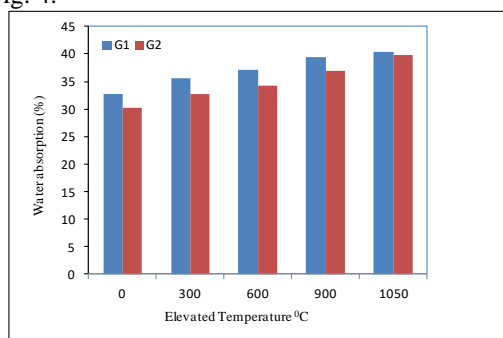


Figure 4. Water Absorption values of marble cement paste composites

The increases in WA values were calculated as 8.7%, 13.3%, 19.5%, and 23.1% for G1 and 8.2%, 13.3%, 22.3%, and 32.2% for G2 at 300°C, 600°C, 900°C, and 1050°C, respectively, when comparing with initial and elevated temperatures.

Reduction of marble dust decreases water absorption due to amount of cement particles, which helps increase the degree of hydration and thus the rate of calcium silicate gel that fills the voids and prevents or reduces water absorption. From the result of experiment for mixture proportion 2, which are shown in Fig.4, it can be clearly observed by increasing elevated temperature the water absorption rate dramatically reduced.

For G1, the water absorption increased from 32.77% to 40.34% by increasing room temperature (21 C° -23 C°) to 1050 C°. For the same temperature, water absorption rate increased from 30.17% to 39.87% for G2. WA values of HCP composites increased with elevated temperature for all slump classes. This could be due to the increased porosity of hardened cement paste and microstructural changes of the hydrated paste upon heating [23]. A water absorption property is also related to the bonding capability of the matrix, which diminished over time when in contact with elevated temperature. Evaporation of water causes the emptying of pores of the matrix and shrinkage due to the elevated temperature. Additionally, loss of water molecules in hardened cement paste, which adheres to the angular cement grains before elevated temperature, increases the WA values. Increasing temperature weakens the matrix bond. The distance between the atomic molecules of cement grains and mineral admixtures in the matrix increases, and many capillary channels develop throughout the surrounding structure, and as a result of this phenomenon, WA values increases.

The various types of water are readily lost due to increasing temperature of cement paste composites. The breakage of the bond between the matrixes can increase WA. The compressive strength test results at 28-days for various elevated temperatures are shown in Fig.5. The highest compressive strength value in Group 1 (G1) was 5.2 MPa, which contained 80% of marble dust, while the highest value in group 2 (G2) was 7.4 MPa, which contained 60% of marble dust. This means that by reducing marble dust for the same paste volume, compressive strength is reduced. The compressive strength for group (G1.2) at 300 C° was 3.7 Mpa, which decreased to 1 MPa at 1050 C°. The results indicate that by increasing the elevated temperature, the compressive strength decreased.

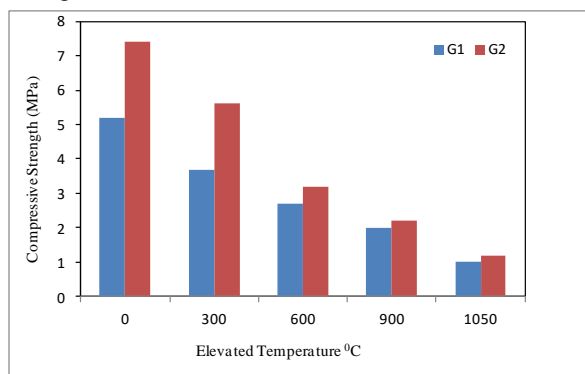


Figure 5. Compressive strength of marble cement paste composites

The reductions in compressive strength values were calculated as 28.8%, 48.1%, 61.5%, and 80.8% for G1 and 24.3%, 56.8%, 70.3%, and 83.8% for G2 at 300°C, 600°C, 900°C, and 1050°C, respectively, when comparing the initial and elevated temperatures.

The increase in temperature is associated with strength loss, which can be minimized by using finer grain size distribution. The coarser grain size can cause particle damage at high temperatures, especially above 600 C°. The weakening of the cement paste bond due to increased porosity, breakdown of the calcium silicate hydrate gels, and microstructural modification are the main reasons for such a decrease at elevated temperature. Generally, the marble cement paste composites seem to be more stable at around 300 C° and above this temperature, the weakening starts by collapsing of the interparticular bonds, thus decreasing the strength. Comparable results have been reported in literature [24-28, 41]. Water to cement ratio does not seem to affect the decrease in strength. Some research has shown that water to cement ratio has little effect up to 600 C°. Compressive strength tests results showed that marble cement paste composites have adequate strength for the use in low to medium technology applications, such as in manufacturing of bricks, tiles, road bases, and structural fill applications. For structural fill applications, the required minimum compressive strength may vary from 0.7 MPa to 8.3 MPa [43]. The flexural strength test results at 28-days for various elevated temperatures are shown in Fig.6.

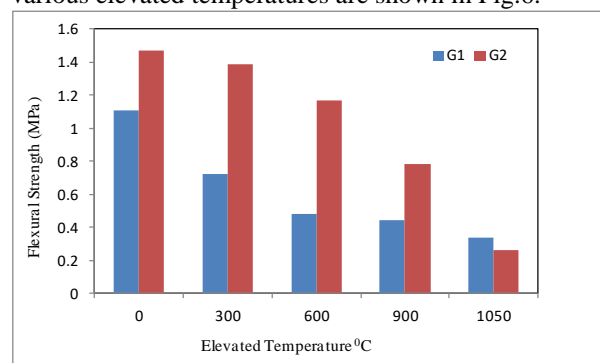


Figure 6. Flexural strength of marble cement paste composites

The reductions in flexural strength values were calculated as 35.1%, 56.8%, 60.4%, and 69.4% for G1 and 5.4% 20.4%, 46.9%, and 82.3% for G2 at 300°C, 600°C, 900°C, and 1050°C, respectively, when comparing the initial and elevated temperatures.

Based on the flexural strength (FS) test results, behavior similar to that in UCS was observed. FS values increased with temperature increasing up to 300 °C and then decreased upon elevated temperature. The porosity is higher at higher temperatures, which reduces the FS of the cement paste. The marble dust influenced the degree of strength loss [24, 44].

Final composites meet the requirements for performance, cost, and practicability, and they can satisfactorily be used for different civil engineering purposes [45-51]. Extra calcium hydrate is formed due to the addition of marble powder. Higher marble dust replacement

percentage is associated with decreased reduction of calcium hydrate content. At elevated curing temperatures, the calcium hydrate reduction reaches a very high level in a short time. From the strength point of view, the binder ratio (i.e., cementitious material amount in paste) porosity relation is undoubtedly the most important factor. The strength of the matrix improves significantly at very low water/cement ratios, and the size of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ crystals becomes smaller with decreasing water/cement ratios [24, 41].

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The compressive strength of marble-cement paste composites used in this study is very low. The marble wastes obtained from the factory was directly used without any treatment. The study considered the use of marble waste as controlled-low strength applications. The growing attractiveness of using environmentally friendly, low-cost, lightweight construction materials conveys the need to examine how this can be attained by promoting environmental issues, while still meeting the requirements affirmed in the relevant standards. In order to promote those novel based composites in construction industry either testing methodology or level of replacements mentioned in these standards need to be re-evaluated.

1. By increasing elevated temperature, the compressive strength of cement paste declined dramatically. This might be due to burning calcium silicate hydrate gel, which is responsible for bond characteristic of cement paste.
2. DUM varies from 1260 kg/m^3 to 1395 kg/m^3 . Water absorption varies from 30.2% to 40.3%, which is advantageous for insulation purposes.
3. Increasing elevated temperature reduced hardened density of cement paste. Water absorption increased from 30.17% to 39.87% due to increase in temperature from room temperature (23 ± 1) $^\circ\text{C}$ to $1050 \text{ }^\circ\text{C}$.
4. The compressive strength of cement paste was reduced when using marble dust as a partial replacement of cement (more than 15%). The compressive strength increased when using marble dust in cement paste as a partial replacement of coarse particles. The compressive strength was reduced by increasing elevated temperature of cement paste; the compressive strength was 7.4 MPa in ambient temperature (23 ± 1) $^\circ\text{C}$ but decreased to 1.2 MPa in $1050 \text{ }^\circ\text{C}$. This might be due to burning calcium silicate hydrate gel, which is responsible for bond characteristic of cement paste.
5. Lowest compressive strength value was 1 Mpa and the highest value was 7.4 Mpa. By increasing marble dust, it is believed that the rate of (C-S-H) gel responsible for bonding property of cement increased. Adding fiber slightly increased compressive strength of cement paste.
6. For structural fill application; required minimum compressive strength value varies from 1.16 Mpa to 3.56 Mpa. The 28-day compressive strength values for the final products are also adequate for those applications. Based on the compressive strength requirements, final products can be used for foundation support. Additionally, final products are adequate for low to medium technology applications, such as road bases, manufacturing of bricks, tiles, and ceramic applications.
7. Flexural strength varies from 0.26 Mpa to 1.47 Mpa. By increasing marble dust and cement, the hydration reaction processes become faster. Adding fiber to the mixture slightly increases flexural strength.
8. Since the environmental pollution is a big problem in the world, and one of the major sources of environmental pollution is solid waste, to reduce this problem as well as to improve cement paste properties, further studies are needed to find best optimization for durability of the marble cement paste composites. Additionally, to better understand fresh properties of such composites, the rheology of the marble cement paste composites should also be investigated.

ACKNOWLEDGEMENT

The author greatly appreciates the assistance of Mrs. Tuğçe Mani, who provided some of the materials used. The assistance of “Boğaz Endüstri ve Madencilik (BEM) Ltd” in providing the laboratory materials is also greatly appreciated. This research did not receive any specific grants from any funding agency.

REFERENCES

- [1] Pietrosevoli L. and Monroy C.R., “The impact of sustainable construction and knowledge management on sustainability goals: A review of the Venezuelan renewable energy sector”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27: 683-691, (2013).
- [2] Asdrubali F., D'Alessandro F. and Schiavoni S., “A review of unconventional sustainable building insulation materials”, *Sustainable Materials and Technologies*, 4: 1-17, (2015).
- [3] Li Y., Zhang X., Ding Q. and Feng Z., “Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects”, *Resources, Conservation and Recycling*, 106: 9-20, (2016).
- [4] Becchio C., Corgnati S.P., Kindinis A. and Pagliolico S., “Improving environmental sustainability of concrete products: Investigation on MWC thermal and mechanical properties”, *Energy and Buildings*, 41(11): 1127-1134, (2009).
- [5] Ferrari G., Miyamoto M. and Ferrari A., “New sustainable technology for recycling returned concrete”, *Construction and Building Materials*, 67: 353-359, (2014).
- [6] Aydin E. and Arel H.Ş., “Characterization of high-volume fly-ash cement pastes or sustainable construction

- applications”, *Construction and Building Materials*, 157: 96-107, (2017).
- [7] Aydin E., “Staple wire-reinforced high-volume fly-ash cement paste composites”, *Construction and Building Materials*, 153: 393-401, (2017).
- [8] Aydin E., “Novel Coal Bottom Ash Waste Composites for Sustainable Construction”, *Construction and Building Materials*, 124: 582-588, (2016).
- [9] Arel H.Ş. and Aydin E., "Use of Industrial and Agricultural Wastes in Construction Concrete", *ACI Materials Journal*, 115 (1): 55-64, (2018).
- [10] Kore S.D. and Vyas A.K., “Impact of marble waste as coarse aggregate on properties of lean cement concrete”, *Case Studies in Construction Materials*, 4: 85-92, (2016).
- [11] Binici H., Kaplan H. and Yilmaz S., “Influence of marble and lime stone dusts as additives on some mechanical properties of concrete”, *Scientific Research and Essay*, 2 (9): 372-379, (2007).
- [12] Keleştemur O., Yildiz S., Gökçer B. and Arici E., “Statistical analysis for freeze-thaw resistance of cement mortars containing marble dust and glass fiber”, *Materials and Design*, 60: 548-555, (2014)
- [13] Topçu İ.B., Bilir T. and Uygunoğlu T., “Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete”, *Construction and Building Materials*, 23: 1947-1953, (2009).
- [14] Gesoğlu M., Güneyisi E., Kocabağ M.E., Bayram V. and Mermerdaş K., “Fresh and hardened characteristics of self-compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler and fly ash”, *Construction and Building Materials*, 37: 160-170, (2012).
- [15] Benson C. H. and Bradshaw S., “*User Guideline for Coal Bottom Ash and Boiler Slag in Green Infrastructure Construction*”, Recycled Materials Resource Center, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706 USA, (2011).
- [16] Kirgiz M.S., “Advancements in mechanical and physical properties for marble powder-cement composites strengthened by nanostructured graphite particles”, *Mechanics of Materials*, 92: 223-234, (2016).
- [17] Alyamaç K.E. and Ince R., “A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders”, *Construction and Building Materials*, 23: 1201-1210, (2009).
- [18] Arel H.Ş., “Recyclability of waste marble in concrete production”, *Journal of Cleaner Production*, 131: 179-188, (2016).
- [19] Keleştemur O., Arıcı E., Yıldız S. and Gökçer B., “Performance evaluation of cement mortars containing marble dust and glass fiber exposed to high temperature by using Taguchi method”, *Construction and Building Materials*, 60: 17-24, (2014).
- [20] Ergün A., “Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete”, *Construction and Building Materials*, 25: 806-812, (2011).
- [21] Binici H., Shah T., Aksogan O. and Kaplan H., “Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 208: 299-308, (2008).
- [22] Corinaldesi V. and Moriconi G., “Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete”, *Construction and Building Materials*, 23: 2869-2876, (2009).
- [23] Patel H.H., Bland C.H. and Poole A.B., “The Microstructure of Concrete Cured at Elevated Temperatures,” *Cement and Concrete Research*, 25 (3): 485-490, (1999).
- [24] Hewlett P.C., “*Lea’s Chemistry of Cement and Concrete*,” John Wiley and Sons Inc, New York, (1988).
- [25] Chan Y.N., Luo X. and Sun W., “Compressive Strength and Pore Structure of High Performance Concrete after Exposure to High Temperature up to 800 °C,” *Cement and Concrete Research*, 30: 247-251, (2000).
- [26] Mindess S. and Young J.F., “*Concrete*” Prentice and Hall Inc., (1981).
- [27] Arel H.Ş., Aydin E. and Kore S.D., “Ageing management and life extension of concrete in nuclear power plants”, *Powder Technology*, 321: 390-408, (2017).
- [28] Donatello S., Kuenzel C., Palomo A. and Jiménez F.A., “High temperature resistance of a very high volume fly ash cement paste”, *Cement and Concrete Composites*, 45: 234-242, (2014).
- [29] Farage M.C.R., Sercombe J. and Galle C., “Rehydration and Microstructure of Cement Paste after Heating at Temperatures up to 300 °C,” *Cement and Concrete Research*, 33: 1047-1056, (2003).
- [30] Yin S.N.C., Luo X. and Sun W., “Effect of High Temperature and Cooling Regimes on the Compressive Strength and Pore Properties of High Performance Concrete,” *Construction and Building Materials*, 14: 261-266, (2000).
- [31] Alshamsi A.M., Alhosani K.I. and Yousri K.M., “Hydrophobic Materials, Super Plasticizer and Microsilica Effects on Setting of Cement Pastes at Various Temperatures,” *Magazine of Concrete Research*, 49 (179): 111-115, (1997).
- [32] Xiandong C. and Kirkpatrick R.J., “Effects of the Temperature and Relative Humidity on the Structure of C-S-H Gel,” *Cement and Concrete Research*, 25 (6): 1237-1245, (1995).
- [33] A.M. Neville, “*Properties of Concrete*”, Addison Wesley Longman Ltd, (1995).
- [34] Maltais Y. and Marchand J., “Influence of Curing Temperature on Cement Hydration and Mechanical Strength Development of Fly Ash Mortars,” *Cement and Concrete Research*, 27 (7): 1009-1020, (1997).
- [35] ASTM C150/C150M., “*Standard Specification for Portland Cement*”, (2015).
- [36] ASTM C230/C230M., “*Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*”, (2014).
- [37] WK27311., “*New Test Method for Measurement of Cement Paste Consistency Using a Mini-Slump Cone*”, (2010).
- [38] ASTM C127, “*Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*”, (2015).
- [39] ASTM C109M., “*Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*”, (2013).

- [40] ASTM C348., “*Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*”, (2015).
- [41] Mehta P.K. and Monteiro P.J.M., “*Microstructure, Properties and Materials*,” (2001).
- [42] Bouzoubaa N. and Fournier B., “Optimization of Fly Ash Content in Concrete Part I: Non-Air-entrained Concrete made without Superplasticizer,” *Cement and Concrete Research*, 33: 1029-1037, (2003).
- [43] ACI 230.1R, “*State of the art report on Soil cement*,” ACI Report Title No.87-M43, (1990).
- [44] Brandt A.M., “*Cement Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*” E & FN SPON, print of Chapman & Hall, (1995).
- [45] Yüksel İ., Bilir T. and Özkan Ö., “Durability of concrete incorporating non-ground blast furnace slag and bottom ash as fine aggregate”, *Building and Environment*, 42: 2651-2659, (2017).
- [46] Maio A.D., Giaccio G. and Zerbino R., “Non-Destructive Tests for the Evaluation of Concrete Exposed to High Temperatures”, *Concrete and Aggregates*, 24 (2) 58-67, (2002).
- [47] Lothenbach B., Scrivener K. and Hooton R.D., “Supplementary cementitious materials”, *Cement and Concrete Research*, 41: 217-229, (2011).
- [48] Tokyay M., “Effects of Three Turkish Fly Ashes on the Heat of Hydration of PC-FA Pastes”, *Cement and Concrete Research*, 18: 957-960, (1988).
- [49] Tokyay M., “Strength Prediction of Fly Ash Concretes by Accelerated Testing,” *Cement and Concrete Research*, 29: 1737-1741, (1999).
- [50] Aruntaş H.Y., Gürü M., Dayı M. and Tekin İ., “Utilization of waste marble dust as an additive in cement production”, *Materials and Design*, 31 (8): 4039-4042, (2010).
- [51] Beycioğlu A., Gültekin A., Aruntaş H.Y., Gencil O., Dobiszewska M. and Brostow W., “Mechanical properties of blended cements at elevated temperatures predicted using a fuzzy logic model”, *Computers and Concrete*, 20 (2): 247-255, (2017).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Deprem tehlikesine maruz yerleşimler için “Yerel Deprem Puanı (YDP)” yönteminin geliştirilmesi

Development of "Local Earthquake Score" (YDP) method for earthquake-prone settlements

Yazar(lar) (Author(s)): Hanifi TOKGÖZ¹, Hüseyin BAYRAKTAR²

ORCID¹: 0000-0001-7277-0838

ORCID²: 0000-0002-4826-7973

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tokgöz H., Bayraktar H., “Deprem tehlikesine maruz yerleşimler için “yerel deprem puanı (ydp)” yönteminin geliştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 269-276, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417759

Deprem Tehlikesine Maruz Yerleşimler İçin “Yerel Deprem Puanı (YDP)” Yönteminin Geliştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hanifi TOKGÖZ¹, Hüseyin BAYRAKTAR^{2*}

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.11.2017 ; Kabul/Accepted : 10.04.2018)

ÖZ

Bu çalışmada ülkemizde deprem tehlikesine maruz yerleşimlerde uygulanmak üzere “Yerel Deprem Puanı (YDP)” yöntemi geliştirilmiştir. Yerel deprem puanı ile yerleşimin depreme hazırlıkta mevcut durumu belirlenmektedir. Yöntemde bölgenin depremselliği, jeolojisi, yapı envanteri gibi teknik verilerin yanında kurum ve kuruluşların depreme hazırlıkta farkındalıkları ve uygulamaları, toplumun deprem tehlikesine karşı önlem düzeyleri gibi sosyal verilerin bir araya getirilmesiyle parametreler oluşturulmaktadır. Belirlenen parametreler farklı puan aralıklarında değerlendirilerek yerleşimin “Yerel Deprem Puanı (YDP)” hesaplanmaktadır. Yerel Deprem Puanı sonucuna göre de yerleşimin deprem tehlikesine karşı “Hazırlık Düzey Açıklaması” aralığı bulunmaktadır. Hazırlık düzey açıklaması yerleşim yerinin depreme hazırlıkta hangi durumda olabileceği hakkında fikir vererek bu doğrultuda adımların atılmasını sağlamaktadır. Çalışmada ayrıca yöntemin çalışmasını gösteren Kaynaşlı ilçesinde deprem öncesi ve sonrası veriler kullanılarak karşılaştırmalı uygulama örneğine yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynaşlı, Yerel Deprem Puanı (YDP), deprem tehlikesi, hazırlık düzey açıklaması.

Development of "Local Earthquake Score" (YDP) Method For Earthquake-Prone Settlements

ABSTRACT

In this study, a "Local Earthquake Score" (YDP) method was developed to be applied in settlements subject to earthquake hazard in our country. The local earthquake score determines the current situation in the settlement preparation stage. In addition to the technical data such as earthquake, geology and building inventory, the parameters of the method are created by bringing together the social data such as the awareness and applications of the institutions and organizations in preparation for earthquake and the level of prevention against earthquake hazard of the community. The determined parameters are evaluated at different point intervals and the "Local Earthquake Score" is calculated. According to the results of the Local Earthquake Score, there is a "Explanatory Level Explanation" interval against the earthquake hazard of the settlement. Preparatory level explanations provide steps to take in this direction by giving an idea of where the settlement may be in the depression preparation. In the study, a comparative application example is given using the data before and after the earthquake in the town of Kaynaşlı which shows the operation of the method.

Keywords: Kaynaşlı, Local Earthquake Score (YDP), earthquake hazard, explanatory level explanation

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada afetlere yönelik birçok araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır. Japonya, ABD gibi gelişmiş ülkeler afet öncesinde yapılacak çalışmalara ağırlık vererek afet sonrası zararları en aza indirebilmektedirler. Yani risk yönetimine verilen ağırlık kriz yönetiminin yükünü hafifleterek müdahale ve iyileştirme çalışmaları daha az kayıp ve maliyet ile atlatılabilmektedir.

Özellikle depremler konusunda acil durum yönetiminin ele alınması, geçmiş depremlerden ders alınarak proaktif yaklaşımla hazırlık ve önlem çalışmalarına ağırlık verilmesi önemlidir. New Zeyland'a 2010 yılında meydana gelen Canterbury depreminin çevreye, ekonomiye, binalara, insanlara vb etkilerini

değerlendirerek deprem hakkında arşiv bilgilere ulaşılmış ve belleklerin tekrar olanları hatırlatılması sağlanmıştır. Bu sayede geçmişten ders çıkarılması ve hala eksiklerin varsa bunların düzeltilmesine gidilmesinin önemi vurgulanmıştır [1]. Canterbury depremi sonrası direnç ve sürdürülebilirlik tanımlarının önemine değinmişlerdir. Kentin riskleri üzerinden gidilerek deprem sonrası planlamalarda kullanılmak üzere bir risk haritası üretilmiştir. Haritada kırmızı renkli kısımlarda depremin yıkım riskinin yüksek olduğu ve buralarda yapılacak plan ve müdahalelerin önemine vurgu yapılmıştır. Ayrıca haritada yeşil alanlar üç ayrı teknik kategoriye göre gri, sarı ve mavi bölgelere ayrılarak tehlike boyutu ve yapısal öneriler getirilmiştir. Kırmızı bölgenin aksine yeşil bölgelerin daha güvenli yerleşimler olacağı tespitinde bulunulmuştur [2].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: h.bykrtr979@gmail.com

Nepal ve Hindistan'ın bir eyaleti olan Bihar'da deprem riskinin azaltılması ile ilgili karşılaştırma yapılmıştır. Nepal'de 2015 yılında meydana gelen depremin Nepal'de ağır sonuçları olmuştur. Deprem sonrasında Nepal ve Bihar yönetsel olarak değerlendirilmiştir. Deprem sonrası Nepal yönetimi afet yönetiminde başarısız olmuş, istifalar yaşanmış, dış ülkelerden ve bağımsız kuruluşlardan yardımlar almak durumunda kalmıştır. Bihar ise Nepal'de yaşananlardan ders alarak hareket etmiş ve kendi afet zarar azaltma çalışmalarını yapmak üzere merkez kurmuştur. Bu sayede Bihar yönetimi afete hazırlık bakımından gerekli dersleri Nepal depreminden alarak olumlu adımları atmıştır [3].

Afete karşı dirençte başa çıkma ve uyum kapasitesinin önemine vurgu yapılmıştır. Başa çıkma kapasitesinde; sosyal karakter, ekonomik sermaye, altyapı ve planlama, acil servisler, toplum sermayesi, bilgi ve sözleşme konuları yer almaktadır. Uyum kapasitesinde ise yönetim, politika ve liderlik, sosyal ve toplumsal sözleşme konuları yer almaktadır. Afete dirençli olmada afete başa çıkabilme ve uyum kapasitesinin geliştirilmesinin önemine vurgu yapılmıştır [4].

Ülkemizde de son yaşanan depremler sonrasında afet öncesi çalışmaların önemi ortaya çıkmış ve bu doğrultuda çalışmalar artarak devam etmektedir. Örneğin 2001 yılında çıkarılan 4708 sayılı Yapı Denetim Kanunu, 2009 yılında kurulan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2012 yılında çıkarılan 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun, 2013 yılında kurulan Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), üniversitelerde afet alanında kürsüler, proje çalışmaları ve merkezler sayabileceğimiz afet alanında atılmış önemli adımlardır. Fakat afet alanında yeni adımlar atılmış olsa da uygulamalarda aksaklıklar yaşanabilmektedir. Yaşanan aksaklıkların bir an önce geri bildirimleri alınarak revizyona gidilmesi doğru olacaktır. Ayrıca kentlerde bulunan mevcut yapılar arasında riskli olabilecek yapıların bir an önce tespit edilmesi, yeni yapılacaklarında geçmiş hatalardan arındırılmış bir sistemde yapılması çalışmaların başında gelmelidir. 6306 sayılı kanunda bahsi geçen riskli alan, riskli yapı ve rezerv alan ile ilgili konular afete hazırlıkta bir fırsat oluşturmaktadır [5].

Ülkemizde meydana gelen doğa kaynaklı afetler arasında en önemli yeri depremler oluşturmaktadır. Üç büyük fay hattından Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı yıkıcı depremlere sebep olmuş ve olmaya devam edecek fay hatlarıdır. Ülkemizde yaklaşık 53 milyon insan %69.70'i 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yaşamaktadır. Bu nüfusun büyük çoğunluğu ise kentlerde yaşamını sürdürmektedir. Yüzölçümün ise %92'si, nüfusun %98,8'i (76,7 milyon) 1. ve 4. derece deprem bölgelerinde yaşamaktadır [6], [7]. Depreme bu kadar yakın olmamız ve iç içe geçmemiz her an hazırlıklı olmamızı tüm kesimlerce kabul etmemiz gereken bir gerçek olarak karşımızda durmaktadır. 17 Ağustos 1999 Gölcük, 12 Kasım 1999 Düzce ve 23 Ekim 2011 Van depremleri hazırlıklı olmanın ne kadar önemli

olduğunu en iyi anladığımız depremlerin başında gelmektedir.

Önleme ve zarar azaltmada bina güvenliğinin yanında zemin ilişkisinin önemi, hazırlık aşamasında halkın ve kamu bilincinin önemi ve afet alanında sürdürülebilir faaliyetlerin yürütülmesi kentlerin afet riskini ortadan kaldıracak başlıca konular arasındadır. Özellikle ülkemizde depreme karşı sağlam bina inşa etme hususunda ilerleme kaydedilmiş olması olumludur. Fakat deprem sadece sağlam bina güvenliğinin ele alınması ile değil zemin, kamu, STK, halk gibi etkenlerinde bir bütün olarak ele alınması gereken bir konudur. Kamu yöneticilerinin deprem olgusunu kent ile ilgili yapılacak işlerde değerlendirmeye almaları ve konuyu devamlı güncel tutarak faaliyetlerini sürdürmeleri önemlidir. Hazırlık sürecinde öncelikle bina taramalarının yapılması ve riskli yapılar hakkında hızlı bir karar mekanizmasının kurulması hayati öneme sahiptir.

Ülkemizde yapı stoğuna baktığımızda 1997 yılı öncesi yapıların çokluğu, bitişik nizam yapı sisteminin kentlerde yoğun olarak görülmesi olası bir depremde binaların hasar görme riskini artırmaktadır [8]. Türkiye'nin yaklaşık 19 milyon konutundan 14 milyon konutunun afet riski yönünden incelenmesi gerektiği, deprem tasarımı yetersiz binalar, malzeme dayanımı ve mühendislik hizmeti almayan kaçak yapılar dahil yapı stoğunun yaklaşık %40'ının yani 6-7 milyon konutun yenilenmesi ya da güçlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir [9]. Yaklaşık 7 milyon konutun risk altında olması ve bir konutun dört kişilik aileden oluştuğu düşünüldüğünde etkilenecek nüfusun ortalama 28 milyon olabileceğini göstermektedir. Bu sayı hiç azımsanmayacak bir sayı olarak karşımızda durmakta ve bir an önce çözüm beklemektedir. Riskli konutların çoğunun kent merkezlerinde olması tehlikenin boyutunu daha da artırmaktadır.

Riskli yapıların yoğun olarak bulunması öncelikle bina güvenliğinin sağlanmasını ve yönetsel olarak da depreme hazırlıkta hızlı bir planlama yapılması can güvenliğini artıracaktır. Depreme hazırlıkta yeni yöntem ve çalışma örnekleri hem ülkemizde ve hem de dışarıda yapılmaktadır. Ülkemizde yapı yoğunluğunun fazla olmasından dolayı ayrıntılı incelemeye vakit olmayacağı bunun yerine hızlı tarama yöntemleri ile riskli binaların belirlenmesini tavsiye ederek P25 hızlı değerlendirme yöntemini geliştirmişlerdir [10]. Kısa sürede doğruya yakın sonuçların elde edilmesi hedeflenerek Hızlı Durum Tespit (DURTES) yöntemi de binaların risk durumunu belirlemede kullanılmaktadır [11]. Kademeli değerlendirme yöntemleri ile binalar hızlı bir şekilde taranmaktadır. Bu sayede yıkılma sonucu oluşabilecek can kayıplarının önüne geçilerek adreslerine göre tespit edilen riskli yapılar hakkında gerekli önlemlerin alınması amaçlanmaktadır [12]. Mevcut Yapıların İncelenmesi ve Yapı Denetimi Komisyonu Raporu'nda hızlı tarama yöntemleri hakkında bilgiler ve anket formları yer almaktadır. Anket formları her bir binaya uygulanarak risk puanı elde edilmekte, ikinci ve üçüncü kademe

değerlendirme yöntemlerine geçilip geçilmeyeceği belirlenebilmektedir [13].

ABD'nin bir kuruluşu olan acil durum yönetimi üzerine çalışmalara odaklanan FEMA (Federal Emergency Management Agency) tarafından geliştirilen FEMA 154'de herhangi bir afet durumunda etkilenebilecek binaların risk oranlarını bulup gerekli veri alt yapı sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır. Yöntemde bina envanteri için bilgi toplama formları kullanılarak yazılım programına veriler girilerek değerlendirmeler yapılabilmektedir [14].

Bina envanterinin çıkarılmasında kullanılan hızlı tarama yöntemlerinin yanı sıra kent planlamasında söz sahibi olan yöneticilerin, kentte yaşayan halkın ve ilgili olabilecek tüm kesimlerin birlikte değerlendirildiği çalışmalara da ihtiyaç bulunmaktadır. Riskli yapı yoğunluğunun bulunması hızlı tarama yöntemlerinin önemini artırmaktadır. Hızlı tarama yöntemleri sayesinde öncelikli riskli binalar tespit edilerek gerektiğinde daha detaylı analizler yapılarak bina hakkında nihai kararlar alınabilmektedir. Bu sayede vakit kaybetmeden riskli binalara odaklanarak iyileştirmeler hakkında kararlar alınması can kaybının azalmasını sağlamış olacaktır.

2. YÖNTEMİN ANA UNSURLARI VE PUANLAMALAR (METHODOLOGICAL MAINS AND POINTS)

2.1. Tehlikenin Belirlenmesi Ve Etki Analizi (10 ila 20p arası) (Hazard Identification and Impact Analysis (10 to 20p))

Yerleşim yerinin deprem tehlikesine maruz olması ve kaçınıcı derece deprem bölgesi olduğu belirlenmektedir. Hasara neden olabilecek 1.derece, 2.derece ve 3.derece deprem bölgeleri değerlendirmeye alınmaktadır. Yerleşim yerinde daha önce meydana gelen depremin etkileri konusunda bilgiler elde edilmektedir. Ayrıca yerleşim yerinin kaçınıcı derece deprem bölgesinde yer aldığı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasından bakılarak seçilmektedir. Puanlama çalışma alanının kaçınıcı derece deprem bölgesi olduğuna göre 10 ila 20 puan aralığında değişmektedir. Aşağıda puan aralıkları verilmektedir:

- 1. Derece deprem bölgesi (20p)
- 2. Derece deprem bölgesi (15p)
- 3. Derece deprem bölgesi (10p)

2.2. Yerleşimin Yoğun Olduğu Bölgedeki Zemin Koşulları (-1 ila 10p arası) (Soil Conditions in the Region where the Settlement is Intensive (-1 to 10p))

Yerleşim yerleri farklı zemin özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu durumda yapılaşmanın yoğun olduğu zemin sınıfı seçilmektedir. İki grupta Z1/Z2 zemin sınıfı ve Z3/Z4 zemin sınıfı değerlendirmeye alınmaktadır. Z1/Z2 zemin sınıfına sahip alanların daha sağlam olması ve Z3/Z4 zemin sınıfı alanların ise dayanımı daha düşük olmasına göre puanlama yapılmaktadır. Aşağıda çalışma alanında yapı stoğunun yoğun olduğu ağırlıklı zemin sınıflarına göre puanlama aralıkları verilmektedir:

- Ağırlıklı zemin sınıfı Z1-Z2 ise (-1p)
- Ağırlıklı zemin sınıfı Z3-Z4 ise (10p)

2.3. Yapı Stoğunun Hasar Riski (-1 ila 40p arası) (Structure Stoke Damage Riski (-1 to 40p))

Yerleşim yerinde daha önce meydana gelen depremde orta ve ağır hasarlı yapı oranları Bayındırlık ve İskan Bakanlığının ya da üniversitelerin vb yaptıkları çalışmalardan alınabilmektedir. Bu bilgilerden sonra çalışma alanı hızlı tarama yöntemleri kullanılarak binaların risk skorları elde edilmektedir. Özellikle orta ve ağır hasarlı binaların seçilmesinin nedeni bu binaların tehlike oranlarının daha yüksek olmasıdır. Deprem öncesi binaların risk oranı ile deprem sonrası yapılan çalışmadan elde edilen bina risk oranları puan aralığını oluşturmaktadır. Aşağıda yapı stoğunun risk oranlarına göre puan durumu verilmektedir:

- % 0 hasar riski yok (-1p)
- % 1 - % 25 orta ve ağır hasar riski var (10p)
- % 26 - % 50 orta ve ağır hasar riski var (20p)
- % 51 - % 75 orta ve ağır hasar riski var (30p)
- % 76 - % 100 orta ve ağır hasar riski var (40p)

2.4. Toplum/Halkın Deprem Bilinci (-1 ila 10p arası) (Society / People Earthquake Consciousness (-1 to 10p))

Toplum bilinci yani halkın deprem konusunda duyarlı olması hem deprem öncesi hazırlıkta hem de deprem sonrası müdahale anında doğru bir işleyiş ve anlayış sağlamaktadır. Bu yüzden toplumun yani halkın deprem konusunda bilgisi önemlidir. Halkın depreme karşı duyarlılığı yerleşim yerinde yapılan depremlerle ilgili çalışmalarda yer alması, bu tür çalışmaları desteklemesi ve takip etmesi ile anlaşılabilir. Ayrıca halk ile yapılacak deprem hakkında konuşmalar ve anketler de deprem bilgisini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Çalışmada sokak taraması yöntemi ile yapılan bina envanterinin çıkarılması esnasında deprem öncesi ve deprem sonrası ile alakalı sorular sorulmuş ve halkın yoğun bulunduğu yerlerde deprem hakkında kişiler ile konuşmalar yapılarak deprem hakkında duyarlılıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Aşağıda halkın deprem bilgisi ve hazırlık çalışmalarına katılımına göre puan aralıkları verilmektedir:

- Bulunduğu yer ile ilgili deprem bilgisi var ve deprem önlem çalışmalarının içerisinde bulunuyor (-1p)
- Bulunduğu yer ile ilgili deprem bilgisi var ve deprem önlem çalışmalarını destekliyor (1p)
- Bulunduğu yer ile ilgili deprem bilgisi var ve deprem önlem çalışmalarını önemsemiyor (5p)
- Bulunduğu yer ile ilgili deprem bilgisi yok ve deprem önlem çalışmalarını önemsemiyor (10p)

2.5. Yerelde Deprem İle İlgili Proje, Eğitim, Bilimsel Ve Teknik Çalışmalar (-1 ila 5p arası) (Project, Education, Scientific and Technical Studies Related to Earthquake in Local (-1 to 5p)

Çalışma alanında depreme yönelik yönetim birimlerine, halka ve öğrencilere verilen eğitimler, proje, akademik bilimsel vb çalışmaların yapılması ve destek görmesi olumlu puanı vermektedir. Tersine ise negatif puana sebep olmaktadır. Yerleşim yerinde yöneticiler ile yapılan anket çalışması ile birimlerde, okullarda ve halka yönelik çalışmalar konusunda bilgiler elde edilmektedir. Ayrıca çalışma alanında deprem ile ilgili yapılan eğitimler, projeler, akademik ve teknik çalışmaların mevcut olması, destek görmesi ya da bunların olmamasına göre puan aralığı belirlenmektedir. Aşağıda puan aralığı verilmektedir:

- Yerelde depreme yönelik proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar yapılıyor (-1p)
- Yerelde depreme yönelik proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar yapılmıyor (5p)

2.6. Yerel Yönetimlerin, STK'ların, Gönüllülerin, Toplumun vb Deprem Konusunda Koordinasyonu (-1 ila 5p arası) (Coordination of Local Governments, NGOs, Volunteers, Society etc. on Earthquake (-1 to 5p)

Depreme hazırlık tek bir kurumun ya da belirli kişilerin üstesinden gelebileceği bir durum değildir. Hazırlık aşamasında tüm kesimlerin birlikte hareket ederek deprem tehlikesine karşı koordinasyon içerisinde yürütecekleri çalışmalar başarıyı getirecektir. Bunun tespitinde çalışma alanında kurumların, STK'ların, toplumun vb uyum içerisinde depreme hazırlıkta koordinasyonu, işbirliği puan aralığını olumlu, yapmamaları ise puan aralığını olumsuz olarak vermiş olacaktır. Aşağıda madde olarak puan aralıklarını veren açıklamalar verilmektedir:

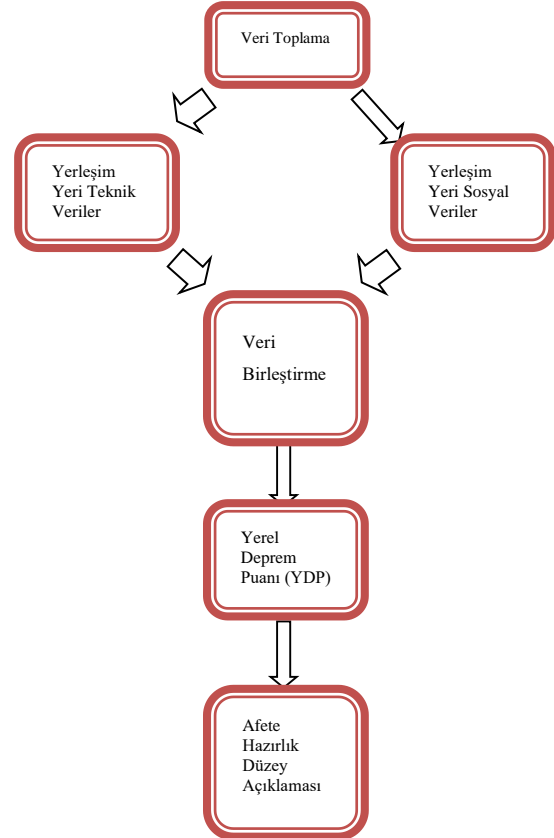
- Depreme yönelik hazırlık çalışmaları kurum, STK ve toplum ile işbirliği içinde yürütülüyor (-1p)
- Depreme yönelik hazırlık çalışmaları kurum, STK ve toplum ile işbirliği içinde yürütülüyor (5p)

2.7. Yerel Yönetimlerin Depreme Hazırlık Çalışmaları, Denetimleri, Planları Ve Önlemleri (-1 ila 10p arası) (Local Governments' Depreciation Preparation Studies, Audits, Plans and Measures (between -1 and 10p)

Deprem tehlikesine karşı önemli çalışmaları yapacak ve destekleyecek kuruluşlar arasında yerel yönetimler gelmektedir. Yerel yönetimler yerleşim yeri ile ilgili planlarda ve kentin yönlendirilmesinde önemli bir konuma, yetkiye sahiptirler. Bu yüzden yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları, planları ve alacakları önlemler hayati öneme sahiptir. Yerel yönetimlerin deprem ile ilgili bu çalışmaların tespiti özellikle kurumların yöneticileri ile yapılacak görüşmeler sonucunda elde edilebilmektedir. Aşağıda hazırlık çalışmaları ile ilgili yapılması ya da yapılmamasına göre puan aralığı verilmektedir:

- Yerel yönetimler koordinasyon içinde depreme hazırlık çalışmalarını kararlı bir plan dahilinde yürütmekte, ulusal ve uluslararası projeler yapılmakta ve desteklenmekte, bilimsel ve teknik yönden CBS alt yapısı kurulmuş, internet sayfası, eğitimler vb halkı bilgilendirme yapılmakta, deprem tehlikesine karşı güncel planlar, önlemler bulunmaktadır (-1p)
- Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları yönetim birimlerinde yapılmakta, deprem konusunda halka eğitim verilmekte, ulusal ve uluslararası projeler desteklenmekte, deprem tehlikesine karşı önlemler bulunmaktadır (1p)
- Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmalarına yönelik destekleri ve planları orta derecede uygulanmaktadır (5p)
- Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları yönetim birimlerinde yapılmamakta ve deprem tehlikesine karşı planlar, önlemler bulunmamaktadır (10p)

Olmak üzere 7 ana unsur çerçevesinde çalışma yürütülmektedir. İlk üç madde teknik verilerden elde edilirken diğer maddeler görüşme sonuçlarına göre elde edilmektedir. Bu sayede teknik ve sosyal veriler bir araya getirilerek puanlanmakta ve yerleşimin yerel deprem puanı belirlenmektedir. Şekil 1'de teknik ve sosyal verilerden oluşmuş yerel deprem puanı bileşenleri ve aşamaları aktarmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Yerel deprem puanı bileşenleri ve aşamaları (Local earthquake point components and phases)

3. YEREL BULGULARA GÖRE YEREL DEPREM PUANI (YDP) (LOCAL EARTHQUAKE POINTS BY LOCAL RESULTS)

Yerel Deprem Puanı (YDP), deprem tehlikesine karşı bir yerleşimin tehlikeye ne kadar açık olduğu veya hazırlığı hakkında bilgi vermektir. Bir yerleşimin YDP'ni belirlemek için yerleşim yerine ait teknik ve sosyal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Teknik veriler yerleşimin fiziki açıdan değerlendirilmesi (deprem bilgisi, yapı envanteri, zemin bilgisi), sosyal veriler ise yerleşim yerinde bulunan kurum ve kuruluşların depreme yönelik hazırlıkları, işbirliği, bilimsel çalışmalar, toplumun depreme duyarlılığı gibi sosyal açıdan yapılan değerlendirmelerdir. Teknik veriler binalar, deprem, zemin vb mevcut bilgiler ile elde edilebilmektedir. Yapı envanterinin incelenmesinde İstanbul Deprem Master Planı (İDMP 2003) projesi kapsamında kullanılan Sokak Taraması yöntemi kullanılmıştır [15]. Sokak taraması yönteminde binalar sokaktan gözlem yoluyla altı olumsuzluk parametresine göre değerlendirilmektedir. Olumsuzluk parametreleri sırasıyla; yumuşak kat, ağır çıkma, görünen kalite, kısa kolon, çarpışma etkisi, tepe/yamaç etkisidir. Anket sonuçlarına göre her bir binanın risk puanı belirlenmektedir [16].

Sosyal veriler için ise kurum ve kuruluş yöneticileri, STK ve halk ile yüz yüze görüşme tekniği uygulanarak veriler elde edilmektedir. Elde edilen tüm veriler yerel deprem puanının hesaplanmasında esas alınan 7 adet parametre için kullanılmaktadır. YDP 1-100 puan aralığında bulunmaktadır. Değer arttıkça yani 100 puan dilimine yaklaştıkça depremin tehlike boyutu artmaktadır. Değer azaldıkça ise tam tersi depremin tehlike boyutu yerleşim yeri için düşük çıkmaktadır.

Puanlamalar sonucunda yerel deprem puanı bulunmakta ve bu puana göre yerleşimin deprem tehlikesine karşı hazırlık düzey açıklaması belirlenebilmektedir. Puanlama ile yerleşimin hangi risk aralığına denk geldiği ve çok yüksek risk aralığından çok düşük risk aralığına kadar beş farklı yerel deprem riski tanımlaması yapılmaktadır (çizelge 1).

Çizelge 1. Yerel Deprem Puanı (YDP)'na göre risk aralıkları (Risk ranges according to Local Earthquake Score)

1≤YDP<20 puan arası	Çok düşük yerel deprem riski
20≤YDP<40 puan arası	Düşük yerel deprem riski
40≤YDP<60 puan arası	Orta yerel deprem riski
60≤YDP<80 puan arası	Yüksek yerel deprem riski
80≤YDP≤100 puan arası	Çok yüksek yerel deprem riski

Hazırlık düzey açıklaması yerleşim yerinde özellikle yönetim birimlerinin ve halkın deprem tehlikesine karşı ne kadar hazırlıklı olduğu hakkında mevcut durumu ortaya koyarken aynı zamanda izlenecek yol konusunda da bilgi vermektedir. Beş farklı sınıfta hazırlık düzey açıklaması yer almaktadır. Sıralama çok düşük yerel

deprem puanı risk aralığından başlayıp çok yüksek yerel deprem risk aralığında son bulmaktadır. Yerel deprem puanı ne kadar yüksek çıkarsa bölgenin deprem riski artmaktadır. Hazırlık düzey açıklamalarının elde edilmesinde yerelde depremi yaşamış insanlarla görüşülerek ve deprem sonrası yapılan rapor, bilimsel vb çalışma sonuçları da değerlendirilerek titizlikle elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Yerel Deprem Puanı (YDP)'na göre hazırlık düzey açıklamaları (Preparatory level explanations according to Local Earthquake Score)

Puanlama risk aralıkları	Hazırlık düzey açıklamaları
Çok yüksek yerel deprem riski (80≤YDP≤100 puan arası)	Acil olarak hemen merkezi yönetimden destek alınarak tedbirlerin alınması ve hazırlıkların yapılarak halkın riskli alanlardan uzaklaştırılması
Yüksek yerel deprem riski (60≤YDP<80 puan arası)	Yerel düzeyde tüm kurum ve kuruluşlar ile hazırlıklar yapılmalı ve tedbirler artırılarak halkın bilgilendirilmesi
Orta yerel deprem riski (40≤YDP<60 puan arası)	Yerel yönetimlerin hazırlık ve tedbirlerini gözden geçirecek toplum ile işbirliği içinde önlemleri artırması, bilimsel destek alınması
Düşük yerel deprem riski (20≤YDP<40 puan arası)	Hazırlık çalışmalarının rutin kontrollerinin yapılması, depreme ilişkin yapılacak proje, eğitim vb desteklenmesi
Çok düşük yerel deprem riski (1≤YDP<20 puan arası)	Hazırlık çalışmalarının güncel tutulması ve tecrübelerin diğer yerel yönetimler ile paylaşılması

4. YÖNTEMİN UYGULANMASI (IMPLEMENTING THE METHOD)

Yerel deprem puanının karşılaştırılmalı örneği 12 Kasım 1999 Kaynaşlı Depremi sonuçları ile 2014 yılında aynı bölgede Kaynaşlı'da yapılan çalışma kapsamında elde edilen bilgilere göre gerçekleştirilmiştir. 12 Kasım 1999 Depremi öncesi ve sonrası yerleşimin YDP saptanmaya çalışılmıştır. Yerel deprem puanı sonuçlarına göre deprem öncesi ve sonrası yerleşimin hazırlık düzey açıklama aralığı bulunmuştur. Değerlendirme iki durum için yapılmıştır. Birinci durumda çalışmanın 12 Kasım 1999 Depreminden önce yapıldığı varsayılarak YDP bulunmuştur. İkinci durumda ise deprem sonrası aynı bölgede saha çalışması ve mevcut bilgilerden elde edilen bilgiler sonucunda YDP bulunmuştur. Durum (1) ve Durum (2) sonuçları karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca verilerin elde edilmesinde Kaynaşlı Kaymakamlığı arşivi

[17], Kaynaşlı Belediyesi arşivi [18] ve Acil Destek Vakfı arşivlerinden yararlanılmıştır [19].

Durum (1): Kaynaşlı ilçesinin 12 Kasım 1999 depremi öncesi yerel deprem puanı hesaplanmış olsaydı;

1) Tehlikenin belirlenmesi ve etki analizi (10 ila 20p arası)

➤ 1. Derece deprem bölgesi (20p)
2) Yerleşimin yoğun olduğu bölgenin zemin koşulları (-1 ila 10p arası)

➤ Ağırıklı binaların yoğun bulunduğu zemin sınıfı Z3/Z4 (10p)

3) Yapı stoğunun hasar riski (-1 ila 40p arası)

➤ % 50 - % 75 hasar riski var (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı verileri) (30p)

4) Toplumun/Halkın deprem bilinci (-1 ila 10p arası)

➤ Bulunduğu yer ile ilgili deprem bilgisi yok ve deprem önlem çalışmalarını önemsemiyor (10p)

5) Yerelde deprem ile ilgili proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar (-1 ila 5p arası)

➤ Yerelde depreme yönelik proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar yapılmıyor (5p)

6) Yerel yönetimlerin, STK'ların, gönüllülerin, toplumun vb deprem konusunda koordinasyonu (-1 ila 5p arası)

➤ Depreme yönelik hazırlık çalışmaları işbirliği içinde yürütülüyor (5p)

7) Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları, denetimleri, planları ve önlemleri (-1 ila 10p arası)

➤ Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları yönetim birimlerinde yapılmamakta ve deprem tehlikesine karşı planlar, önlemler bulunmamaktadır (10p)

1. 2. ve 3. Maddeler mevcut teknik verilerden yararlanılarak elde edilmiştir. 4. 5. 6. ve 7. Maddeler için ise Deprem öncesi en kötü ihtimaller değerlendirilmiştir. Çünkü halk ve yerel yöneticiler ile mülakatlarda, incelenen belgelerde 12 Kasım 1999 Depremi öncesi deprem hakkında yöneticilerin, toplumun hiçbir fikirlerinin ve hazırlıklarının olmadığı sonucu mütalaa edilmiştir.

Her bir değerlendirme sonucu karşılık gelen puana göre çizelge 3'de verilmiştir ve tüm değerlendirme puanlarının toplamı sonucunda yerleşim yerinin yani Kaynaşlı'nın YDP 90 puan olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. Deprem öncesi yerel deprem puanı çizelgesi (Durum 1) (Local earthquake score table before the earthquake (Case 1))

Sıra No	Yerel Deprem Puanlama Parametreleri	Puan
1	Tehlikenin belirlenmesi ve etki analizi	20
2	Yerleşimin yoğun olduğu bölgenin zemin koşulları	10
3	Yapı stoğunun hasar riski	30
4	Toplum bilinci	10
5	Yerelde deprem ile ilgili proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar	5
6	Yerel yönetimlerin, STK'ların, gönüllülerin, toplumun vb deprem konusunda koordinasyonu	5

7	Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları, denetimleri, planları ve önlemleri	10
Yerel Deprem Puanı (YDP)		90

Kaynaşlı ilçesinin yerel deprem puanı hesabı 12 Kasım 1999 depremi öncesi YDP yönteminin uygulandığı varsayıldığında çizelge 1'e göre "Çok yüksek yerel deprem riski" puan aralığına denk geldiği görülmektedir. Belirlenen puan aralığına göre çizelge 2'de hazırlık düzey açıklamasında "Acil olarak hemen merkezi yönetimden destek alınarak tedbirlerin alınması ve hazırlıkların yapılarak halkın riskli alanlardan uzaklaştırılması" hazırlık düzey açıklaması tanımlanmaktadır.

Durum (2): Kaynaşlı ilçesinin 12 Kasım 1999 depremi sonrası 2014-15 yılı çalışma kapsamında yerel bulgulara göre yerel deprem puanı:

1) Tehlikenin belirlenmesi ve etki analizi (10 ila 20p arası)

➤ 1. Derece deprem bölgesi (20p)

2) Yerleşimin yoğun olduğu bölgenin zemin koşulları (-1 ila 10p arası)

➤ Ağırıklı zemin sınıfı Z3/Z4 ise (10p)

3) Yapı stoğunun hasar riski (-1 ila 40p arası)

➤ % 0 - % 25 hasar riski var (2000 civarında bina taraması sonucundan elde edilmiştir. Yerleşim yerine ait binaların neredeyse %90'ının bina taraması yapılmıştır. Çalışması kapsamında binaların %13 olası hasar riski bulunmuştur) (10p)

4) Toplumun/Halkın deprem bilinci (-1 ila 10p arası)

➤ Bulunduğu yer ile ilgili deprem bilgisi var ve deprem önlem çalışmalarını destekliyor (halk ile yapılan görüşmeler sonucu elde edilmiştir) (1p)

5) Yerelde deprem ile ilgili proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar (-1 ila 5p arası)

➤ Yerelde depreme yönelik proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar yapılıyor (yerelde yapılan çalışmalardan elde edilmiştir) (-1p)

6) Yerel yönetimlerin, STK'ların, gönüllülerin, toplumun vb deprem konusunda koordinasyonu (-1 ila 5p arası)

➤ Depreme yönelik hazırlık çalışmalarının işbirliği içinde yürütülüyor (işbirliği yapılan çalışmaların işbirliği içinde yürütüldüğü gözlemlenmiştir) (-1p)

7) Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları, denetimleri, planları ve önlemleri (-1 ila 10p arası)

➤ Yerel yönetimlerin depreme hazırlık çalışmaları yönetim birimlerinde yapılmakta, deprem konusunda halka eğitim verilmekte, ulusal ve uluslararası projeler desteklenmekte, deprem tehlikesine karşı önlemler bulunmaktadır.

Çizelge 4. Deprem sonrası yerel deprem puanı çizelgesi (Durum 2) (Local earthquake score table after the earthquake (Case 2))

Sıra No	Yerel Deprem Puanlama Parametreleri	Puan
1	Tehlikenin belirlenmesi ve etki analizi	20
2	Yerleşimin yoğun olduğu bölgenin zemin koşulları	10
3	Yapı stoğunun hasar riski	10
4	Toplum bilinci	1
5	Yerelde afet ile ilgili proje, eğitim, bilimsel ve teknik çalışmalar	-1
6	Yerel yönetimlerin, STK'ların, gönüllülerin, toplumun vb deprem konusunda koordinasyonu	-1
7	Yerel yönetimlerin afete hazırlık çalışmaları, denetimleri, planları ve önlemleri	1
Yerel Deprem Puanı (YDP)		40

12 Kasım 1999 Depremi sonrası 2014-15 yılı Kaynaşlı'nın yerel bulgularına göre YDP çizelge 4'de 40 puan olarak bulunmuştur. çizelge 1'e göre YDP'ni "Orta yerel afet risk puanı" aralığına gelmektedir. Belirlenen puan aralığına göre çizelge 2'ye göre hazırlık düzey açıklaması "Yerel yönetimlerin hazırlık ve tedbirlerini gözden geçirerek toplum ile işbirliği içinde önlemleri artırması, bilimsel destek alınması" olarak tanımlanmaktadır.

Durum (1) ve durum (2) karşılaştırıldığında;

Durum (1)'de;

Kaynaşlı'nın 12 Kasım 1999 Depremi öncesi Göreceli Yerel Deprem Puanı 90 puan çıkmaktadır. 90 puan çok yüksek risk aralığına girmektedir. Yerel deprem puanına göre hazırlık düzeyi açıklaması "Acil olarak hemen merkezi yönetimden destek alınarak tedbirlerin alınması ve hazırlıkların yapılarak halkın riskli alanlardan uzaklaştırılması" tanımlamasına denk gelmektedir.

Kaynaşlı 12 Kasım 1999 Depreminde yerel yönetim ve halk ne olduğunu anlamadan, ne yapacağını bilmeden depreme hazırlıksız yakalanmıştır. Merkezi yönetimden, uluslar arası kuruluşlardan ve gönüllülerden destekler alınmıştır. Deprem sonrasında ağır kayıpların boyutu ortaya çıkmış ve yerleşim yerinde yaşayan halkın büyük bir çoğunluğu bundan etkilenmiştir.

Durum (2)'de ise;

Çalışma kapsamında 2014-15 yılları yerel bulgulara göre YDP 40 puan olarak bulunmuştur. 40 puan sonucuna göre deprem risk skoru aralığı "Orta Yerel deprem Risk aralığı" çıkmaktadır. Orta yerel afet riski aralığı ise "Yerel yönetimlerin hazırlık ve tedbirlerini gözden geçirerek toplum ile işbirliği içinde önlemleri artırması,

bilimsel destek alınması" hazırlık düzey açıklamasına denk gelmektedir.

Kaynaşlı ilçesinde toplum, STK'lar ve yerel yönetim/yöneticiler deprem bilgisi konusunda birçok yerleşime örnek olabilecek düzeydedir. Fakat risklerin en aza indirilmesi için daha da çalışarak özellikle toplumun depreme hazırlığı, yönetimler, bilimsel çalışmalar ve uzman personel desteğiyle depreme hazırlık kapsamında çok düşük risk aralığına denk gelerek hazırlık düzey açıklamasının "hazırlık çalışmalarının güncel tutulması ve tecrübelerin diğer yerel yönetimler ile paylaşılması" tanımlamasına sahip olmasıdır. Bu sayede yerleşim yeri deprem tehlikesine karşı hazırlığı diğer yerleşimlere örnek olabilecek bir gösterge haline gelebilecektir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Ülkemizin coğrafi konumu/özelliği nedeniyle deprem kuşağında yer alması ülke olarak depreme karşı her an hazırlıklı olmamızı gerektirmektedir. Son yaşanan 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi ve 23 Ekim 2011 Van Depremi sonuçlarına bakıldığında ağır kayıpların meydana geldiği bilinmektedir. Ülkemizde daha önce meydana gelen depremlerde yaşanan ağır kayıpların başlıca nedenleri arasında yerel yönetimlerin yerleşim yeri planlamalarında deprem faktörünü ilk sıraya almamaları, teknik uygulama ve denetim yoksunluğu ve de halkın depreme karşı hazırlıkta yeterince bilgilendirilmemesi gibi etkenler sayılabilir. Deprem olduktan bir iki sene depreme hazırlık, yapılan hataların tekrarlanmaması üzerine çalışmalar ve konuşmalar çokça yapılsa da bir müddet sonra deprem olgusu unutulurak tekrar deprem öncesi yapılan hatalara geri dönülebilmektedir.

Bu yöntemde yerleşim yerlerinde yerel yönetime ve halka deprem olgusu hatırlatılarak öncelikle farkındalığın oluşması sağlanmaktadır. Daha sonra çalışma yerleşim yeri ile ilgili toplanan teknik ve sosyal verilerin bir araya getirilmesi sonucunda bulunan YDP ve bulunan puana göre hazırlık düzey açıklamasının bulunmasına dayanmaktadır. Hazırlık düzey açıklaması öncelikle yerel yönetime yerleşimin mevcut durumu hakkında bilgi vermektedir. Hazırlık düzey açıklamasının yerel yönetimler ile birlikte tüm kesimlerce değerlendirmeye alınarak yerleşim yerinin doğru plan ve kararlarla yönlendirilmesinde kullanılabilir. Geliştirilen yöntem ile kurum ve kuruluş yöneticilerinin depreme hazırlıkta yerel düzeyde mevcut durum değerlendirmesini yaparak risk yönetiminde doğru adımları atmaları, deprem tehlikesine karşı farkındalığın artırılması, geçmişte meydana gelmiş depremlerin unutturulmaması ve alınması gereken tedbirler varsa bunların alınması sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Potter S.H., Becker J.S., Johnston D.M., Rossiter K.P. "An overview of the impacts of the 2010-2011 Canterbury earthquakes". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (14): 6 -14, (2015).

- [2] Saunders W.S.A., Becker J.S. “A discussion of resilience and sustainability: Land use planning recovery from the Canterbury earthquake sequence, New Zealand”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (14): 73–81, (2015).
- [3] Jones S., Oven K.J., Wisner B. “A comparison of the governance landscape of earthquake risk reduction in Nepal and the Indian State of Bihar”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (15): 29–42, (2016).
- [4] Parsons M., Glavac S., Hastings P., Marshall G., McGregor J., McNeill J., Morley P., Reeve I., Stayner R. “Top-down assessment of disaster resilience: A conceptual framework using coping and adaptive capacities”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19: 1–11, (2016).
- [5] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Altyapı ve kentsel dönüşüm hizmetleri. Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi. <http://www.csb.gov.tr/db/altyapi/eduardosya/6306%20SAYILI%20KANUN-degisiklik%20islenmis%20son%20hali.pdf>. Yayın tarihi Mayıs 31, 2012. Erişim tarihi Ekim 21, 2017.
- [6] Birinci F. “Türkiye’nin Depremselliği ve Yapı Stoğu Yönünden Mevzuat ve Mali Politikaların Kentsel Dönüşümü Zorlaştıran Unsurları”. *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, (2013).
- [7] Birinci F., ve Hacıfendioğlu K. “Nüfus-İdari Yapı-Plan-Kentleşme-Yapılaşma Perspektifinden Türkiye’nin Deprem-Afet Riski Analizi Ve Çözüm Önerileri”. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, (2015).
- [8] Öcal C., ve İnce H. “Türkiye’de Mevcut Yapı Stoğu ve Kentsel Dönüşüm”. *SDU Uluslararası Teknoloji Dergisi*, 89-95, (2012).
- [9] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Altyapı ve kentsel dönüşüm hizmetleri. <http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/in dex.php?Sayfa=sayfahtml&Id=2091>. Erişim tarihi Ekim 15, 2017.
- [10] Bal İ., Tezcan S., and Gülay G. “Betonarme Binaların Göçme Riskinin Belirlenmesi İçin P25 Hızlı Değerlendirme Yöntemi”. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, (2007).
- [11] Temur R., and Öztörün K., N. “Hızlı Durum Tespit (DURTES) Yöntemi Yazılımının Geliştirilmesi”. *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, İstanbul, (2005).
- [12] Sucuoğlu H. “Fatih İlçesinin Depreme Karşı Güvenli Kılınması Kapsamında Yeniden Yapılandırma, Rehabilitasyon ve Güçlendirme Projelerini Yönlendiren Kentsel Dönüşüm Planlama ve Yerel Eylem Plan ve Projelerinin Hazırlanması İşİ 2.Safha Mühendislik Çalışmalarında Yapı Stoklarının Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi: Kademeli Değerlendirme Yöntemi”, 5s. Proje danışmanı, (2006).
- [13] Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Deprem Şurası. Mevcut Yapıların İncelenmesi ve Yapı Denetimi Komisyonu Raporu, 27 s, Ankara, (2004).
- [14] ATC, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (FEMA P-154), Federal Emergency Management Agency-FEMA, Applied Technology Council, Redwood City, CA, ABD, (2015).
- [15] İstanbul İçin Deprem Master Planı. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama Ve İmar Dairesi Zemin Ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, (2003).
- [16] Sucuoğlu H. “Kentsel Yapı Stoklarında Deprem Risklerinin Sokaktan Tarama Yöntemi ile Belirlenmesi”. (Davetli Konuşma). *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Çağrılı, 267-284, İstanbul, (2007).
- [17] Kaynaşlı Kaymakamlığı arşivi <http://www.kaynasli.gov.tr/anasayfa>
- [18] Kaynaşlı Belediyesi arşivi. <http://www.kaynasli.bel.tr/>
- [19] Acil Destek Vakfı arşivi. <http://www.adv.org.tr/>



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Yeni sıcak ultrasonik yardımcı imalat ünitesi tasarımı ve ekonomik analizi

Design and economic analysis of a novel hot ultrasonic machining system

Yazar(lar) (Author(s)): M. Alper SOFUOĞLU¹, Selim GÜRGEN², Fatih H. ÇAKIR³, Sezan ORAK⁴, Melih C. KUŞHAN⁵

ORCID¹: 0000-0003-4681-6390

ORCID²: 0000-0002-3096-0366

ORCID³: 0000-0002-0873-5920

ORCID⁴: 0000-0003-3811-6415

ORCID⁵: 0000-0002-9427-6192

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sofuoğlu M.A., Gürgen S., Çakır F.H., Orak S. ve Kuşhan M.C., “Yeni sıcak ultrasonik yardımcı imalat ünitesi tasarımı ve ekonomik analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 277-282, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.523697

Yeni Sıcak Ultrasonik Yardımlı İmalat Ünitesi Tasarımı ve Ekonomik Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

**M. Alper SOFUOĞLU¹, Selim GÜRGEN^{2*}, Fatih H. ÇAKIR², Sezan ORAK¹,
Melih C. KUŞHAN¹**

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 26480, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Meslek Yüksekokulu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 26110, Eskişehir, Türkiye

(Geliş/Received : 14.01.2018 ; Kabul/Accepted : 07.05.2018)

ÖZ

Ultrasonik yardımcı işleme, takıma veya iş parçasına belirli bir titreşim uygulanarak iş parçasının işlenmesi süreci olup son işlem uygulamalarında yüzey özelliklerinin iyileşmesi, kesme kuvvetlerinin azalması ve takım ömrünü artırılması amacıyla uygulanır. Sıcak işleme ise talaş kaldırması zor olan malzemelerin termal yumuşamasını sağlayarak kesme işleminin kolaylaştırılmasını amaçlayan bir işlemdir. Bu işlem sayesinde kesme kuvvetlerinde azalma ve takım ömründe artış görülmektedir. İşlenebilirliği zor malzemeler için son yıllarda ortaya çıkan en önemli melez yöntemlerden biri ise sıcak titreşim yardımcı talaşlı işlemdir. Bu işlem ultrasonik yardımcı işleme ile sıcak işlemeyi birleştiren yeni bir melez imalat yöntemidir. Bu çalışma kapsamında ülkemizde yaygın olmayan bu üretim tekniği için yeni bir imalat ünitesi tasarımı yapılmıştır. Bu yeni üretim yöntemi ile özellikle savunma ve havacılık sektöründe işlenebilirliği düşük olan süperalaşım, paslanmaz çelik gibi malzemeler hem yüzey kalitesi artırılarak imal edilebilecek hem de takım maliyeti gibi masraflar azaltılacaktır. Yöntemin hayata geçmesiyle de savunma ve havacılık gibi kritik bir alanlarda ileri teknoloji edinilerek milli bir birikim sağlanmış olacaktır. Tasarlanan imalat ünitesi universal torna tezgahlarına ilave bir modül olarak eklenebilmekte ve ileride CNC tezgahlar için de yaygınlaştırılabilme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik yardımcı işleme, sıcak işleme, melez yöntemler, ultrasonik sistem tasarımı.

Design and Economic Analysis of a Novel Hot Ultrasonic Machining System

ABSTRACT

Ultrasonic assisted machining uses vibrational cutting generally for finishing operations to improve surface properties of the workpiece, reduce cutting force and enhance tool life. On the other side, hot machining takes advantage of thermal softening of difficult-to-cut materials during operations. This process reduces cutting forces and increases tool life. As a hybrid manufacturing method, hot ultrasonic machining is a high-rank important process emerging in the last years. This method brings vibrational cutting and hot machining together to be benefited from both techniques. Within the scope of this study, a new manufacturing system was designed for this production technique which is not common in Turkey. With this new production method, materials such as superalloys and stainless steels, which are particularly hard to machine materials in the defense and aerospace sectors, can be manufactured both by increasing the surface quality and by reducing costs such as tooling costs. With the realization of the method, advanced technology will be gained in critical areas such as defense and aviation. The designed manufacturing system is able to integrated into universal turning lathes and has a potential to be adapted to CNC machines in the near future.

Keywords: Ultrasonic assisted machining, hot machining, hybrid methods, ultrasonic system design.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Modern ürün tasarımları ve imalat teknolojileri her geçen gün değişmektedir. Bu kapsamda imalatta kullanılan yenilikçi yaklaşımlar ile imalat süreçlerinin iyileştirilmesinde uygulanan pek çok yöntem mevcuttur. Geliştirilen yöntemlerden bazıları (3d printing vb.) geleneksel imalat yöntemlerine göre farklı prensiplerle çalışmakta, bazıları ise geleneksel işlem şekillerinde yapılacak modifikasyonlar ile gerçekleştirilmektedir.

Ultrasonik esaslı titreşimlerin talaşlı imalatta kullanımıyla ilgili ilk uygulamalar 1950'lerin sonlarında

başlamıştır [1]. Bu çalışmalarda bir boyutlu osilasyon hareketinden faydalanılmıştır. İki boyutlu titreşim uygulamaları ise özellikle seramik ve camların imalatında 1990'lı yıllarda geliştirilmiştir [1]. Yapılan çalışmalara göre iki boyutlu titreşim uygulamaları bir boyutlu titreşimin sağladığı faydaların ötesinde faydalar sunmuştur. Özellikle optik uygulamalarda, kompleks şekillerin üretilmesinde bu uygulamalar kullanılmıştır [2-4]. İki boyutlu titreşim ile ilgili çalışmalar mikro işlemede ve cam ve seramikler gibi aşırı gevrek malzemelere odaklanırken bir boyutlu titreşim ile ilgili çalışmalar ise işlemesi zor olarak tanımlanan havacılık malzemeleri üzerine yoğunlaşmıştır [5-10].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : sgurgen@ogu.edu.tr

Sıcak işleme ise talaş kaldırması zor olan malzemelerin termal yumuşamasını sağlayarak kesme işleminin kolaylaştırılmasını amaçlayan bir işlemdir. Süperalaşım, titanyum alaşımlar ve seramikler gibi kesimi zor malzemeler için sıcak işleme tercih edilmektedir. Yüksek mekanik özelliklere ve düşük termal iletkenliğe sahip olan bu malzemeler kesme işlemi sırasında aşırı yükselen kesme kuvvetlerine ve kesme sıcaklıklarına sebep olmaktadır. Bu koşullar takım ömrünü bariz bir şekilde azaltmaktadır. Melez imalat yöntemleri birçok işlem için sıklıkla tercih edilen ve kullanılan her bir yöntemin avantajlarından yararlanan tekniklerdir. İşlenebilirliği zor malzemeler için son yıllarda ortaya çıkan en önemli melez yöntemlerden biri ise sıcak titreşim destekli kesme işlemidir. Bu yöntem titreşimli kesme ve sıcak kesme işlemlerinin sağladığı avantajları bir araya getirmektedir. Sıcak titreşim destekli talaşlı işlemede, ısıtma sistemleri ile istenen sıcaklığa getirilen iş parçası kesici takıma veya parçaya titreşim uygulanarak işlenmektedir.

Bu çalışmada dünyada yeni yaygınlaşmaya başlayan ve ülkemizde henüz yaygınlaşmamış bu üretim yöntemi için tezgahlara yeni bir imalat ünitesi tasarımı planlanmıştır. Tasarlanan bu ünite tornalama işlemi için uygulanabilir konumdadır. Tasarlanan modül ve yöntem ile talaşlı imalat alanındaki son işlem uygulamalarında operatörlere ve mühendislere kolaylık sağlayacaktır. Kullanılan ünite günümüzde yaygınlaşan mikroişleme uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

2.1. Kesme kuvvetine etkisi (Effects on cutting force)

İki boyutlu titreşim üreten sistemlerde dairesel ya da eliptik yörünge izleyecek şekilde tasarlanmaktadır. Shamoto ve Moriwaki bu şekilde bir sistem tasarlamışlardır [11]. Bu sistemde iki piezoelektrik seramiğe kontrol sistemi ile akım gönderilerek eliptik yörünge elde edilmiştir. Busan üniversitesinde tasarlanan sistem [12] ise oto rezonant değildir. Buradaki eliptik hareket artı şeklindeki yuvadan mekanik olarak sağlanmaktadır.

Titreşim ile kesme üzerine yapılan çalışmalara göre benzer şartlarda kesme kuvvetleri geleneksel işleme göre önemli ölçüde azalmaktadır [13-16]. Havacılık malzemeleri gibi pekçok farklı grup malzeme için benzer şekilde bildirilmiştir. Bu etkinin titreşimin iki eksenli olduğu durumun tek eksenli olduğu duruma kıyasla arttığı da rapor edilmiştir.

Bir boyutlu titreşim için kesme işlemi sırasında ölçülen değerler, geleneksel tornalama ile elde edilen kararlı kesme kuvveti hemen hemen aynı olduğu ancak boşta bulunduğu zaman kesme kuvvetinin sıfırlanması nedeniyle ortalama kuvvetin önemli ölçüde azaldığı şeklindedir. Bahsedilen bu değişimler oldukça küçük aralıklarda gerçekleştiği için deneysel olarak tayini çok kolay değildir. İki boyutlu titreşimde ise hem maksimum kuvvet değerleri hem de ortalama kesme kuvvetleri geleneksel tornalamaya göre daha düşüktür. Bu durumda

üretilen talaş şeklinin farklı mekanizmalar ile değiştirilmesi ile ifade edilmektedir. Bu bağlamda eliptik yörünge şeklinin kuvvet değişiminde etkili olmaktadır. Ultrasonik uygulamaları ile yapılan çalışmalar genellikle kuru koşullarda yapılmıştır, soğutma sıvıları kullanıldığı takdirde yağlamanın etkisi ile de kesme kuvvetlerinin bir miktar da azalacağı düşünülmektedir.

2.2. Takım ömrüne etkisi (Effects on tool life)

Titreşim ile işleminin takım ömrünü geleneksel işleme göre artırdığı pek çok çalışmada raporlanmıştır. Bu kapsamda elmas uçlar ile demir alaşımlarının işlenmesinde, demir dışı alaşımların işlenmesinde ve gevrek malzemelerin işlenmesinde raporlanmıştır. Bu çalışmalar elmas, CBN, WC gibi farklı kesici uç malzemeleri için de paralel sonuçlar vermişlerdir. [16-19]. Farklı durumlarda görülen aşınma mekanizmaları farklı olarak raporlansa da genel olarak takım ömrünü iyileştirdiği belirtilmiştir [17,20,21].

2.3. İşparçasına etkisi (Effects on workpiece)

Yüzey özellikleri, imalat süreçlerinin başarısını ölçmek için kullanılan temel parametrelerden biridir. Yüzey pürüzlülüğünün yanında form bozuklukları da hassas imalat uygulamaları için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda titreşim uygulanan uygulamalarda geleneksel uygulamalara kıyasla yüzey pürüzlülüklerinde azalma, yuvarlaklık, düzlemsellik gibi form özelliklerinde iyileşme görüldüğü belirtilmiştir. Bu sonuçlar farklı malzemeler için benzer şekilde raporlanmıştır. Bu iyileşmelerin yanında özellikle mikro işleme örneklerinde görüldüğü üzere yüzeyde istenilen bir formun ya da tekstür yapının eldesi de mümkün hale gelmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde bir boyutlu titreşim ile yüzey pürüzlülüğü değeri %40, iki boyutlu titreşimde ise %95 oranında azalmıştır. Özellikle çok düşük pürüzlülük değerlerinin gerekli olduğu optik uygulamalarda iki boyutlu titreşim ile işleme oldukça avantaj sağlamaktadır. Titreşim etkisi ile yüzey özelliklerinin iyileşmesini daha düzenli talaş oluşumu, takım aşınmasının azalması ayrıca uygulanan titreşimin tirlama titreşimlerinin düşürülmesine bağlanabilir.

Geleneksel yaklaşımda yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme hızı ile doğru takım uç yarıçapı ile ters orantılıdır. En temel yaklaşım daha büyük uç yarıçapı kullanmaktır. Bu durum ise tirlama titreşimine yol açabilir. Kesme kuvvet karakteristiğinin titreşim etkisi değiştirilmesi daha büyük radyuslu uç kullanımını mümkün kılar ve yüzey pürüzlülüğü değerleri de önemli ölçüde azaltılabilir. Ultrasonik titreşim ile üretilen frekansın tirlama titreşimlerine etkisi konusu ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır [19, 22-23].

2.4. Talaş oluşumuna etkisi (Effects on chip formation)

Titreşim uygulamalarının talaş şekillerine etkisi bazı araştırmacılar tarafından raporlanmıştır. Ultrasonik titreşimlerin talaş şekillerine etkisinin incelendiği çalışmalar kısıtlıdır. Yapılan çalışmada [10] işlenen Ti6Al4V malzeme ile ultrasonik titreşimin talaş şekline ve yüzey mikroyapısına etkisi incelenmiştir. Ultrasonik

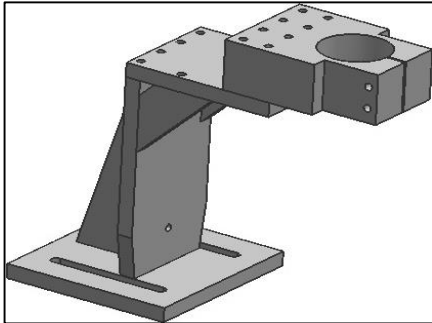
titreşimin etkisi ile yüzey deformasyonun geleneksel tornalamaya göre daha az olduğu raporlanmıştır. Ultrasonik titreşimin etkisi ile talaş şeklinin de değiştiği belirtilmiştir. Geleneksel tornalamada kalın ve değişik formda talaşlar üretilirken, ultrasonik titreşim yardımıyla işlemede ince ve sürekli talaş oluşumu raporlanmıştır. Bu durumu da kayma bandı oluşumundaki azalmaya bağlanmıştır. Bu talaş oluşumu yapılan nümerik çalışmada [7] raporlanan talaş şekillerinin Cockcroft & Latham hasar kriteri belirlenerek nümerik olarak da saptanmıştır. Ayrıca ultrasonik titreşimlerin işleme ile talaşın kesme bölgesinden ayrılma açısını da etkilediği raporlanmıştır [24].

3. SICAK ULTRASONİK İMALAT (HOT ULTRASONIC MANUFACTURING)

Sıcak ultrasonik imalat ünitesi temel olarak üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ultrasonik ünitenin tezgah üzerinde sabitlemesini sağlayan fikstür, kesici takıma titreşimi sağlayan ultrasonik ünite ve sıcak kesme için iş parçasının ısıtılmasını sağlayan ön ısıtma fırınıdır.

3.1. Ultrasonik sistem için fikstür (Fixture for ultrasonic system)

Ultrasonik üniteyi sabitlemek için tasarlanan fikstür altı parçadan oluşmaktadır: Kelepçe, üst tabla, alt tabla, destek tablası, dikme ve destek parçaları. Ultrasonik ünite fikstürü Şekil 1'de üç boyutlu olarak gösterilmektedir. Fikstür malzemesi olarak kalıpcılıkta yaygın olarak kullanılan ck45 çeliği seçilmiştir. Çelik malzeme hem fikstür yapısına mukavemet sağlayacak hem de yüksek özkütlesi sebebiyle fikstüre ağırlık kazandırarak ultrasonik ünitenin rijit bir şekilde tezgaha bağlanmasına sebep olacaktır. Kelepçe malzemesi olarak ise AA7075 alüminyum alaşım tercih edilmiştir. Alüminyum alaşımından üretilen kelepçe sıkma civataları sayesinde esnetilerek içine yerleştirildiği ultrasonik üniteyi tutacaktır. Fikstürün çelik bileşenleri kaynakla birleştirilmektedir. Kelepçe ise üst tablaya civata bağlantılarıyla sabitlenmektedir. Alt tabla kısmında tezgaha bağlantıyı sağlamak amacıyla bağlantı slotları yer almaktadır.



Şekil 1. Fikstür (Fixture)

3.2. Ultrasonik sistem (Ultrasonic system)

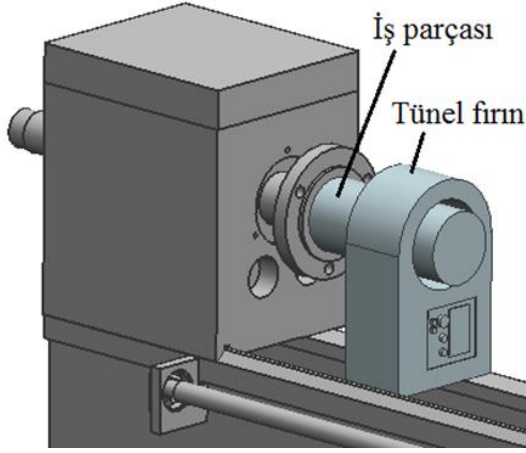
Ultrasonik imalat teknolojisi endüstride ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca çevreci bir üretim teknolojisidir. Ultrasonik sistemler yaygın olarak plastik malzemelerin birleştirilmesinde ve farklı kalite kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Günümüzde ultrasonik teknolojisi talaşlı imalat yöntemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Ultrasonik ekipman üç üründen oluşmaktadır (Şekil 2). Bunlar ultrasonik güç kaynağı, ultrasonik konvertör (ultrasonik kristal, çevirici) ve horn'dur. Horn tasarımı tamamen ürüne bağlı olarak değişir. Ultrasonik titreşimler sayesinde saniyede 20000 veya 40000 kez sürtünmeler oluşur. Bu titreşim sayısına göre sistem 20 kHz ya da 40 kHz olarak belirtilir. Ultrasonik güç kaynağı, ultrasonik titreşimleri başlatır ve kontrol eder. Bu kaynak şebekeden elde ettiği elektrik enerjisini ultrasonik kristalin titreşime frekans-genlikteki elektrik işaretine dönüştürür. Elde edilen bu işaret ultrasonik kristale beslenir. Ultrasonik kristalde bu işaret mekanik titreşimlere dönüştürülür. Booster (yükselteç), genlik miktarı düşük olan titreşimleri yükseltir bazen de düşürür. 1:2 ve 1:3 yaygın olarak kullanılan yükseltme oranlarıdır. Genlik yükseltilirken kullanılan malzeme ve ürün geometrisine göre seçim yapılması önemlidir. Horn, booster ile iletilen titreşimleri temas edilecek parçaya aktarır. Bu parça ürünle sürekli temas halindedir.



Şekil 2. Ultrasonik sistem (Ultrasonic system)

3.3. Ön ısıtma fırını (Pre-heating oven)

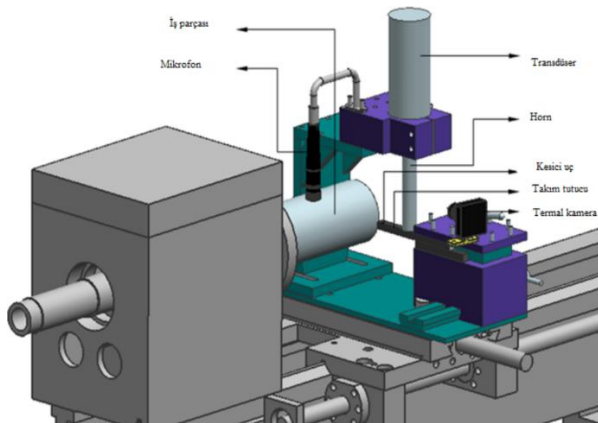
Ön ısıtma fırını 220 V ile çalışmaktadır. Sıcaklık kontrolü Dual Display Dijital On-Off kontrollüdür. Yatay genişliği 100 mm'dir. Seramik boru üzerine ısıtıcı rezistans teller bulunmaktadır. Fırın tezgaha bağlı işparçasının etrafını saracak şekilde yerleştirilecektir. Bu yüzden ortadan açılır şekilde tasarlanarak işparçası tezgah üzerindeyken fırın içine girebilecektir. Fırın sıcaklığı 400 0C'ye kadar çıkabilmektedir. Fırının tezgah üzerindeki bir iş parçasını ısıtma aşaması Şekil 3'te görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3. Ön ısıtma fırını (Pre-heating oven)

3.4. Sıcak ultrasonik imalat sisteminin kullanımı (Usage of hot ultrasonic manufacturing system)

Sıcak ultrasonik imalat ünitesi ek bir modül olduğu için universal tezgahlara kolaylıkla adapte edilebilmektedir. Sistemin tezgaha eklenmesinden önce işparçasının sabitlenmesi ve kesici takımın bağlanması gibi konvansiyonel kesme işlemlerindeki tezgah kurulum aşamaları tamamlanmış olmalıdır. Bu aşamalardan sonra kesici takım arabası üzerine ultrasonik ünite yerleştirilmektedir. Kesici takıma titreşim sağlayan horn ise takım üzerine konumlandırıldıktan sonra kelepçenin sıkılmasıyla kullanıma hazır olmaktadır. Kesme işlemi öncesinde fırınla iş parçasının ısıtılması sağlanmaktadır. Isıtma süresince kızılötesi termometre veya termokupl ile sıcaklık kontrolü yapılabilir. Isıtma tamamlandığında portatif fırın çıkarılarak kesici takım arabası işparçasına yaklaştırılıp kesme işlemi başlatılmaktadır. Kesime başlanmadan hemen önce ultrasonik üreteç açılıp kesici takıma titreşim sağlanması başlatılmaktadır. Şekil 4'te tüm ünitenin tezgaha yerleştirilmiş hali şematik olarak gösterilmiştir.

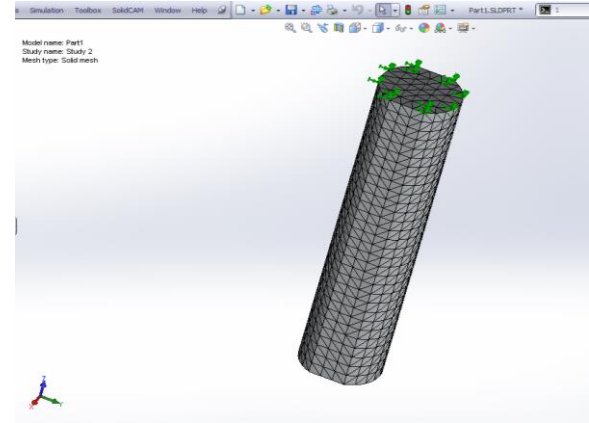


Şekil 4. Sıcak ultrasonik imalat sistemi (Hot ultrasonic machining system)

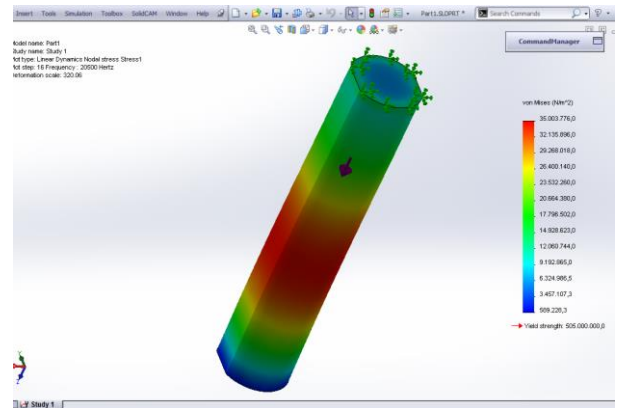
3.5. Horn nümerik tasarımı (Numerical design of horn)

Analizler Solidworks programında gerçekleştirilmiştir ve öncelikle meşleme operasyonu yapılmıştır (Şekil 5).

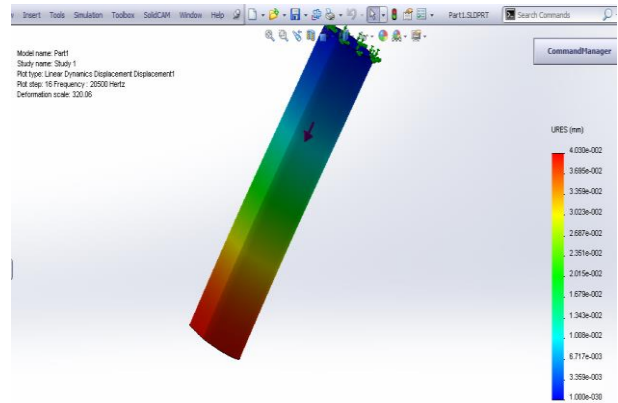
Doğrusal dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde hornun üst kısmı mesnetlenmiştir. Hornun üst kısmına yer değiştirme değeri olarak 0,02 mm verilmiştir ve modal sönümlenme oranı 0,1 olarak verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda horn von Mises gerilme değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Hornun orta kısmında gerilemeler 35 MPa değerlerine kadar yükselirken serbest uç kısmında 0,6 MPa değerine kadar düşmektedir. Horn için gerinim değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Horn için uç kısmında gerinim değerleri 0,04 mm değerlerindedir.



Şekil 5. Horn ağ oluşturma (Meshing of horn)



Şekil 6. Horn'daki von Mises gerilme dağılımı (von Mises stresses in horn)



Şekil 7. Horn'daki gerinim dağılımı (Strain distribution in horn)

3.6. İmalat sistem maliyeti (Manufacturing system cost)

Tasarlanan ünite de kullanılan cihazlar için prototip oluşturulmuştur. Ultrasonik güç kaynağı ve konvertör mevcut halde ultrasonik kaynak ekipmanlarında kullanılan sistemlerle aynıdır. Kesici takıma titreşimi aktaran horn kısmı ise kullanılacak takım tutucunun mekanik ve malzeme özelliklerine göre özel olarak tasarlanmıştır. Horn tasarımı sırasında nümerik analiz ile titreşim karakteristikleri göz önüne alınmıştır. Ultrasonik fikstür ise tezgaha uygun olarak tasarlanmıştır. Fırın tasarımında en yüksek sıcaklık değeri ve iş parçasının çapı önemli tasarım parametreleridir. Üretilen prototip maliyetleri Çizelge 1'de verilmiştir. Maliyet Çizelgesundaki değerlere mühendislik, işçilik ve malzeme maliyetleri dahildir.

Talaşlı imalat ile ilgili tezgah firmaları incelendiğinde spesifik talaşlı imalat operasyonları için tezgah üreten firmalar kısıtlıdır. Ultrasonik ekipman üreten firmalar daha çok kaynak prosesine yoğunlaşmış durumdadır. Yapılan tasarım ise daha çok talaşlı imalat proseslerine yöneliktir. Isıl işlem fırını üreten firmalar için de gerekli olan sistem spesifik bir tasarım ve üretim gerektirdiği için benzer ürün sayısı piyasada çok kısıtlıdır.

Tasarlanan bu yeni imalat sisteminin temel kullanıcılarından biri havacılık malzemelerinin talaş imalat ile şekillendirilmesini yapan firmalardır. Kullanılan bu imalat sistemi özellikle havacılık malzemelerinin talaşlı imalat ile işlenmesinde büyük kolaylıklar sağlar. Bir diğer temel kullanıcılar ise biyomedikal sektördür. Özellikle kişiye özel implant işleminde geliştirilen sistem kullanılabilir. İkincil müşteri grubu ise mikroişleme üzerinde yoğunlaşan firmalardır. Saat-optik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan mikroişleme operasyonlarında ultrasonik yardımcı işleme yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Ekipman maliyetleri (Cost of equipments)

Ekipman	Maliyet
Ultrasonik güç kaynağı	1950 euro
Ultrasonik konvertör	1000 euro
Aluminyum horn	1000 euro
Ultrasonik fikstürü	750 euro
Ön ısıtma fırını	3500 euro
TOPLAM	8200 euro

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışma kapsamında yaygın olmayan bu üretim yöntemi olan sıcak ultrasonik yardımcı imalat yönteminin tanıtımı, kullanım alanları ve avantajları incelenmiştir. Ayrıca ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yeni imalat sistemi ile kullanıcılara şu faydalar sağlanacaktır.

1. Aralıklı kesmeden dolayı takım aşınması azalacak, takım ömrü artacaktır.

2. Kesme işlemi kolaylaşacak, ortalama kesme kuvvetleri düşecektir.
3. Daha düzgün yüzeyler elde edilecek, yüzey pürüzlülüğü düşecektir.
4. Tırlama titreşimleri önlenecektir.
5. İşparçası üzerindeki artık gerilmeler azalacaktır.
6. Üretim maliyetleri düşecektir.
7. Ultrasonik titreşim ile işleme temiz bir üretim tekniğidir. Doğayı kirletmez ve doğa dostudur. Kesme sıvısı tüketimini azaltır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma ESOGU BAP projesi (2016-1086) ve TÜBİTAK projesi (215M382) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca M. Alper Sofuoğlu 2228 TÜBİTAK burs programlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Brehl D.E., Dow T.A., Review of vibration-assisted machining, *Precision Engineering*, 32(3): 153-172, (2008).
- [2] Brehl D.E., Dow T.A., Garrard K.S., Microstructure fabrication using elliptical vibration-assisted machining. *Proc ASPE*, 39: 511-514, (2006).
- [3] Shamoto E., Suzuki N., Tsuchiya E., Hori Y., Inagaki H., Yoshino K., Development of 3-DOF ultrasonic vibration tool for elliptical vibration cutting of sculptured surfaces. *CIRP Ann*, 54: 321-324, (2005).
- [4] Shamato E., Ultraprecision micromachining of hardened die steel by applying elliptical vibration cutting, *JSME News*, 16: 1-4, (2005).
- [5] Ahmed N., Mitrofanov A.V., Babitsky V.I., Silberschmidt V.V., Analysis of material response to ultrasonic vibration loading in turning Inconel 718, *Materials Science and Engineering: A*, 424(25): 318-325, (2006).
- [6] Babitsky V.I., Mitrofanov A.V., Silberschmidt V.V., Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study, *Ultrasonics*, 42(1-9): 81-86, (2004).
- [7] Cakir F., Gurgun S., Sofuoğlu M., Celik O.N., Kushan M.C., Finite Element Modeling of Ultrasonic Assisted Turning of Ti6Al4V Alloy, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195: 2839-2848, (2015).
- [8] Khajehzadeh M., Akhlaghi M., Razfar M.R., Finite element simulation and experimental investigation of tool temperature during ultrasonically assisted turning of aerospace aluminum using multicoated carbide inserts, *Int J Adv Manuf Technology*, 75: 116, (2014).
- [9] Maurotto A., Muhammad R., Roy A., Babitsky V.I., Silberschmidt V.V., Comparing Machinability of Ti-15-3-3-3 and Ni-625 Alloys in Uat, *Procedia CIRP*, 1: 330-335, (2012).

- [10] Patil S., Joshi S., Tewari A., Joshi S.S., Modelling and simulation of effect of ultrasonic vibrations on machining of Ti6Al4V, *Ultrasonics*, 54(2): 694-705, (2014).
- [11] Shamoto E, Suzuki N, Moriwaki T, Naoi Y., Development of Ultrasonic Elliptical Vibration Controller for Elliptical Vibration Cutting, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 51(1): 327–330, (2002).
- [12] Ahn JH, Lim, HS, Son SM., Improvement of Micro-Machining Accuracy by 2-Dimensional Vibration Cutting, *Proc ASPE*, 150–153, (1999).
- [13] Nath C, Rahman M., Effect of Machining Parameters in Ultrasonic Vibration Cutting, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 48(9): 965–974, (2008).
- [14] Nath C, Rahman M, Andrew SSK., A Study on Ultrasonic Vibration Cutting of Low Alloy Steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 192–193: 159–165, (2007).
- [15] Muhammad R, Roy A, Silberschmidt VV., Finite Element Modelling of Conventional and Hybrid Oblique Turning Processes of Titanium Alloy, *Procedia CIRP*, 8: 510–515, (2013).
- [16] Zhou M, Eow YT, Ngoi BKA, Lim EN., Vibration-Assisted Precision Machining of Steel with PCD Tools, *Mater. Manuf. Process.*, 18(5): 825–834, (2003).
- [17] Suzuki N, Nakamura A, Shamoto E, Harada K, Matsuo M, Osada M., Ultraprecision Micromachining of Hardened Steel by Applying Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting, *IEEE*, 221–226, (2003).
- [18] Weber H, Herberger J, Pilz R., Turning of Machinable Glass Ceramics with an Ultrasonically Vibrated Tool, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 33(1): 85–87, (1984).
- [19] Xiao M, Sato K, Karube S, Soutome T., The Effect of Tool Nose Radius in Ultrasonic Vibration Cutting of Hard Metal, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 43(13): 1375–1382, (2003).
- [20] Kim JD, Choi IH., Micro Surface Phenomenon of Ductile Cutting in the Ultrasonic Vibration Cutting of Optical Plastics, *J. Mater. Process. Technol.*, 68(1): 89–98, (1997).
- [21] Kim JD, Lee ES., A Study of the Ultrasonic-Vibration Cutting of Carbon-Fiber Reinforced Plastics, *J. Mater. Process. Technol.*, 43(2–4): 259–277, (1994).
- [22] Xiao M, Karube S, Soutome T, Sato K., Analysis of Chatter Suppression in Vibration Cutting, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 42(15): 1677–1685, (2002).
- [23] Tabatabaei SMK, Behbahani S, Mirian SM., Analysis of Ultrasonic Assisted Machining (UAM) on Regenerative Chatter in Turning, *J. Mater. Process. Technol.*, 213(3): 418–425 (2013).
- [24] Lotfi M, Amini S., Effect of Ultrasonic Vibration on Frictional Behavior of Tool-Chip Interface: Finite Element Analysis and Experimental Study, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Tabanında anahtar kesiti bulunan betonarme istinat duvarlarının jaya algoritmasıyla optimum tasarımı

Optimum design of rc retaining walls with key section using jaya algorithm

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan Tahsin ÖZTÜRK¹, Erdem TÜRKELİ²

ORCID¹: 0000-0001-8479-9451

ORCID²: 0000-0002-4293-4712

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Öztürk H. T. ve Türkeli E., "Tabanında anahtar kesiti bulunan betonarme istinat duvarlarının jaya algoritmasıyla optimum tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 283-291, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.432031

Tabanında Anahtar Kesiti Bulunan Betonarme İstinat Duvarlarının Jaya Algoritmasıyla Optimum Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan Tahsin ÖZTÜRK^{1*}, Erdem TÜRKELİ²

¹Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye

²Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Programı, Ordu Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 07.12.2017 ; Kabul/Accepted : 20.05.2018)

ÖZ

Geleneksel tasarım süreçlerinde bir yapının tasarımında bir önboyutla tasarıma başlanarak, bu tasarımın gerekli koşulları sağlamaması durumunda mühendislik önsezisiyle tasarım değiştirilerek yenilenmektedir. Bu süreçte, başta dayanım olmak üzere; dayanıklılık, stabilite, süneklik ve rijitlik koşullarını sağlayan bir yapı tasarlandığında, özellikle daha ekonomik bir yapı için tasarım birkaç deneme-yanılmadan öteye gidilememektedir. Oysa kaynakların gün geçtikçe azalması ve çevre kirliliğindeki artışlar, yapıların minimum maliyetle yada emisyonla tasarlanmalarını gerektirmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, tabanında anahtar kesiti bulunan bir betonarme konsol istinat duvarının, JAYA algoritması kullanılarak, minimum maliyetle yada CO₂ emisyonu ile tasarımlarının gerçekleştirilmesinden ibarettir. Betonarme istinat duvarı probleminde 12 tasarım değişkeni bulunmaktadır. Bu tasarım değişkenleri duvar boyutlarına ve duvarın çeşitli bölgelerindeki donatılara ilişkindir. Problemin toplam 25 sınırlayıcı bulunmakta ve bu sınırlayıcılar duvarın kayma, devrilme ve taşıma gücü tahkikleri, betonarme kesit denetimleri ve boyut ile donatılara ilişkin koşullardan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sayısal uygulamanın optimum tasarımda; duvar arkasındaki zemin parametreleriyle sürşarj yükünün büyüklüğünün duvarın minimum maliyetine ve CO₂ emisyon değerine etkisi incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, istinat duvarı, jaya algoritması.

Optimum Design of Rc Retaining Walls with Key Section using Jaya Algorithm

ABSTRACT

In the traditional design process, the design starts with preliminary dimensions that may change by using engineering intuition after unfulfillment of necessary design conditions. By this way, the design is renewed with the new dimensions determined. In this process, when designing a structure that provides enough durability, stability, ductility and stiffness, the design is not going to go beyond trial-and-error especially for a more economical structure. However, the ever-decreasing supply of resources and the increase in environmental pollution require the structures to be designed with minimum cost or emission. The main purpose of this study is to perform minimum cost or CO₂ emission design of a reinforced concrete console retaining wall with a key section at the bottom by using JAYA algorithm. There are 12 design variables utilized in this optimization process. The design variables are related to the wall dimensions and reinforcement placed at the various regions of the wall. The design problem has a total of 25 constraints that are related with the slip, overturning, bearing capacity and overall dimensions of the wall, dimension check of the cross section and the amount of reinforcement. In the optimum design of the numerical example given in this study, the effect of the magnitude of the surcharge load and the effect of the parameters of the soil behind the wall on the minimum cost and CO₂ emission design of the wall is investigated.

Keywords: Optimization, retaining wall, jaya algorithm.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilindiği gibi istinat duvarları yol ve temel inşaatlarında sıklıkla kullanılan sanat yapılarıdır. Bu yapılar kagir, ön üretimli yada yerinde dökme beton yada betonarme olarak üretilmektedirler. Bunlardan konsol betonarme istinat duvarları daha ince kesitler gerektirdiğinden kazı miktarının da az olması istendiği yerlerde daha çokça tercih edilmektedir. Konsol istinat duvarları gövde, burun ve topuk kesitlerinden oluşmaktadır.

Bilgisayar yazılım ve donanımlarının gelişmesiyle sayısal optimizasyon teknikleri önemli bir yol kat etmiş ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel yöntemlerle tasarlanan yapılarda ekonomi daha çok mühendislik önsezisiyle sağlanırken, optimizasyon tekniklerinin yapısal tasarımda kullanılmasıyla minimum maliyetli yapıların inşa edilmesi sağlanabilmiştir. Dahası bu gelişmeler sürekli değişkenli problemlerin yanı sıra daha karmaşık olan ve ayrık değişkenlere sahip problemlerin çözülebilmesini de mümkün kılmıştır [1]. Geçtiğimiz on yılda birçok sezgisel algoritma geliştirilmiş ve bu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : htozturk@ktu.edu.tr

algoritmalar mühendislik problemlerinde kullanılmıştır. [2-5]

İstinat duvarlarının optimizasyonu konusunda da literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan istinat duvarlarının sadece minimum maliyetle optimizasyonu; Benzeşimli Tavlama Algoritmasıyla [6,7], kademeli gövdeye sahip istinat duvarlarında Yüklü Sistem Arama Algoritmasıyla [8], Değiştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasıyla [9] gerçekleştirilmiştir. Zemin tahkiklerine göre optimizasyonu hedef güvenilirlik yaklaşımıyla [10], sadece minimum CO₂ emisyonu için optimizasyonu, melez bir algoritma olan Çoklu Başlangıç Değişkenli Komşuluk Arama Eşiği Stratejik Algoritmasıyla [11], minimum maliyet yada ağırlık için optimizasyonu; Doğrusal Olmayan Programlamayla [12], Armoni Arama Algoritmasıyla [13], Büyük Patlama Büyük Çöküş Algoritmasıyla [14], Parçacık Sürü, Ateş Böceği ve Guguk Kuşu algoritmalarıyla karşılaştırılabilir olarak [15] gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deprem yüklerini de dikkate alarak maliyet optimizasyonunda, Işın Optimizasyon Yöntemi [16], Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması [17] ve Levy Uçuşları ile Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon Algoritması [18] kullanılmıştır. Bununla birlikte literatürde JAYA Algoritmasının istinat duvarlarına uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada maliyet optimizasyonu yanında CO₂ emisyonu için de optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bilindiği gibi karbon emisyonun çevreye verdiği zararlar günden güne artmaktadır. Karbon emisyonunun artması atmosferimizde sera etkisine neden olmaktadır. Bu bağlamda yapı malzemelerinin üretiminde ortaya çıkan emisyon değerleri dikkate alınarak, yapıda kullanılan malzeme miktarlarının bu bakımdan optimize edilmesiyle CO₂ salınımının minimuma indirilmesi, çevreye verilen zarar da minimum düzeye indirecektir.

Bu çalışmanın temel amacı tabanında anahtar kesit eklenmiş bir konsol betonarme istinat duvarının maliyet yada CO₂ emisyonu bakımından optimum tasarımını JAYA algoritmasıyla gerçekleştirmek ve bu optimum tasarımda; duvar arkasındaki ve temeldeki zemin parametreleriyle sürşarj yükün büyüklüğünün duvarın minimum maliyetine ve CO₂ emisyon değerine etkisi incelemektir.

2. JAYA ALGORİTMASI (JAYA ALGORITHM)

JAYA Algoritması en iyi çözüme ulaşarak zafer kazanmaya çalışan bu özelliğiyle Sanskritçede zafer anlamına gelen bir kelime olan JAYA ile adlandırılan bir algoritmadır [6]. Algoritma başarıya ulaşmak için sürekli iyi çözümlere yaklaşmaya, başarısızlıktan uzaklaşmak için ise kötü çözümlerden uzaklaşmaya çalışmaktadır. Bu algoritmada da diğer optimizasyon algoritmaları gibi, bir amaç fonksiyonunun ($f(x)$) maksimizasyonu yada minimizasyonu hedeflenmektedir. Herhangi bir i . iterasyonda m tasarım değişkeni sayısını, ($j=1,2,\dots,m$), n aday çözüm sayısını (popülasyonda en iyi ve en kötü çözüm dışındaki diğer bireylerin sayısını) ($k=1,2,\dots,n$) göstermektedir. Aday çözümler içerisinde en iyi çözüm

$f(x)_{best}$, en kötü çözüm ise $f(x)_{worst}$ olarak saklanmaktadır. Algoritmada herhangi bir i . iterasyonda k . aday çözümün j . Değişkeni $X_{j,k,i}$ şeklinde ifade edilirse, bu değişken:

$$X'_{j,k,i} = X_{j,k,i} + r_{1,j,i} (X_{j,best,i} - |X_{j,k,i}|) - r_{2,j,i} (X_{j,worst,i} - |X_{j,k,i}|) \quad (1)$$

ifadesiyle yenilenmektedir. Burada $X_{j,best,i}$ en iyi çözümde j . tasarım değişkeninin değeri, $X_{j,worst,i}$ en kötü çözümde j . tasarım değişkeninin değeri $X'_{j,k,i}$ ise $X_{j,k,i}$ 'nin yenilenen değeridir. $r_{1,j,i}$ ve $r_{2,j,i}$ i . iterasyonda j . tasarım değişkeni için $[0,1]$ aralığında üretilen iki rastgele sayıdır. $r_{1,j,i}(X_{j,best,i} - |X_{j,k,i}|)$ ifadesi iyi çözüme yaklaşma eğilimini, $r_{2,j,i}(X_{j,worst,i} - |X_{j,k,i}|)$ ifadesi ise kötü çözümden uzaklaşma eğilimini yönetmektedir. Yeni türetilen $X'_{j,k,i}$ ifadesinin, daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri vermesi durumunda eski çözüm terk edilerek bu çözüm benimsenmektedir. Benimsenen bu çözümler bir sonraki iterasyon için giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Algoritmaya ilişkin akış diyagramı aşağıdaki Şekil 1'de verilmektedir. Bu algoritma ile ilgili ayrıntılı bilgiye [19] kaynağından ulaşılabilmektedir.

3. AMAÇ FONKSİYONU VE TASARIM DEĞİŞKENLERİ (OBJECTIVE FUNCTION AND DESIGN VARIABLES)

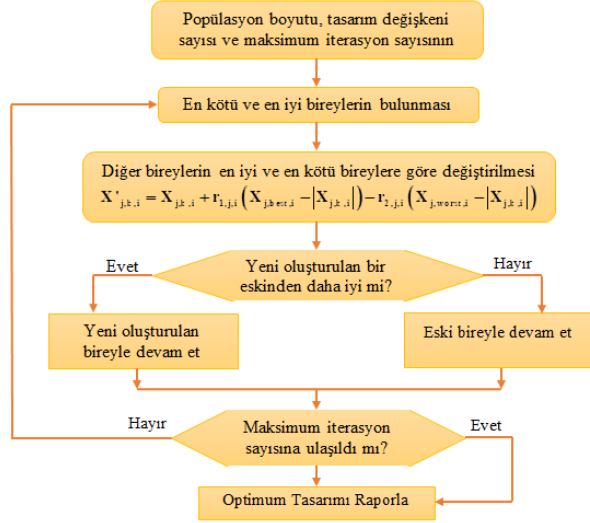
Çalışmanın amacı tabanında anahtar kesit bulunan betonarme konsol istinat duvarlarının minimum maliyetle optimum tasarımlarının gerçekleştirilmesidir. Maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonu için kullanılan amaç fonksiyonları sırasıyla:

$$f_{maliyet} = C_s W_s + C_c V_c \quad (\$/m) \quad (2)$$

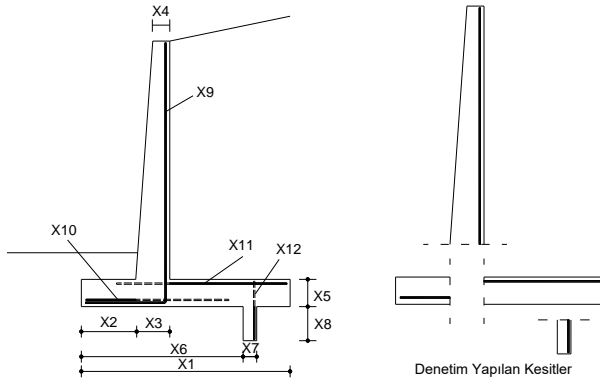
$$f_{emisyon} = E_s W_s + E_c V_c \quad (kg/m) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada C_s donatının birim maliyetini ($\$/kg$), W_s kullanılan donatı ağırlığını (kg), C_c betonun birim maliyeti ($\$/m^3$) ve V_c kullanılan beton hacmini (m^3), E_s donatı için birim CO₂ emisyon değerini, E_c beton için birim CO₂ emisyon değerini göstermektedir. Beton ve donatının birim maliyetleri sırasıyla $40 \$/m^3$ ve $0.40 \$/kg$ olarak alınmıştır. Birim emisyon değerleri ise donatı ve beton için sırasıyla $2,82 \text{ kg/kg}$ ve $224,34 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır [20].

Tabanında anahtar kesit bulunan konsol istinat duvarının tasarım değişkenleri kesit boyutları ve asal donatılara ilişkin değişkenlerden oluşmaktadır. Bu değişkenler aşağıdaki Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Jaya Algoritması Akış Diyagramı [19] (Flow chart of JAYA Algorithm [19])



Şekil 2. İstinat duvarının tasarım değişkenleri ve denetim yapılan kesitler (Design variables of retaining wall and controlled sections)

4. SINIRLAYICILAR (CONSTRAINTS)

Yapısal sınırlayıcılar istinat duvarının devrilme, kayma ve zemin taşıma gücü denetimlerinin yanı sıra donatıların kenetlenme boylarının, maksimum ve minimum donatı oranlarının duvar geometrisinin uygunluğunun ve kritik kesitlerin kesme ve moment kapasitelerinin denetimi için kullanılmaktadır. Duvarın devrilme, kayma ve zemin taşıma gücü denetimleri:

$$g(1) = \frac{SF_o^{design}}{SF_o} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

$$g(2) = \frac{SF_s^{design}}{SF_s} - 1 \leq 0 \quad (5)$$

$$g(3) = \frac{SF_B^{design}}{SF_B} - 1 \leq 0 \quad (6)$$

Burada SF_o , SF_s ve SF_B duvar için devrilme, kayma ve taşıma gücü denetimlerinden hesaplanan güvenlik katsayılarıdır. SF_o^{design} , SF_s^{design} ve SF_B^{design} ise

sağlanmasını istediğimiz ve tasarımda dikkate aldığımız güvenlik katsayılarıdır. Duvar altında çekme gerilmelerinin çıkması istenmediğinden bu durum da;

$$g(4) = -\frac{q_{min}}{100} \leq 0 \quad (7)$$

sınırlayıcısıyla denetlenmektedir. Burada q_{min} temel altında oluşan minimum gerilmedir. Sınırlayıcıda kullanılan 100 değeri sınırlayıcıyı ölçeklemek için kullanılmaktadır [12]. Gövdede, burun, topuk ve anahtar kesitte moment (M_r) ve kesme kapasitelerinin (V_r) tasarım moment (M_d) ve kesme kuvvetlerinden (V_d) büyük olması,

$$g(5:8) = \frac{M_d}{M_r} - 1 \leq 0 \quad (8)$$

$$g(9:12) = \frac{V_d}{V_r} - 1 \leq 0 \quad (9)$$

sınırlayıcılarıyla, gövdede, burun, topuk ve anahtar kesitte asal donatı oranının minimum donatı oranından büyük ve maksimum donatı oranından küçük olup olmadığı,

$$g(13:16) = \frac{\rho_{min}}{\rho} - 1 \leq 0 \quad (10)$$

$$g(17:20) = \frac{\rho}{\rho_{max}} - 1 \leq 0 \quad (11)$$

sınırlayıcılarıyla denetlenmektedir. Burada ρ_{max} ve ρ_{min} yönetmeliklerde [22] ifade edilen maksimum ve minimum donatı oranı, ρ ise kesitlerdeki donatı oranını göstermektedir. Duvar geometrisinin doğruluğunu sağlamak için,

$$g(21) = \frac{X_2 + X_3}{X_1} - 1 \leq 0 \quad (12)$$

sınırlayıcısı, anahtar kesit bulunan duvarda, anahtar kesitin geometrik olarak temele uygunluğunu sağlamak için ise aşağıda verilen,

$$g(22) = \frac{X_6 + X_7}{X_1} - 1 \leq 0 \quad (13)$$

şeklinde ifade edilen sınırlayıcı kullanılmaktadır. Donatıların kenetlenme boyları duvar kesitleri içinde kalması gerekmektedir. Burada kenetlenme boyu iki aşamada hesaplanmaktadır. İlk olarak düz kenetlenme boyu hesaplanarak mevcut bölgeye yerleşip yerleşmediği denetlenmektedir. Düz kenetlenme boyu, mevcut bölgeye sığmıyorsa, kancalı kenetlenme boyu hesaplanmakta ve bu boyun da mevcut bölgeye yerleşip yerleşmediği denetlenmektedir. Her iki tip kenetlenme de uygun oluyorsa, daha az donatı gerektiren kenetlenme türü tercih edilmektedir. Kenetlenme boyları

$$g(23) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada}$$

$$g(23) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (\text{gövdede}) \quad (14)$$

$$g(24) = \frac{l_{db}}{X_1 - X_2 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada}$$

$$g(24) = \frac{12\Phi}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (\text{burunda}) \quad (15)$$

$$g(25) = \frac{l_{db}}{X_2 + X_3 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada}$$

$$g(25) = \frac{12\Phi}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (\text{topukta}) \quad (16)$$

$$g(26) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad \text{yada}$$

$$g(26) = \frac{l_{db}}{X_5 - c} - 1 \leq 0 \quad (\text{anahtarda}) \quad (17)$$

uygulamada seçilen duvarın tasarım parametreleri Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 2. Asal donatılar için tasarım değişkeni veri havuzu (Data pool of design variables for main bars)

İndeks No	Donatı Sayısı	Donatı çapı (mm)	Donatı Alanı (mm ²)
1	3	10	235.6
2	4	10	314.1
3	3	12	339.2
4	5	10	392.6
...
...
221	16	30	11309.7
222	17	30	12016.5
223	18	30	12723.4

Çizelge 1. Tasarım değişkenlerinin alt, üst sınırları ve artım değerleri (Upper, lower bounds and increments of design variables)

Tasarım Değişkeni	Birim	Alt Limit	Üst Limit	Artım
X1	m	1.96	5.50	0.01
X2	m	0.65	1.16	0.01
X3	m	0.25	0.50	0.01
X4	m	0.25	0.50	0.01
X5	m	0.40	0.50	0.01
X6	m	1.96	5.50	0.01
X7	m	0.20	0.50	0.01
X8	m	0.20	0.50	0.01
X9	İndeks No	#1	#223	#1
X10	İndeks No	#1	#223	#1
X11	İndeks No	#1	#223	#1
X12	İndeks No	#1	#223	#1

bağıntılarıyla denetlenmektedir. Burada \emptyset kenetlenecek donatının çapını, c beton örtüsünü, l_{db} düz kenetlenme boyunu, l_{dh} ise kancalı kenetlenmeye ilişkin donatı boyunu göstermektedir. Bu iki durumda geometrik olarak uygunsa minimum maliyeti veren kenetlenme çeşidi seçilmektedir.

5. SAYISAL UYGULAMA (NUMERICAL EXAMPLE)

Sayısal uygulama olarak anahtar kesiti olan ve kohezyonsuz bir zemin üzerine oturan istinat duvarının minimum maliyet için optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, duvarda anahtar kesit bulunması durumunda 12 tasarım değişkeni bulunmakta ve bu tasarım değişkenleri Şekil 1'de görülmektedir. Bu problem için tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları Çizelge 1'de verilmektedir. Problemden asal donatılar 223 adet donatı konfigürasyonu bulunan ve Çizelge 2'de özetlenen tasarım değişkeni havuzundan alınmıştır. Bu

Çizelge 3. Sayısal uygulama için tasarım parametreleri (Design parameters for numerical example)

Giriş Parametresi	Değeri
Duvar Gövde Yüksekliği	4.5 m
Şev Eğimi (β)	0 °
Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ)	28 °
Temel zemininin içsel sürtünme açısı (ϕ')	34 °
Duvar arkasındaki zeminin birim hacim ağırlığı (γ_s)	18.5 kN/m ³
Temel zemininin birim hacim ağırlığı (γ_s')	17 kN/m ³
Temel zemininin kohezyonu (c)	0 kPa
Duvar önündeki zemin derinliği (D)	0.3 m
Sürşarj yükü (q)	30 kPa
Devrilme güvenlik katsayısı	1.5
Kayma güvenlik katsayısı	1.5
Zemin taşıma gücü güvenlik katsayısı	1.5
Yük katsayısı	1.7
Beton örtüsü	70 mm
Beton basınç dayanımı	21 MPa
Donatı akma dayanımı	400 MPa
Rötre ve sıcaklık değişimi donatısı oranı	0.002
Betonun birim hacim ağırlığı	23.5 kN/m ³
Donatının birim hacim ağırlığı	78.5 kN/m ³

Söz konusu problem JAYA Algoritmasıyla çözülmüş ve maliyet ile CO₂ emisyonu optimizasyonları için 100'er bağımsız koşum gerçekleştirilmiştir. Algoritma MATLAB yazılımında programlanmıştır. Koşumlarda INTEL(R) Xeon(R) E5-1650 v3 CPU 3.50 GHz işlemciye sahip iş istasyonu kullanılmıştır. Dikkate alınan sınırlayıcıların algoritmalara eklenmesinde, ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Her bir koşumda popülasyon boyutu 80 alınarak 240080 amaç fonksiyonu değerlendirmesi yapılmıştır.

Bağımsız koşumlarda elde edilen en iyi emisyon değeri 1335.02 kg/m, ortalama emisyon değeri 1337.19 kg/m, en kötü emisyon değeri 1380.22 kg/m ve bunların standart sapması 9.50 kg/m olarak elde edilmiştir. Maliyet optimizasyonu için başarımlı oranı %100, CO₂ emisyonu optimizasyonu için başarımlı oranı ise %94'dür. Diğer bir deyişle maliyet optimizasyonunda gerçekleştirilen bağımsız koşumların 100'ünde de global minimuma ulaşılmış, CO₂ emisyonu optimizasyonunda ise bağımsız koşumların 94'ünde global minimuma ulaşılmıştır. Algoritmanın maliyet optimizasyonu için global minimuma ulaştığı amaç fonksiyonu sayılarının en iyi değeri 20800, ortalama değeri 39412, en kötü değeri 86160 ve standart sapması 10894'dür. CO₂ emisyonu optimizasyonunda ise en iyi değeri 23520, ortalama değeri 51328, en kötü değeri 240080 ve standart sapması 48968'dir. Bu durum da maliyet optimizasyonunda yakınsamanın CO₂ emisyonu optimizasyonuna göre daha hızlı olduğunu göstermektedir. Optimizasyon sonucu ulaşılan minimum maliyet ve minimum CO₂ emisyonu için elde edilen tasarım değişkenleri aşağıdaki Çizelge 4'de verilmektedir.

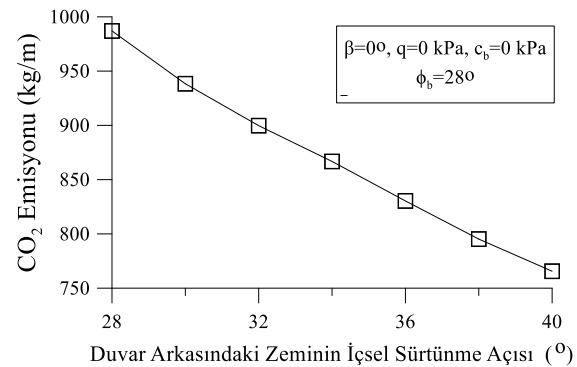
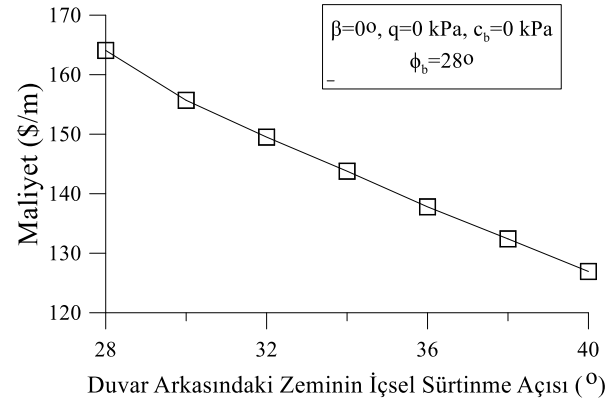
Çizelge 4. Elde edilen optimum tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables)

Tasarım değişkeni	Maliyet optimizasyonu	CO ₂ emisyonu optimizasyonu
	Birim	Birim
X1	3.75 m	3.75 m
X2	0.65 m	0.65 m
X3	0.50 m	0.50 m
X4	0.25 m	0.25 m

Çizelge 5. Farklı içsel sürtünme açıları için maliyet optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from cost optimization for different internal friction angles)

φ	Maliyet Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
28	2.53	0.65	0.41	0.25	0.40	2.08	0.20	0.49	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.43	0.65	0.4	0.25	0.40	2.03	0.20	0.41	18Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
32	2.33	0.65	0.36	0.25	0.40	2.12	0.20	0.33	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
34	2.24	0.65	0.37	0.25	0.40	1.99	0.20	0.26	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
36	2.16	0.65	0.36	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
38	2.16	0.65	0.37	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	14Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

X5	0.40 m	0.40 m
X6	2.29 m	2.18 m
X7	0.20 m	0.20 m
X8	0.50 m	0.50 m
X9	16Ø14	22Ø12
X10	15Ø10	15Ø10
X11	25Ø12	25Ø12
X12	6Ø10	6Ø10
Toplam maliyet / CO ₂ emisyonu	216.2519 \$/m	1335.02 kg/m



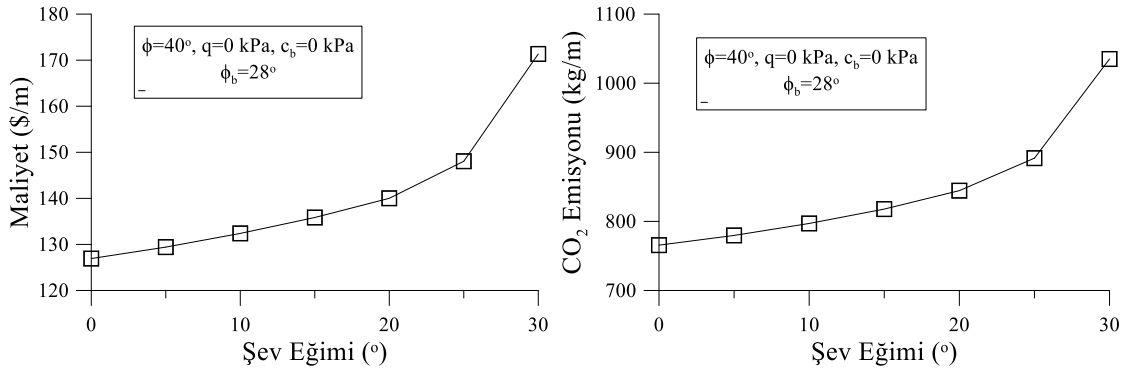
Şekil 3. Optimum maliyet ve emisyon değerlerinin duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısıyla değişimi (Variation of optimal cost and emission values in terms of internal friction angle of soil behind of the wall)

Çizelge 6. Farklı içsel sürtünme açıları için CO₂ emisyonu optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from CO₂ emission cost optimization for different internal friction angles)

ϕ	CO ₂ Emisyonu Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
28	2.52	0.65	0.44	0.25	0.40	2.28	0.20	0.50	12Ø12	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.43	0.65	0.40	0.25	0.40	1.97	0.20	0.41	18Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
32	2.33	0.65	0.41	0.25	0.40	2.00	0.20	0.34	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
34	2.24	0.65	0.37	0.25	0.40	1.96	0.20	0.26	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
36	2.16	0.65	0.36	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
38	2.16	0.65	0.37	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	14Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısının optimum tasarıma etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit kalmak üzere içsel sürtünme açısı 30°, 32°, 34°, 36°, 38° ve 40° alınarak optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen optimum maliyet ve emisyon değerlerinin duvar

Şekil 3'den istinat duvarının arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısının artmasıyla, maliyetin ve CO₂ emisyon değerinin azaldığı görülmektedir. Çizelge 5 ve 6'dan farklı içsel sürtünme açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, içsel sürtünme açısı arttıkça temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin

**Şekil 4.** Optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şev açısıyla değişimi (Variation of optimal cost and emission values in terms of backfill slope)**Çizelge 7.** Farklı şev açıları için maliyet optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from cost optimization for different backfill slopes)

β	Maliyet Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
5	2.16	0.72	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.69	0.35	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
15	2.16	0.99	0.36	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.16	0.89	0.39	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
25	2.16	1.16	0.40	0.25	0.40	1.96	0.20	0.36	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.16	1.12	0.41	0.25	0.40	1.96	0.20	0.44	18Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısıyla değişimi Şekil 3'de görülmektedir. Bununla birlikte farklı içsel sürtünme açıları için maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonlarından elde edilen optimum tasarım değişkenleri sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6'da görülmektedir.

temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesitin derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) azalma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de buruna doğru kaydığı görülmektedir

Çizelge 8. Farklı şev açıları için CO₂ emisyonu optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from CO₂ emission cost optimization for different backfill slopes)

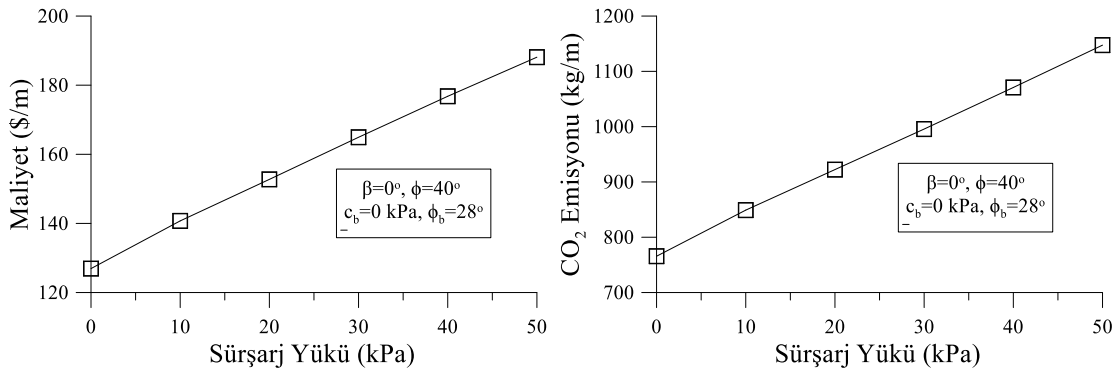
β	CO ₂ Emisyonu Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
5	2.16	0.65	0.35	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.84	0.38	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	14Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
15	2.16	0.71	0.39	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.16	0.89	0.39	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
25	2.16	1.04	0.41	0.25	0.40	1.96	0.20	0.32	16Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.16	1.08	0.43	0.25	0.40	1.96	0.20	0.43	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10

Şev açısının optimum tasarıma etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit kalmak üzere şev açısı 5°, 10°, 15°, 20°, 25° ve 30° alınarak optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şev açısıyla değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Bununla birlikte farklı şev açıları için maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonlarından elde edilen optimum tasarım değişkenleri sırasıyla Çizelge 7 ve Çizelge 8'de görülmektedir.

Şekil 4'den istinat duvarının arkasındaki şev açısının artmasıyla, maliyetin ve CO₂ emisyon değerinin arttığı görülmektedir. Çizelge 7 ve 8'den farklı şev açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, şev açısı arttıkça burun plağının

uzunluğunun (X2), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitinin genişliğinin (X3), ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca şev açısının 20°'nin üzerine çıktığı durumda anahtar kesit derinliğinin (X8) de arttığı görülmektedir.

Şürşarj yükün optimum tasarıma etkisini incelemek üzere diğer parametreler sabit kalmak üzere şürşarj yük 0, 10, 20, 40 ve 50 kPa alınarak optimum tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şürşarj yük ile değişimi Şekil 5'de görülmektedir. Bununla birlikte farklı şürşarj yükleri için maliyet ve CO₂ emisyonu optimizasyonlarından elde edilen optimum tasarım değişkenleri sırasıyla Çizelge 9 ve Çizelge 10'da görülmektedir.

**Şekil 5.** Optimum maliyet ve emisyon değerlerinin şürşarj yüküyle değişimi (Variation of optimal cost and emission values in terms of surcharge load)**Çizelge 9.** Farklı şürşarj yükleri için maliyet optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from cost optimization for different surcharge loads)

q	Maliyet Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.65	0.38	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.30	0.65	0.42	0.25	0.40	2.08	0.20	0.23	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.42	0.65	0.47	0.25	0.40	2.18	0.20	0.33	20Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.51	0.68	0.50	0.25	0.40	2.00	0.20	0.45	22Ø10	15Ø10	17Ø10	6Ø10
50	2.60	0.65	0.49	0.25	0.44	2.37	0.20	0.46	26Ø10	17Ø10	20Ø10	6Ø10

Çizelge 10. Farklı sürşarj yükleri için CO₂ emisyonu optimizasyonundan elde edilen tasarım değişkeni değerleri (Obtained optimum values of design variables from CO₂ emission cost optimization for different surcharge loads)

q	CO ₂ Emisyonu Optimizasyonunda Elde Edilen Optimum Tasarım Değişkenleri											
	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	X4 (m)	X5 (m)	X6 (m)	X7 (m)	X8 (m)	X9	X10	X11	X12
0	2.16	0.65	0.33	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	15Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
10	2.16	0.65	0.38	0.25	0.40	1.96	0.20	0.20	17Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
20	2.30	0.65	0.42	0.25	0.40	2.05	0.20	0.23	19Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
30	2.42	0.65	0.47	0.25	0.40	2.00	0.20	0.33	20Ø10	15Ø10	15Ø10	6Ø10
40	2.51	0.65	0.50	0.25	0.40	2.02	0.20	0.43	22Ø10	15Ø10	18Ø10	6Ø10
50	2.60	0.66	0.49	0.25	0.44	2.40	0.20	0.47	26Ø10	17Ø10	19Ø10	6Ø10

Şekil 5'den istinat duvarının arkasındaki sürşarj yükünün artmasıyla, maliyetin ve CO₂ emisyon değerinin arttığı görülmektedir. Çizelge 9 ve 10'dan farklı sürşarj yükleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, sürşarj yükü arttıkça; temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesit derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de topuğa doğru kaydığı görülmektedir. Ayrıca sürşarj yükünün 30 kPa'nın üzerine çıktığı durumda burun ve topuk kesitlerindeki donatıların (X10 ve X11) da arttığı görülmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada bir sezgisel algoritma olan JAYA algoritması tabanında anahtar kesit bulunan bir betonarme konsol istinat duvarının minimum maliyet yada CO₂ emisyonu ile optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda sayısal uygulamaya konu olan istinat duvarı için optimum kesit ve asal donatılar elde edilmiştir. Böylece bu algoritmanın çalışmaya konu olan tabanında anahtar kesit bulunan istinat duvarlarının optimum tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen parametrik çalışmalardan duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısının artmasıyla optimum tasarıma sahip duvarın maliyet ve CO₂ emisyon değerinin azalacağı, şev eğimi ve sürşarj yükünün artmasıyla ise optimum tasarıma sahip duvarın maliyet ve CO₂ emisyon değerinin artacağı görülmektedir. Bununla birlikte farklı içsel sürtünme açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, içsel sürtünme açısı arttıkça temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesit derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) azalma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de buruna doğru kaydığı görülmektedir. Diğer taraftan farklı şev açısı değerleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde, şev açısı arttıkça burun plağının uzunluğunun (X2), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu görülmekte, şev açısının 20°'nin üzerine çıktığı durumda anahtar kesit derinliğinin (X8) de arttığı görülmektedir. Farklı sürşarj yükleri için tasarım değişkenlerinin değişimi incelendiğinde ise, sürşarj yükü

arttıkça; temel genişliğinin (X1), duvar gövdesinin temelle birleştiği kesitin genişliğinin (X3), anahtar kesit derinliğinin (X8) ve gövde donatısı miktarının (X9) artma eğiliminde olduğu, anahtar kesitin yerinin (X6) de topuğa doğru kaydığı görülmekte, sürşarj yükünün 30 kPa'nın üzerine çıktığı durumda burun ve topuk kesitlerindeki donatıların (X10 ve X11) da arttığı görülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBB-2015-130).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Rana Sh., Islam N., Ahsan R. and Ghani S.N., "Application of Evolutionary Operation to the Minimum Cost Design of Continuous Prestressed Concrete Bridge Structure", *Eng. Struct.*, 46: 38-48, (2013).
- [2] Öztürk H.T., Türkeli E. and Durmuş A., "Optimum Design of RC Shallow Tunnels in Earthquake Zones using Artificial Bee Colony and Genetic Algorithms", *Computers and Concrete*, 17: 435-453, (2016).
- [3] Öztürk H.T., "Optimum Design of RC Cantilever Retaining Wall Using Artificial Bee Colony and Cuckoo Search Algorithms", 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, 1-8, (2016).
- [4] Öztürk H.T., "Optimum Cost Design of RC Columns using Big Bang-Big Crunch Optimization Algorithm", 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, 1-8, (2016).
- [5] Öztürk H.T., "İstinat Duvarlarının Öğrenme ve Öğretme Tabanlı Algoritmaya Optimum Tasarımı", Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Erzurum, 813-822, (2016).
- [6] Ceranic B., Fryer C. and Baines R.W., "An Application of Simulated Annealing to the Optimum Design of Reinforced Concrete Retaining Structures", *Computers & Structures*, 79(17): 1569-1581, (2001).
- [7] Yepes V., Alcalá J., Perea C. and González-Vidoso F., "A Parametric Study of Optimum Earth-Retaining Walls by Simulated Annealing", *Engineering Structures*, 30(3): 821-830, (2008).
- [8] Kaveh, A. and Behnam A.F., "Charged System Search Algorithm for the Optimum Cost Design of Reinforced

- Concrete Cantilever Retaining Walls”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(3): 563-570, (2013).
- [9] Khajehzadeh M., Taha M.R., El-Shafie A. and Eslami M., “Modified Particle Swarm Optimization for Optimum Design of Spread Footing and Retaining Wall”, *Journal of Zhejiang University-Science A*, 12(6): 415-427, (2011).
- [10] Sivakumar Babu G. L. and Basha B. M., “Optimum Design of Cantilever Retaining Walls Using Target Reliability Approach”, *International Journal of Geomechanics*, 8(4): 240-252, (2008).
- [11] Yepes V., Gonzalez-Vidoso F., Alcalá J. and Villalba P., “CO₂-Optimization Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Based on a VNS-Threshold Acceptance Strategy”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3): 378-386, (2011).
- [12] Saribas A. and Erbatur F., “Optimization and Sensitivity of Retaining Structures”, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(8): 649-656, (1996).
- [13] Akin A. and Saka M.P., “Optimum Design of Concrete Cantilever Retaining Walls using Harmony Search Algorithm”. 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Trabzon, (2010).
- [14] Camp C.V. and Akin A., “Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization”, *Journal of Structural Engineering*, 138(3): 438-448, (2011).
- [15] Gandomi A.H., Kashani A.R., Roke D.A. and Mousavi M., “Optimization of Retaining Wall Design using Recent Swarm Intelligence Techniques”, *Engineering Structures*, 103: 72-84, (2015).
- [16] Kaveh A. and Khayatizad M., “Optimal Design of Cantilever Retaining Walls using Ray Optimization Method”, *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*, 38(C1+): 261-274, (2014).
- [17] Kayhan A. H. and Demir A., “Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimum Tasarımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3): 129-135, (2016).
- [18] Aydogdu, I., “Cost Optimization of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls under Seismic Loading using a Biogeography-Based Optimization Algorithm with Levy Flights”, *Engineering Optimization*, 49(3): 381-400, (2017).
- [19] Rao R., “Jaya: a Simple and New Optimization Algorithm for Solving Constrained and Unconstrained Optimization Problems”, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1): 19-34, (2016).
- [20] Khajehzadeh M., Taha M. R. and Eslami M., “A New Hybrid Firefly Algorithm for Foundation Optimization”, *National Academy Science Letters*, 36(3): 279-288, (2013).
- [21] Saribas A. and Erbatur F., “Optimization and Sensitivity of Retaining Structures”, *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(8): 649-656, (1996).
- [22] ACI 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, (2014).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



A numerical investigation on oblique projectile impact behavior of AA5083-H116 plates

AA5083-H116 levhaların açılı mermi çarpma davranışı üzerine sayısal bir araştırma

Yazar(lar) (Author(s)): Selim GÜRGEN

ORCID: 0000-0002-3096-0366

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Gürgen S., “A numerical investigation on oblique projectile impact behavior of AA5083-H116 plates”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 293-301, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.403994

A Numerical Investigation on Oblique Projectile Impact Behavior of AA5083-H116 Plates

Araştırma Makalesi / Research Article

Selim GÜRGEN*

Eskişehir Vocational School, ESOGU, 26110, Eskişehir, Turkey
(Geliş/Received : 14.01.2018 ; Kabul/Accepted : 06.02.2018)

ABSTRACT

In this paper, oblique impact of ogive nose projectile on 5083-H116 aluminum alloy plates was numerically investigated. Three parameters such as impact velocity, impact angle and target configuration were varied to observe their influence on the ballistic resistance of targets. Based on the results, the oblique angle of impact acts an important role on the deformation mode of targets. The penetration of projectile dominates targets under low oblique angle impacts and the deformation changes from embedment to ricochet as oblique angle increases. Beside the oblique angle, the ballistic resistance of target is heavily dependent on impact velocity. Targets are perforated as impact velocity increases even if oblique angle becomes larger. Target configuration is another factor on the protective performance which is increased using thicker plates. The ballistic response of monolithic and double layer targets for the same thickness is very close each other.

Keywords: Armor plate, aluminum, ballistic impact, finite element method.

AA5083-H116 Levhaların Açılı Mermi Çarpma Davranışı Üzerine Sayısal Bir Araştırma

ÖZ

Bu çalışmada sivri uçlu mermilerin AA5083-H116 levha üzerine açılı çarpma durumları sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada çarpma hızı, çarpma açısı ve hedef konfigürasyonu değişken olarak tutularak bu değişkenlerin hedef balistik direncine olan etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, çarpma açısının hedef hasarı üzerinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Düşük eğimli çarpmalarda hedef delinmesinin baskın olduğu ancak eğim açısındaki artışın mermi gömülmesine ve merminin sekmesine sebep olduğu gözlenmiştir. Mermi hızının yüksek olduğu durumlarda ise eğim açısı fazla olsa bile hedefte delinme gerçekleşmektedir. Hedef konfigürasyonu ise diğer bir önemli faktör olup hedef kalınlığı arttıkça balistik direnç artmaktadır. Aynı kalınlığa sahip tek ve çift katmanlı hedefler birbirine yakın balistik davranış göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Zırh levhası, alüminyum, balistik çarpma, sonlu elemanlar yöntemi.

1. INTRODUCTION

Aluminum plates are extensively utilized in armor systems due to their high strength to weight ratio. Investigations into the protective performance of aluminum alloys were initiated in the early 1940s and the primary objective was to achieve improved protection against fragmentation by artillery shells. Aluminum alloys especially 5083 alloys are designated for specific armor applications which are strengthened by work hardening to increase their ballistic resistance to fragment penetration. These alloys are characterized by proper formability, weldability and structural strength. Armor made of 5083 alloy has been widely used for ballistic protection in many applications, the most notable of which is the M113 Personnel Carrier hull structure [1].

Elaldi et al. [2] studied the influence of impactor geometry on various targets. Based on this study, conical

and ogival type penetrators exhibited more penetrative effect in comparison to impactors with larger contact surfaces such as flat-ended ones. Iqbal et al. [3] investigated the ballistic limits of targets with different configurations such as monolithic and multilayer targets. An ogive nose projectile was used in the impact tests and according to this study, each target exhibits different ballistic limits as the obliquity is changed in the targets. Singh et al. [4] used functionally graded plates as the targets in oblique low velocity impacts. Nishida et al. [5] studied the local damage of composites panels subjected to oblique projectile impacts. A parametric approach was carried out using simulations which were verified by experimental results. Forrestal et al. [6] investigated conical and ogival nose rigid rod projectiles that perforate 5083-H131 and 6061-T651 aluminum armor plates. Børvik et al. [7] studied the ballistic resistance of 5083-H116 aluminum armor plates under rigid and conical nose rod impact. Gooch et al. [8] presented the ballistic limit data for 6061-T651 aluminum plates. Borvik et al. [9] studied the ballistic limit of 12 mm thick Weldox steel

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-mail.: sgurgen@ogu.edu.tr

plates for projectiles with various nose. They found that the ballistic limit is 185 and 300 m/s for blunt and conical projectiles respectively. Gupta et al. [10] investigated the perforation of aluminum plates under ballistic conditions. It was reported that ogive nose projectile is most efficient penetrator for 0.5 to 1.5 mm thickness aluminum plates while blunt projectiles are suggested for 2 to 3 mm thickness aluminum plates. Iqbal et al. [11] studies the influence of projectile nose angle on the ballistic limit of 12 mm thick Weldox steel plates. It was suggested that the ballistic limit of these plates linearly increases with the decrease in the projectile nose angle from 180° to 33.4°. Yoshizawa et al. [12] showed that the ballistic resistance of steel plates with the thickness of 7 to 38 mm decreases as the nose angle of projectile decreases. Jones et al. [13] investigated the perforation of aluminum alloys under low and moderate velocity impact conditions. They recommended empirical equations that are suitable for estimating the perforation energy of the plates. Forrestal et al. [14]–[16] used analytical modeling to calculate the penetration depth and perforation resistance of different materials. Paik et al. [17] investigated the characteristics of deformation and perforation on thin-walled structures under ballistic impact based on numerical simulations. They presented an empirical formula that relates impact energy absorbed up to perforation of the target plate with the impact velocity of projectile. Dey et al. [18] studied the ballistic resistance of double layered steel targets impacted by blunt and ogival nose projectiles. It was found that double layered plates offer a large gain in ballistic limit against blunt projectiles but the advantage disappears against ogival projectiles. Liu et al. [19] numerically investigated the perforation of Weldox steel and 5083-H116 aluminum alloy targets. It was suggested that the proposed material model is effective to predict the failure characteristics of the targets based on the experimental outputs.

Despite the several investigations into the ballistic resistance of metal plates in the literature, oblique impacts have not been studied extensively. The majority of ballistic studies focus on the worst case scenario with normal impact conditions where the angle between the projectile travel direction and the normal vector of target is zero. However, most of the real conditions has some degree of obliquity in the projectile impact on targets. Oblique impact on targets was only discussed in early review papers [20]–[23]. Beside the review papers, more recent investigations into the oblique impact on different targets can be found in [24]–[26]. In this paper, oblique impact of rigid ogive nose projectile on 5083-H116 aluminum alloy plates was numerically investigated. The numerical model was validated using experimental results of Børvik et al. [27] where the targets were

subjected to rigid projectile perforation with the impact angle of 90°. In the present study, three parameters such as impact velocity, impact angle and target configuration were varied to observe their influence in the ballistic impacts. Based on the results, the oblique angle of impact acts an important role on the deformation mode of targets. The penetration of projectile dominates targets under low oblique angle impacts and the deformation changes from embedment to ricochet as oblique angle increases. Beside the oblique angle, the ballistic resistance of target is heavily dependent on impact velocity. As it is expected, targets are easily perforated as impact velocity increases even if oblique angle becomes larger. Target configuration is another factor on the protective performance which is increased using thicker plates. The ballistic response of monolithic and double layer targets for the same thickness is very close each other.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Material Properties

In the study, 5083-H116 aluminum alloy was used as the target material. This alloy has the main alloying elements of 4.75 wt% magnesium, 0.84 wt% manganese and 0.18 wt% iron [7]. For the armor plates made of 5083-H116 aluminum alloys, the US Army Research Laboratory suggests some limit properties that the material should satisfy such as ultimate tensile strength of 283 MPa, yield strength of 200 MPa for 0.2% offset and percent elongation of 0.10 at tensile failure [28]. In order to obtain the mechanical properties of AA5083-H116 under ballistic conditions, comprehensive material tests were performed by Clausen et al. [29]. In their extended test program, approximately 100 specimens were subjected to mechanical testing in consideration of anisotropy, strain rate and temperature. Based on the results, Johnson Cook material model exhibits the most suitable behavior for this alloy. In early studies of Børvik et al. [30], [31], a modified Johnson Cook material model was suggested and this modified model showed good match with the experimental results. The modified model avoids the numerical difficulties in the strain rate part of the original model in case of very small strain rates such as static conditions. Therefore, modified Johnson Cook expresses the equivalent stress, damage parameter and strain at fracture as in the Eq. 1 to 3.

$$\sigma_{eq} = (A + B\varepsilon_p^n)(1 + \varepsilon_p)^C \left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right] \quad (1)$$

$$D = \sum \frac{\Delta\varepsilon_p}{\varepsilon^f} \quad (2)$$

$$\varepsilon^f = \left[D_1 + D_2 \exp D_3 \left(\frac{P}{\sigma_{eff}} \right) \right] (1 + \varepsilon_p)^{D_4} \left[1 + D_5 \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right) \right] \quad (3)$$

Table 1. Material properties and constants for AA5083-H116 [7], [29]

Elastic modulus (MPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)	Yield stress (MPa)	A (MPa)	B (MPa)	n	C	m	T _{melt} (K)	T _{room} (K)
70000	0.3	2700	230	124	456	0.252	0.008	0.859	893	293

In Eq. 1, $\dot{\epsilon}_p$ is the plastic strain rate, T_{melt} and T_{room} are the melting and room temperatures respectively. In Eq. 3, P is the hydrostatic stress and σ_{eff} is the von Mises stress respectively. A, B, n, C and m are the material constants and D with sub-indices indicates the damage constants. D_1, D_2 and D_3 are associated with the impact stress triaxiality ratio (P/σ_{eff}). D_4 and D_5 are related to the strain rate and temperature respectively. There are five material parameters required to find the equivalent stress for the modified Johnson Cook model. The first three parameters; A, B, n describe the elasto-plastic deformation of the material, the fourth and fifth parameters; C and m define the strain rate and temperature influences.

The material parameters of AA5083-H116 were obtained from the previous studies by Børvik et al. [7], [29]. It was stated that material strength properties may exhibit minor deviations with respect to the plate thickness due to the manufacturing stage of the materials. Therefore, the values were selected for 20 mm thick plates which is used in this study. Table 1 gives the material properties and constants for the target plates.

2.2. Numerical Modeling and Validation

Numerical simulations were carried out using Ls-Dyna software. The target was modeled as a square plate with 600 mm length and 20 mm thickness as in the reference study. The hardened steel projectile with the mass of 0.197 kg was considered as a rigid body. Figure 1 shows the dimensions of the projectile used in this study. In the numerical modeling, axisymmetric conditions were applied to reduce time expense in the solution. 8-node brick elements with reduced integration were used to mesh the components. The target was fully clamped at the edge boundaries. Mesh density was increased in the impact zone using finer size elements and the size of the elements was gradually increased apart from the deformation point. At the center of the plate, mesh size was used as 0.1 mm and the largest mesh size of 0.5 mm was used at the corners as shown in Figure 2. The constitutive behavior was modeled using the modified Johnson Cook relation given in Eq. 1. Element erosion was enabled to prevent excessively distorted elements which could cause error termination by reducing the time step. Contact between the parts was established using a surface to surface algorithm and no gap condition was considered between the plates in double layer target. A friction coefficient of 0.5 was considered between the projectile and targets as suggested in an early work [25].

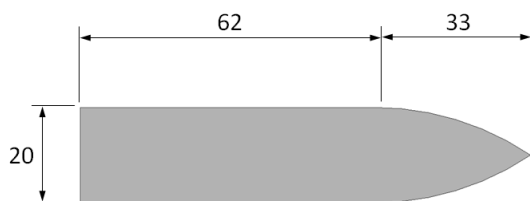


Figure 1. Dimensions of the ogive nose projectile

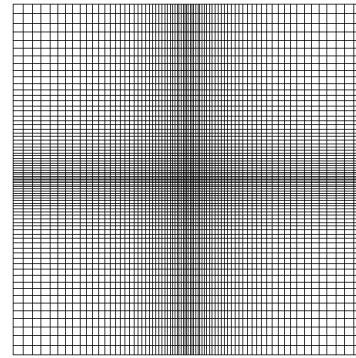


Figure 2. Non-uniform plate mesh

$$CI = 1 - \left[\frac{\sum e_i^2}{\sum Vr_{exp}^2} \right]^{1/2} \tag{4}$$

In the experimental validation of the numerical model, residual velocity of the projectile was compared with the experimental results of Børvik et al. [27]. The reference study used five different impact velocities in the range of 242.1–360.3 m/s. Figure 3 shows the comparison of the residual velocities in the experiments and simulations. Based on the experimental results, the ballistic limit velocity was obtained as 244 m/s. Figure 4 shows the target in experiment and simulation after the projectile impact with the velocity of 242.1 m/s. The deformed targets showed that the size of the holes are approximately identical with the diameter of the projectile which means the material exhibits ductile, hole-growth deformation as given in [27]. In order to assess the correlation degree of simulation based residual velocities with experimental residual velocities, a ‘‘Correlation Index’’ (CI) is defined in Eq. 4 as suggested by Raguraman et al. [32] where e_i represents the difference between the computed and experimental residual velocities while Vr_{exp} represents the residual velocity in experiments. It is obvious that CI approaches unity for perfect match conditions. In this study, CI is calculated as 0.913 which means the residual velocities in the simulations exhibit good agreement with the experiments and thus, the numerical model could be accepted to investigate the targets under ballistic impact.

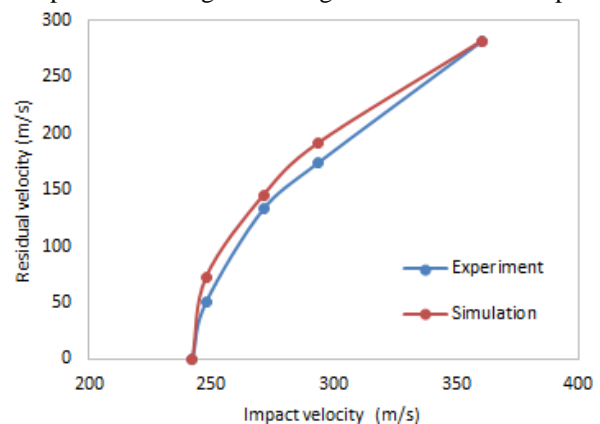


Figure 3. Residual velocities in experiments and simulations

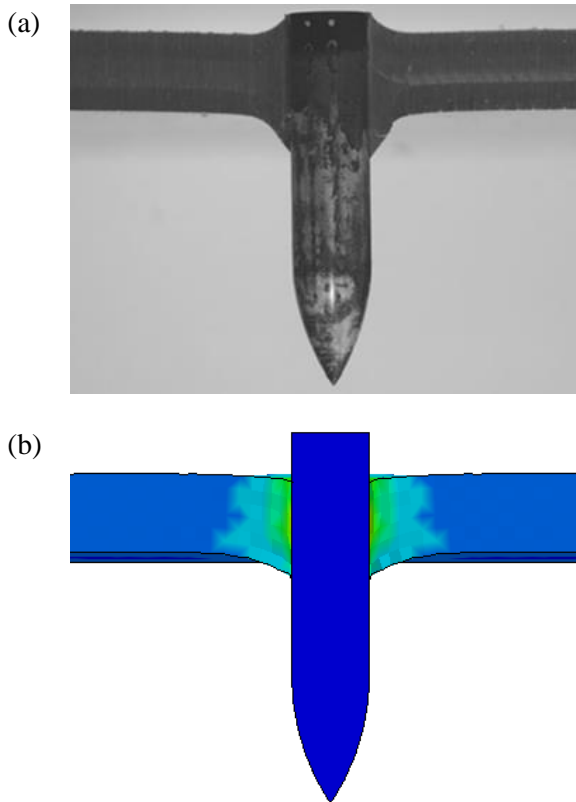


Figure 4. Target perforation after the projectile impact with the velocity of 242.1 m/s in the (a) experiment and (b) simulation

3. DESIGN OF THE OBLIQUE IMPACTS

In the present study, three variable parameters (target configuration, oblique angle and impact velocity) were applied with various levels. Target configuration was designed with monolithic and double-layer plates. Monolithic targets were used with 20 and 40 mm plates while double-layer target was assembled with two 20 mm thick plates. Oblique angle of the impacts was illustrated in Figure 5 and decided as 30°, 45° and 60°. The projectile impacted the targets with four different velocities such as 240, 360, 480 and 600 m/s. According to the full factorial design, simulations were set as given in Table 2.

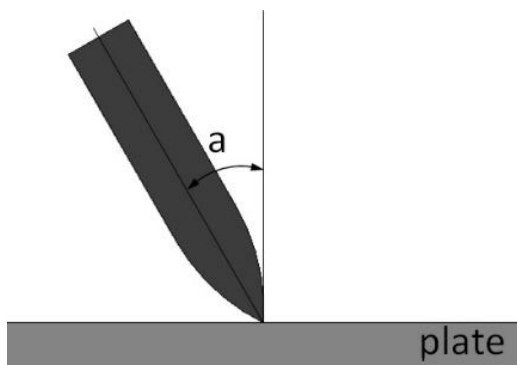


Figure 5. Oblique angle of the impact

Table 2. Design of the simulations

Level	Target configuration	Oblique angle	Impact velocity (m/s)
1	Monolithic-20	0°	240
2	Monolithic-40	30°	360
3	Double	45°	480
4	-	60°	600

4. RESULTS AND DISCUSSION

In the oblique impacts with the projectile velocity of 240 m/s, each target stops the projectile in different manners. The projectile ricochets off the target surface when the oblique angle is 60° whereas the projectile with the oblique angles of 30° and 45° embeds into the targets. Figure 6 and Figure 7 shows the embedded projectiles into the targets after 240 m/s velocity impacts with the oblique angle of 30° and 45° respectively. In fact, assessment of the deformation in the target is dependent on the different standards which were adopted by various institutes. According to the US Army, perforation is achieved even if the projectile is embedded in the target but light can pass through it. However, the US Navy defines perforation when the projectile fully emerges from the target [33]. Based on these various definitions, the deformation shown in Figure 6a is called a perforation according to the US Army criterion whereas a partial penetration according to the US Navy criterion where the projectile is stopped in the target. In this study, the US Navy criterion is considered in the evaluation of the deformations after the impacts. In this light, the targets introduces perforation as the impact velocity increases. However, for the oblique angle of 60°, each target avoids of perforation under the impact velocity of 360 m/s and the targets except for 20 mm thick monolithic plate stop the projectile under the impact velocity of 480 m/s. As depicted in Figure 8, as the oblique angle increases, the projectile path along the target increases and therefore, target could stop the projectile even if the impact velocity increases. It is possible to mention that targets hinder the perforation as the oblique angle increases and the failure mode in the target turns from projectile embedment to ricochet [34]. Furthermore, impact velocity dominates the failure in the target and therefore, the projectile could perforate each target even if the oblique angle is 60° when the impact velocity reaches 600 m/s.

Based on the results, ogive nose projectile penetrates the target mainly by ductile, hole-growth deformation pushing the material in front of the projectile aside as stated by Børvik et al. [9], [27] for normal impact conditions. Beside the material properties, projectile nose geometry is significant on the deformation type in the impacted targets. Generally, curved or sharp nose projectiles such as hemispherical, conical and ogive types cause hole-growth failure mode in thick targets due to the plunging of small sized nose tip with gradually enlarged diameter along the projectile length. However, ricochet

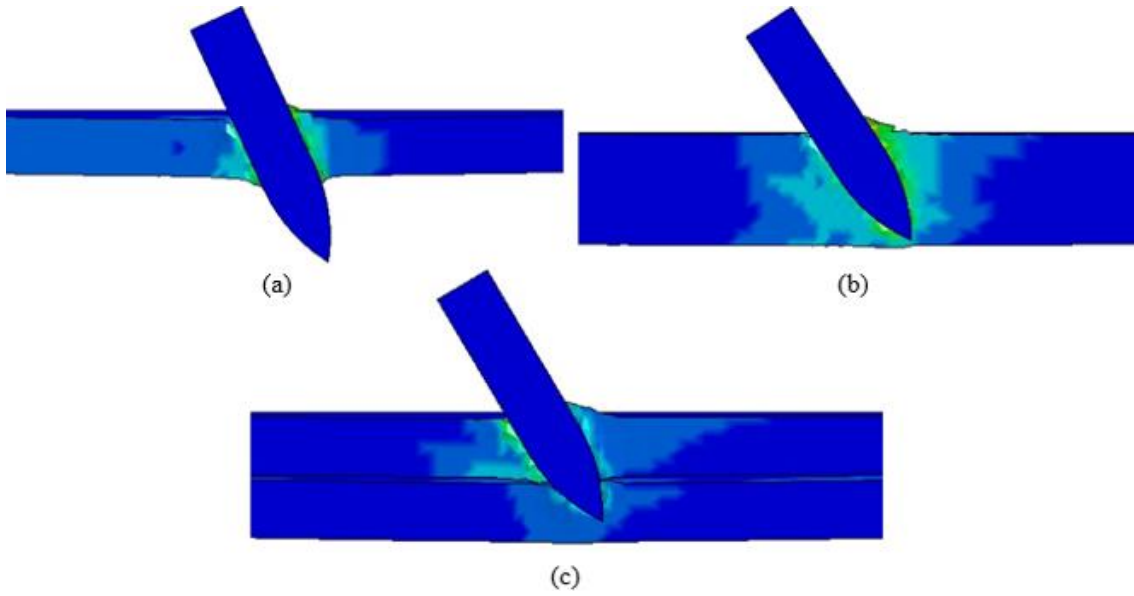


Figure 6. Embedded projectiles into (a) monolithic-20, (b) monolithic-40 and (c) double-layer target after 240 m/s velocity impacts with the oblique angle of 30°

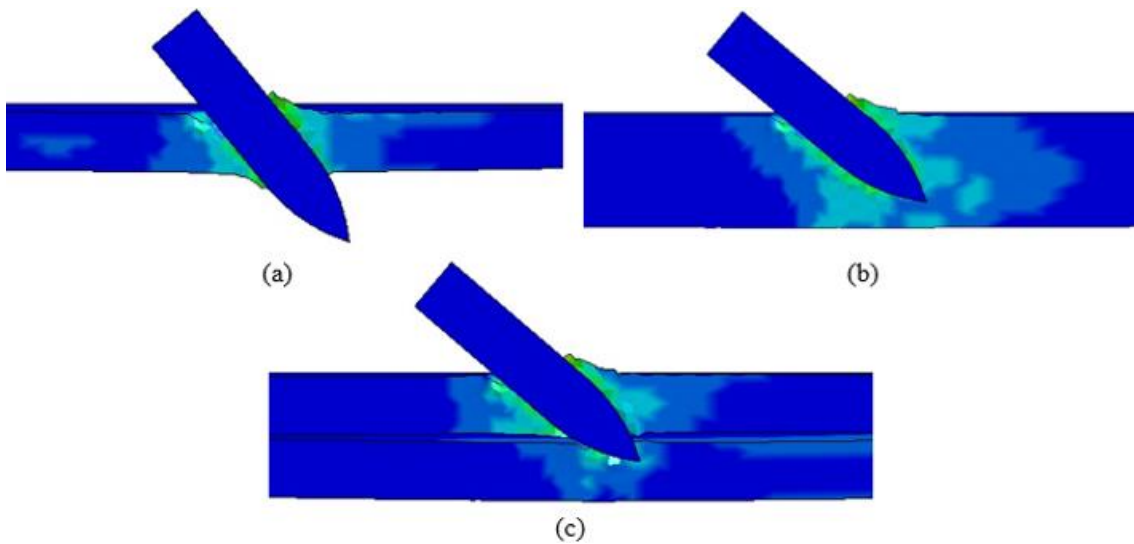


Figure 7. Embedded projectiles into (a) monolithic-20, (b) monolithic-40 and (c) double-layer target after 240 m/s velocity impacts with the oblique angle of 45°

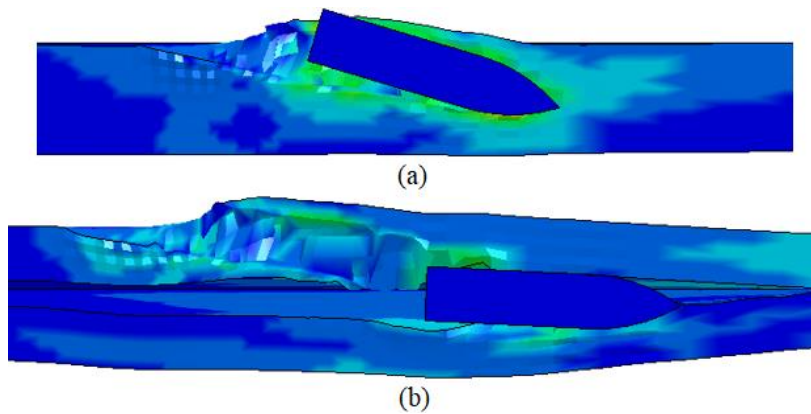


Figure 8. (a) 40 mm thick monolithic and (b) double layer targets after the impact velocity of 480 m/s with the oblique angle of 60°

of oblique angle since plunging of the projectile into the target becomes difficult due to high incidence angle. In thin targets, these projectiles are responsible for petalling causing radial cracking due to high circumferential strains and subsequent rotation of the deformed target material resulting in a number of petals. The targets even the 20 mm thick monolithic one do not exhibit petalling after the impacts and therefore, 20 mm thickness of AA5083-H116 plates could be evaluated as thick enough under the impacts by the used hardened steel ogive nose projectile.

Figure 9 shows the residual velocity versus impact velocity of the projectile for each target. It is obvious that residual velocity of the projectile increases by increasing the impact velocity due to the increased energy of the projectile. Considering the target configuration, 40 mm thick monolithic and double layer targets exhibit approximately identical responses in terms of residual velocity of the projectile. However, 20 mm thick monolithic target shows weaker protection performance and thereby allowing the projectile to emerge from the target with higher residual velocity. As expected, residual velocity decreases with the increase of areal density due to the increased energy absorption capacity in thicker targets. Same thickness targets such as 40 mm thick monolithic and double layer targets have identical areal densities and exhibit close protection performance. Almohandes et al. [35] stated that difference between the protection capacity of monolithic and multilayer targets with same thicknesses is very small especially under high

velocity impacts. Furthermore, Flores-Johnson et al. [36] found that the difference in protective performance between monolithic and double layer aluminum plates is not significant for thicknesses less than 30 mm. However, reduction of penetration resistance in multilayer targets becomes notable when the number of plates is increased while keeping the total thickness constant. This weakening in multilayer configuration is due to the fact that bending stiffness reduces in the target.

Figure 10 shows the residual velocity versus oblique angle of the impacts for each impact velocity. It is obvious that residual velocity changes inversely with the oblique angle of impact. It is also noteworthy that residual velocity drastically decreases as the oblique angle changes from 45° to 60°. However, the difference between the oblique angle of 30° and 45° is not substantial. Based on the graphs, critical oblique angle at which the deformation changes from perforation to embedment or ricochet can be determined for each target. For example, the critical oblique angle is close to 60° for 40 mm thick monolithic and double layer targets under the impact velocity of 480 m/s while it can be predicted larger than 60° for 20 mm thick monolithic target.

Figure 11 shows the energy absorption capacity of the targets for each impact condition. Energy absorption capacity was calculated by the difference between the impact energy and the residual energy of the projectile. These terms were found from the kinetic energy formula using the impact and residual velocities. According to the results, target thickness plays an important role on the

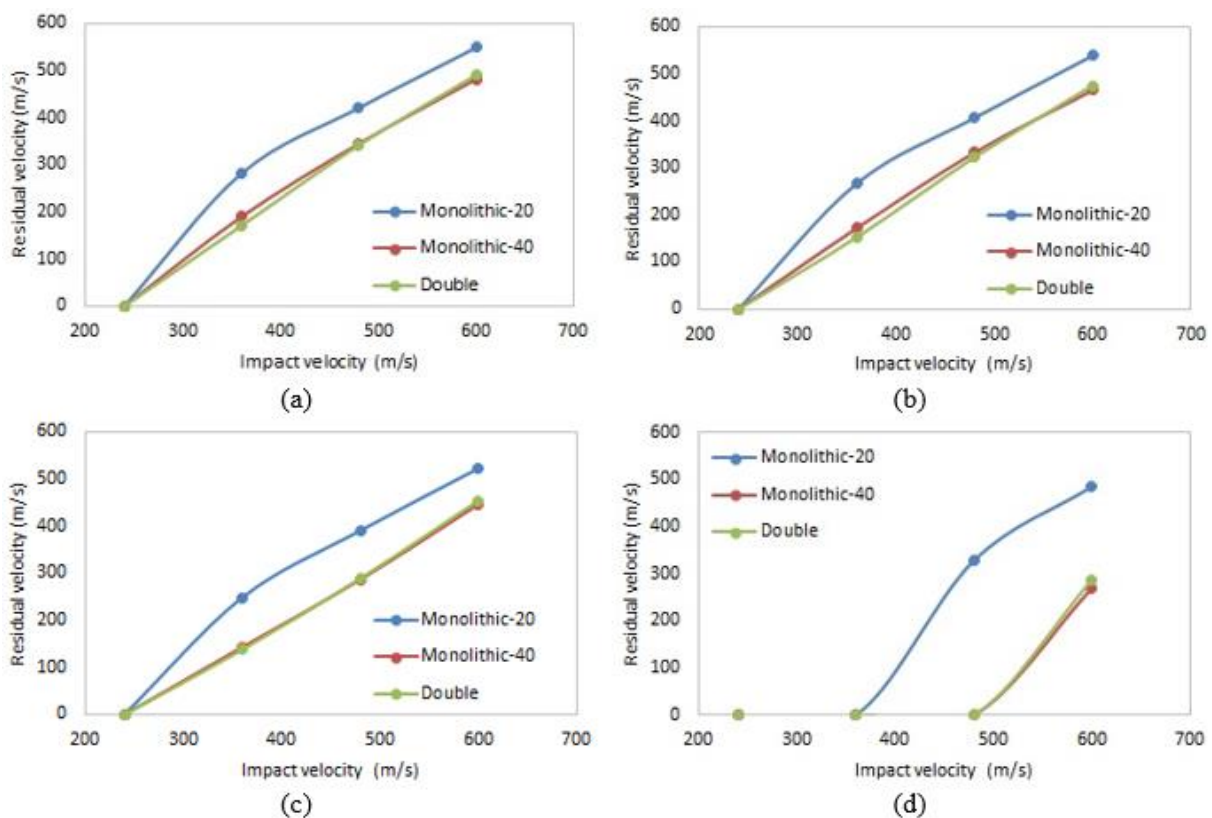


Figure 9. Residual velocity vs impact velocity for the oblique angle of (a) 0°, (b) 30°, (c) 45° and (d) 60°

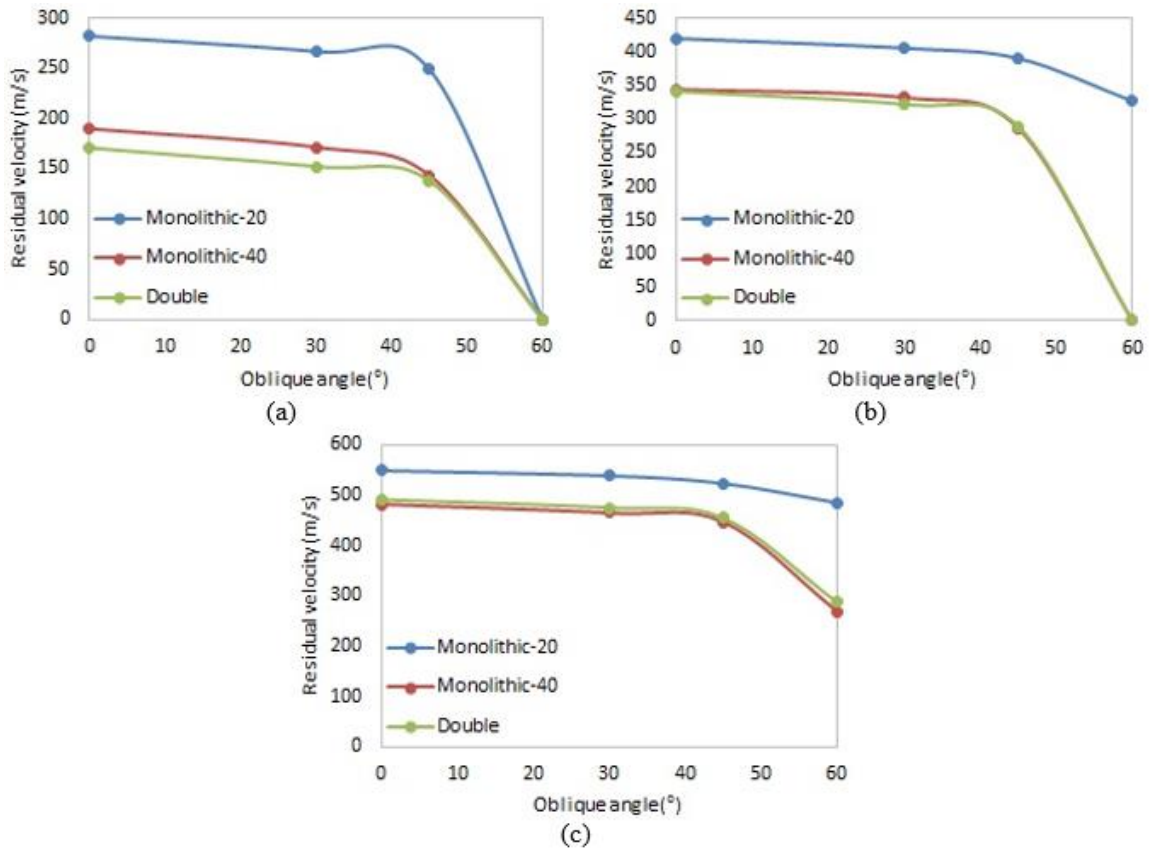


Figure 10. Residual velocity vs oblique angle for the impact velocity of (a) 360 m/s, (b) 480 m/s and (c) 600 m/s

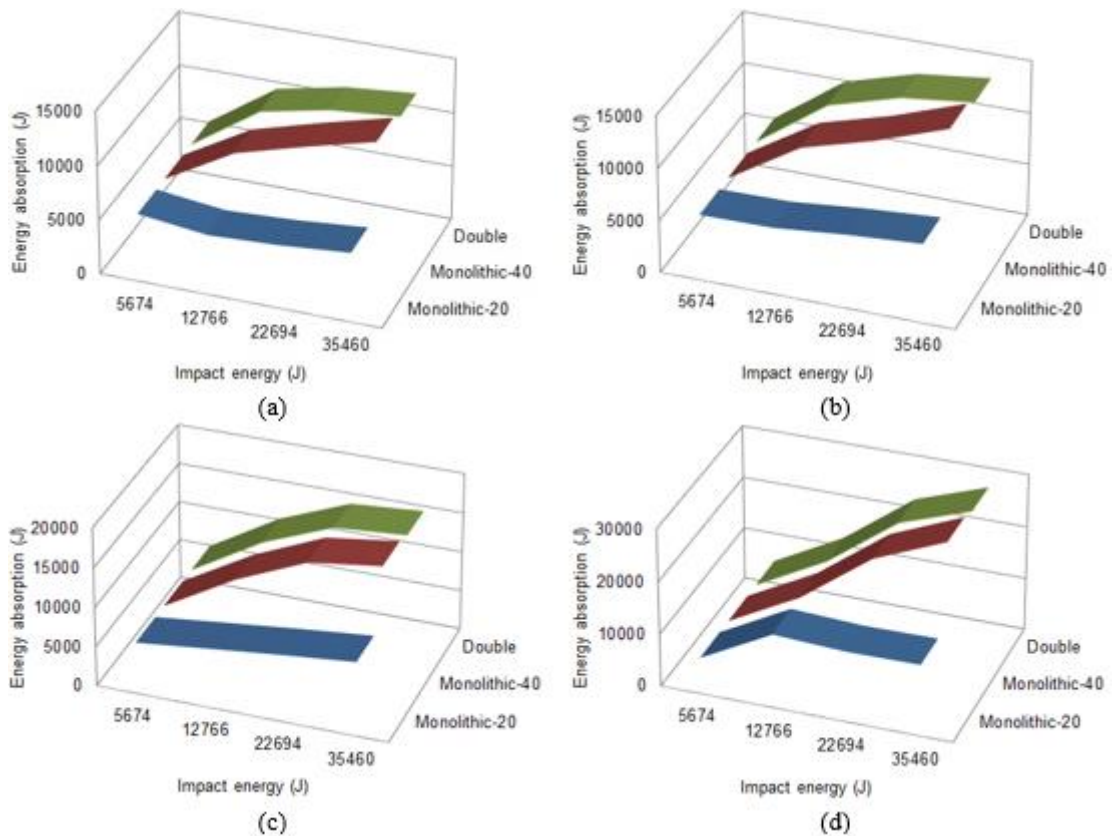


Figure 11. Energy absorption capacity of the targets for the oblique angle of (a) 30°, (b) 45° and (c) 60°

[37]. The plastic work done by the target increases with the thickness of target due to the increased areal density. Despite remaining identical areal densities, target configuration could change the protective performance of the targets. Considering the 40 mm thick monolithic and double layer targets, there is no significant difference in the energy absorption capacities. Hardly distinguishable from the high energy impacts, the monolithic target exhibits higher energy absorption capacity in comparison to the double layer target. This difference is pronounced as the impact energy increases and therefore, monolithic plates rather than a multilayer configuration are suggested for the protective applications. Regarding this point, deflection of the plates negatively influences the energy absorption capacity of the target as stated early investigations [35], [36]. Multilayer targets are assembled with a number of relatively thin plates and each plate exhibits lower bending resistance in comparison to a monolithic plate having the same thickness with the multilayer target. For this reason, multilayer targets have more deflection under impact which causes reduction in the energy absorption capacity.

5. CONCLUSIONS

In the present study, oblique impacts on AA5083-H116 plates were numerically investigated. The verification of the numerical model was performed using the experimental results of an early study [27]. The effects of three variable parameters such as impact velocity, impact angle and target configuration were investigated on the ballistic resistance of targets. Based on the results, the oblique angle of impact acts an important role on the deformation mode of targets. The penetration of projectile dominates targets under low oblique angle impacts and the deformation changes from embedment to ricochet as oblique angle increases. Beside the oblique angle, the ballistic resistance of target is heavily dependent on impact velocity. As it is expected, targets are easily perforated as impact velocity increases even if oblique angle becomes larger. Target configuration is another factor on the protective performance which is increased using thicker plates. Although the ballistic response of monolithic and double layer targets for the same thickness is very close each other, monolithic targets are suggested especially against high velocity impacts.

REFERENCES

- [1] Laible R. C., "Ballistic materials and penetration mechanics", *Elsevier*, New York, USA, (1980).
- [2] Elaldi F., Baykan B., and Akto C., "Experimental Analysis for the Effect of Impactor Geometry on Carbon Reinforced Composite Materials", *Polymers & Polymer Composites*, 25(9): 677–682, (2017).
- [3] Iqbal M. A., Senthil K., Madhu V., and Gupta N. K., "Oblique impact on single, layered and spaced mild steel targets by 7.62 AP projectiles", *Int. J. Impact Eng.*, 110: 26–38, (2017).
- [4] Singh H., Hazarika B. C., and Dey S., "Low Velocity Impact Responses of Functionally Graded Plates", *Procedia Eng.*, 173: 264–270, (2017).
- [5] Nishida A., Ohta Y., Tsubota H., and Li Y., "A Study for Evaluating Local Damage to Reinforced Concrete Panels Subjected to Oblique Impact of Deformable Projectile", *ASME Pressure Vessels and Piping Conference*, Hawaii, USA, 1–10, (2017).
- [6] Forrestal M. J. and Warren T. L., "Perforation equations for conical and ogival nose rigid projectiles into aluminum target plates", *Int. J. Impact Eng.*, 36(2): 220–225, (2009).
- [7] Børvik T., Forrestal M. J., Hopperstad O. S., Warren T. L. and Langseth M., "Perforation of AA5083-H116 aluminum plates with conical-nose steel projectiles – Calculations", *Int. J. Impact Eng.*, 36(3): 426–437, (2009).
- [8] Gooch W., Burkins M. S. and Squillacioti R. J., "Ballistic testing of commercial aluminum alloys and alternative processing techniques to increase the availability of aluminum armor", *23rd International Symposium on Ballistics*, Tarragona, Spain, 981–988, (2007).
- [9] Børvik T., Langseth M., Hopperstad O. S., and Malo K., "Perforation of 12mm thick steel plates by 20mm diameter projectiles with flat, hemispherical and conical noses", *Int. J. Impact Eng.*, 27(1): 19–35, (2002).
- [10] Gupta N. K., Iqbal M. A., and Sekhon G. S., "Effect of projectile nose shape, impact velocity and target thickness on deformation behavior of aluminum plates", *Int. J. Solids Struct.*, 44(10): 3411–3439, (2007).
- [11] Iqbal M. A., Gupta G., Diwakar A., and Gupta N. K., "Effect of projectile nose shape on the ballistic resistance of ductile targets", *Eur. J. Mech. – A Solids*, 29(4): 683–694, (2010).
- [12] Yoshizawa H., Ohte S., Kashima Y., Chiba N., and Shida S., "Impact Strength of Steel Plates Struck by Projectiles: Effect of Mechanical Properties on Critical Fracture Energy", *Bull. JSME*, 27(226): 639–644, (1984).
- [13] Jones N. and Paik J. K., "Impact perforation of aluminium alloy plates", *Int. J. Impact Eng.*, 48: 46–53, (2012).
- [14] Piekutowski A. J., Forrestal M. J., Poormon K. L., and Warren T. L., "Perforation of aluminum plates with ogive-nose steel rods at normal and oblique impacts", *Int. J. Impact Eng.*, 18(7–8): 877–887, (1996).
- [15] Forrestal M. J., Luk V. K., and Brar N. S., "Perforation of aluminum armor plates with conical-nose projectiles", *Mech. Mater.*, 10(1–2): 97–105, (1990).
- [16] Rosenberg Z. and Forrestal M. J., "Perforation of Aluminum Plates with Conical-Nosed Rods—Additional Data and Discussion", *J. Appl. Mech.*, 55(1): 236–244, (1988).
- [17] Paik J. K. and Won S. H., "On deformation and perforation of ship structures under ballistic impacts", *Ships Offshore Struct.*, 2(3): 217–226, (2007).
- [18] Dey S., Børvik T., Teng X., Wierzbicki T., and Hopperstad O. S., "On the ballistic resistance of double-layered steel plates: An experimental and numerical investigation", *Int. J. Solids Struct.*, 44(20): 6701–6723, (2007).
- [19] Liu Z. S., Swaddiwudhipong S., and Islam M. J., "Perforation of steel and aluminum targets using a

- modified Johnson–Cook material model”, *Nucl. Eng. Des.*, 250: 108–115, (2012).
- [20] Backman M. E. and Goldsmith W., “The mechanics of penetration of projectiles into targets”, *Int. J. Eng. Sci.*, 16(1): 1–99, (1978).
- [21] Johnson W., Sengupta A. K., and Ghosh S. K., “High velocity oblique impact and ricochet mainly of long rod projectiles: An overview”, *Int. J. Mech. Sci.*, 24(7): 425–436, (1982).
- [22] Corbett G. G., Reid S. R., and Johnson W., “Impact loading of plates and shells by free-flying projectiles: A review”, *Int. J. Impact Eng.*, 18(2): 141–230, (1996).
- [23] Goldsmith W., “Non-ideal projectile impact on targets”, *Int. J. Impact Eng.*, 22(2–3): 95–395, (1999).
- [24] Iqbal M. A., Gupta G., and Gupta N. K., “3D numerical simulations of ductile targets subjected to oblique impact by sharp nosed projectiles”, *Int. J. Solids Struct.*, 47(2): 224–237, (2010).
- [25] Iqbal M. A., Chakrabarti A., Beniwal S., and Gupta N. K., “3D numerical simulations of sharp nosed projectile impact on ductile targets”, *Int. J. Impact Eng.*, 37(2): 185–195, (2010).
- [26] Zhou D. W. and Stronge W. J., “Ballistic limit for oblique impact of thin sandwich panels and spaced plates”, *Int. J. Impact Eng.*, 35(11): 1339–1354, (2008).
- [27] Børvik T., Forrestal M. J., and Warren T. L., “Perforation of 5083-H116 Aluminum Armor Plates with Ogive-Nose Rods and 7.62 mm APM2 Bullets”, *Exp. Mech.*, 50(7): 969–978, (2010).
- [28] US Army Research Laboratory, “Armor plate, aluminum alloy, weldability 5083, 5456, and 5059”, *Military Specifications*, MIL-DTL-46027 K (2007).
- [29] Clausen A. H., Børvik T., Hopperstad O. S., and Benallal A., “Flow and fracture characteristics of aluminium alloy AA5083–H116 as function of strain rate, temperature and triaxiality”, *Mater. Sci. Eng. A*, 364(1–2): 260–272, (2004).
- [30] Børvik T., Hopperstad O. S., Berstad T., and Langseth M., “Numerical simulation of plugging failure in ballistic penetration”, *Int. J. Solids Struct.*, 38(34–35): 6241–6264, (2001).
- [31] Børvik T., Hopperstad O. S., Berstad T., and Langseth M., “A computational model of viscoplasticity and ductile damage for impact and penetration”, *Eur. J. Mech. – A Solids*, 20(5): 685–712, (2001).
- [32] Raguraman M., Deb A., and Gupta N. K., “CAE-based prediction of projectile residual velocity for impact on single and multi-layered metallic armour plates”, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 6: 247–263, (2009).
- [33] Rosenberg Z. and Dekel E., “Terminal Ballistics”, *Springer*, Berlin, Germany, (2014).
- [34] Zukas J. A., “Impact dynamics”, *Wiley*, New York, USA, (1982).
- [35] Almohandes A. A., Abdel-Kader M. S., and Eleiche A. M., “Experimental investigation of the ballistic resistance of steel-fiberglass reinforced polyester laminated plates”, *Compos. Part B Eng.*, 27(5): 447–458, (1996).
- [36] Flores-Johnson E. A., Saleh M., and Edwards L., “Ballistic performance of multi-layered metallic plates impacted by a 7.62-mm APM2 projectile”, *Int. J. Impact Eng.*, 38(12): 1022–1032, (2011).
- [37] Corran R. S. J., Shadbolt P. J., and Ruiz C., “Impact loading of plates – An experimental investigation”, *Int. J. Impact Eng.*, 1(1): 3–22, (1983).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Mermer blokların AHP destekli TOPSIS ve GİA yöntemleri ile sınıflandırılması

Classification of marble blocks using AHP assisted TOPSIS and GRA methods

Yazar(lar) (Author(s)): Metin ERSOY

ORCID: 0000-0001-7997-6847

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ersoy M., “Mermer blokların AHP destekli TOPSIS ve GİA yöntemleri ile sınıflandırılması”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 303-317, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.428979

Mermer Blokların AHP Destekli TOPSIS ve GİA Yöntemleri ile Sınıflandırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Metin ERSOY*

Afyon Meslek Yüksekokulu, Motorlu Arç. ve Ulaş. Böl. Raylı Sist. Yol Tekn. Prg., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 19.12.2017 ; Kabul/Accepted : 20.05.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, plaka ve levha olarak kesilen mermer blokların, çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve GİA yöntemleri kullanılarak sınıflandırılması yapılmıştır. Bu amaçla ilk aşamada, aynı kökene sahip ancak farklı yapısal özellik, şekil ve boyutta 20 adet blok incelenmiştir. İkinci aşamada mermer bloklar, dairesel testere ile plakalara ayrılmış ve kesim süreci boyunca üretimle ilgili veriler not edilmiştir. Elde edilen veriler, mermer blokların sınıflandırılmasında; blok büyüklüğü, süreksizlik sıklığı, düzgünlük, üretim oranı, paledyen oranı ve pasa oranı olmak üzere toplam 6 kriter olduğunu göstermiştir. Belirlenen kriterlerin önem dereceleri, AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Son olarak blokların iyiden kötüye doğru sıralamaları, TOPSIS ve GİA yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar, TOPSIS ve GİA sonuçları blok büyüklüğü arasında artan doğrusal ilişkiyi gösterirken, süreksizlik sıklığı arasında ise azalan yönde doğrusal ilişkiyi göstermiştir. Öte yandan, bazı bloklar için önem sırasının uygulanan yöntemlere göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, sınıflandırma problemlerinin çözümünde sadece ÇKKV yöntemleri yerine problemin farklı yöntemlerle de çözülerek sonuçların değerlendirilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Mermer, çok kriterli karar verme, AHP, TOPSIS, GİA.

Classification of Marble Blocks Using AHP Assisted TOPSIS and GRA Methods

ABSTRACT

In this paper, marble blocks which are cut as slabs or stripes were classified by multi criteria decision methods, TOPSIS and GRA. For this purpose, at the first stage 20 marble blocks from same basin examined their structural features i.e. cracks, fissures, gaps, sizes etc. At the second stage they were cut by circular saw blade machine as stripes. The cutting operations data showed that there are 6 parameters to classify the blocks such as block sizes, discontinuities, block shapes, production, paledyen and waste ratios. Weighting of the criteria were described by AHP. Finally, the blocks ranking was determined by TOPSIS and GIA methods.

Results, when TOPSIS and GRA results showed increasing linear relationship with the block sizes decreasing linear relationship with the discontinuity frequencies. On the other hand, it has been determined that order of importance for some blocks differs according to the methods. For this reason, it was recommended that solving and evaluating the classification problems by different methods instead of using only MCDM methods.

Keywords: Marble, multi criteria decision, AHP, TOPSIS, GRA.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğaltaşlar, süs eşyalarından inşaatlarda döşeme, kaplama ve mutfak tezgahlarına kadar geniş yelpazede kullanım alanı bulan doğal malzemelerdir. Oluşumlarına göre kayalar; magmatik, sedimanter ve metamorfik olmak üzere üç ana grupta değerlendirilir. Ticari olarak, renk ve desen bakımından tercih edilebilir olan ve sahadan yeterli büyüklükte blok elde edilebilen her türlü kayaç, mermer tanımı içinde ele alınmaktadır. Doğaltaşlar, oluşum koşullarından (sıcaklık, basınç, kimyasal etkiler, tektonik hareketler vb.), türlerinin farklılığından dolayı renk, desen, kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından farklıdır. Bu farklılıklar kullanım alanı bakımından da belirleyici unsurlardır.

Doğaltaşların üretimi, büyük kütlelerin kesilmesi gerekliliğinden dolayı tehlikeli ve zor bir süreçtir. Ocakta, formasyonun durumuna göre yaklaşık 10x8x3 m. boyutlarındaki kütleler ana kayadan kesilerek alınır. Bu işleme dağ kesme adı verilir ve delme-çatlatma, elmas tel kesme, kollu kesici ile kesme gibi yöntemler uygulanır. Dağ kesme sırasında kütle zaman zaman parçalanır. Bu parçalardan nispeten büyük ve belli bir geometrik şekle sahip olmayanlar moloz olarak adlandırılır. Daha büyük olan diğer parçalar, gerek taşınabilmesi için gerekse fabrikalardaki blok kesici makinalarda işlenebilir hale getirilebilmesi için boyutlandırılır. Bu boyuttaki parçalara blok adı verilir ve yaklaşık 2.5x2.0x1.5 m. boyutlarında dikdörtgen prizma şekillendirilir.

Kamyonlarla fabrikaya getirilen bloklar dairesel testere (ST), lamalı (katrak) veya telli (multitel) blok kesme

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : metinersoy@aku.edu.tr, metinersoy@yandex.com

makinalarında dilimlenerek levha ve plakalara ayrılır. Levhaların kalınlıkları 2-3 cm arasında değişirken; diğer boyutları blok uzunluğu ve genişliği kadardır. Plakalar ise; 2-4 cm kalınlığında, 30, 40 ve 60 cm eninde ve boyu blok uzunluğu kadar olacak şekilde dilimlenir. Sonra levha ve plakalar kullanılacağı yere göre ebatlama, yüzey işleme (parlatma, çekiçleme, ateşle yakma vs.), kenar işleme (pah, perdah vs.), seçme (kalite kontrol) ve ambalajlama gibi aşamalardan geçerek satışa sunulur.

Doğaltaş bloklarının sahadan kesilip piyasaya sunulmasına kadar olan aşamalarda, üretilen malzemenin büyük bir bölümü toz ve parça taş şeklinde kullanılmaz hale gelir ve atığa çıkar. Bir bloktan elde edilebilecek kullanılabilir ürün miktarı o bloğun verimi olarak tanımlanır. Üretim kayıplarının çoğu, ocak kayıpları dışında blok kesme aşamasında gerçekleşir. Örneğin sadece kesme yüzeyindeki kayıp, kesici eleman (elmas soket) kalınlığı ile kesilen yüzey alanının çarpımı kadardır. Bu değer 1 cm kalınlık için %50, 2 cm kalınlık için %30, 3 cm kalınlık için %25 den daha büyük değerlerdir. Bir başka kayıp, bloğun makinaya yerleştirilmeden önce düzgün geometrik bir şekle (dikdörtgen prizma) getirilmesi sırasında (sayalama) ortaya çıkar. Blok ne kadar şekilsiz ise (dikdörtgene benzemez ise) kayıplar da o kadar fazla olur. Blok kesici makinada da kesim sırasında da üç farklı aşamada kayıplarla karşılaşılır. Bunlardan birincisi bloğun üst yüzeyinin düzleştirilmesi (tarama) işlemidir. Tarama, istenen ölçülerin sağlanabilmesi için gereklidir. İkinci kayıp ön ve arka yüzeylerden kaynaklanır. Bloğun ilk ve son yüzeylerinin tesviyesi düzgün olmadığı için kullanılamaz. Üçüncü önemli kayıp, bloğun en alt kısmıdır. Blok, kesildikçe hafifler ve blok kesme makinasının oluşturduğu gerilmelere karşı koyamaz hale gelir, oturduğu vagon üzerinde kayar. Bunun sonucunda iş kazaları meydana gelebileceğinden dolayı, en alt kısımda 10-15'cm lik bölüm kesilmeden bırakılır (kapak). Blok kesiciden alınan levha ve plakaların kenarları düz olmaz. Ebatlama ve yüzey işleme aşamasına geçilmeden önce bu kenar kısımlar, baş kesme, yan kesme ve köprülü kesme adı verilen makinelerle düzeltilir. Bunun sonucunda, kırık parçalar ve paledyen adı verilen, sınırlı kullanım imkânı olan, genellikle üçgen şekilli parçalar oluşur. Kısaca, kayıp oranının bu kadar fazla olduğu bir üretim sürecinde; kapasiteyi artırarak üretim miktarının artırılması yerine kayıpların azaltılarak verimin artırılması daha yararlı olacaktır.

Bir bloktan üretilen levha ve plaka miktarının tahmin edilebilmesi için öncelikle, blok büyüklüğü, bloğun geometrik şekli (düzgünlük) ve blok üzerindeki süreksizlikler (kırık, çatlak, tabaka düzlemi vb.) gibi parametrelerin bilinmesi gerekir. Bu parametreler tür, homojenlik, renk ve desenle ilgili unsurlarla birlikte bloğun satış fiyatını belirleyen faktörlerdir. Başka bir ifadeyle; büyük, çatlaksız ve düzgün bloklar, diğer özellikleri sabit olmak koşuluyla, daha değerlidir.

Fabrikada işlenecek blokların satın alınması ya da üretim programının hazırlanmasında, aday blokların sınıflandırılması gerekir. Sınıflandırma, elde edilecek levha ve plakaların miktarını da etkileyeceği için çok önemlidir. Bu

yüzden bloğun sınıflandırılmasında bilimsel yöntemlerin kullanılması gerekir. Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV), sayısal veya sözel ifadelerin kullanılabilirdiği, en az üç kriterle göre değişken alternatifler arasından karar verici için en uygun olanın belirlenmesinde başarı ile uygulanan, matematiksel yöntemlerdir. 1960'lı yıllardan günümüze kadar çok çeşitli ÇKKV yöntemi; istatistiksel analizler, performans analizleri, iş sağlığı ve güvenliği analizleri, proje yönetimi, optimizasyon problemlerinin çözümü gibi önemli konularda karar vermede kullanılmaktadır [1]. ÇKKV yöntemlerinden en yaygın olanları;

- AHP (Analytic Hierarchy Process),
- TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution),
- GIA (Grey relation analysis)
- ANP (Analitik Network Process),
- SAW (Simple Additive Weighting)
- ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant La Realite),
- DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Method),
- VIKOR (Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ve
- MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis), MULTI MOORA

şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, bunların ve listede yer almayan diğer yöntemlerin bulanık mantık (Fuzzy sets) kuralları çerçevesinde düzenlenmiş çeşitleri de kullanılmaktadır.

Literatürde farklı alanlardaki araştırmalarda farklı yöntemler kullanılmıştır. Örneğin; Yiğit ve Gök'ün [2] GIA ve TOPSIS; Tripathy'nin [3] Taguchi, TOPSIS ve GIA; Arıbaş ve Özcan'ın [4] AHP ve TOPSIS; Karaatlı vd. nin [1] SAW, TOPSIS ve GIA; Güneysu vd. nin [5] AHS ve GIA; Bektaş ve Tuna'nın [6] GIA; Muralidhar vd. nin [7] GIA ve TOPSIS; Kou vd. nin [8] TOPSIS, ELECTRE III, GIA, VIKOR, ve PROMETHEE II; Şahin ve Akyer'in [9] AHS ve TOPSIS ve Dai vd. nin [10] GIA ve TOPSIS yöntemlerini kullandıkları görülmektedir.

Doğaltaşlar konusunda farklı çalışmalarda ise; Ersoy ve Yeşilkaya'nın [11] AHP; Eleren ve Ersoy'un [12] Bulanık TOPSIS; Gökçe ve Sonugür'ün [13] ve Caner ve Akarslan'ın [14] ANFIS ve YSA; Güvenç vd. in [15] ve Ekinçioğlu vd. nin [16] YSA; Aras ve Gencer'in [17] ve Oruç vd. nin [18] VZA (Veri Zarflama Analizi); Akkoyun ve Toprak'ın [19] ve Yalçın vd. nin [20] Bulanık mantık yöntemlerini kullandıkları görülmektedir.

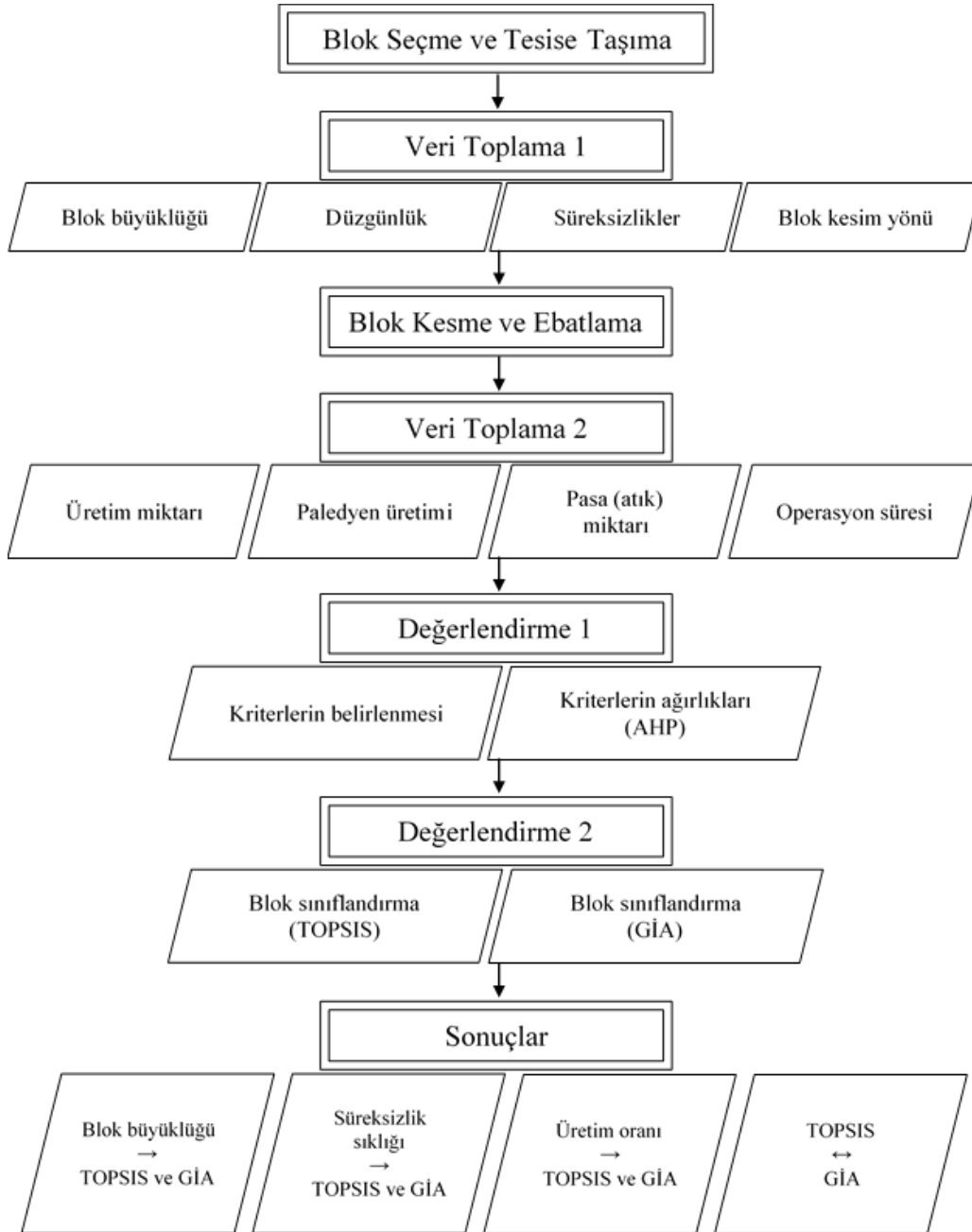
Çeşitli problemin çözümünde tek veya birden fazla ÇKKV yönteminin kullanıldığı çok sayıda yayın bulunmasına rağmen mermer bloklarının sınıflandırılmasına yönelik ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışma kapsamında mermer blokları AHP, TOPSIS ve GIA yöntemleri ile sınıflandırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma; mermer blokların seçimi, tesise getirilmesi ve kesme faaliyetleri sırasında elde edilen verilerin ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilerek blokların kalitelerine göre sıralanması olarak özetlenebilir. Çalışmanın aşamaları Şekil 1’de akım şeması halinde verilmiştir.

kriptokristalin kalsitten oluşmuş pellet, değişik tane boylarına sahip kriptokristalin kalsitten oluşmuş intraklast içermektedir. Kayaçtaki bütün çatlaklar mikromezokristalin kalsit dolguludur.

Örneklerin seçiminde, ağırlığı 10 ton altı ve üzeri olmak üzere iki ayrı büyüklük belirlenmiş ve küçük olanlar N.1-N.10 arasında kenarları düzgün ve büyük olanlar ise

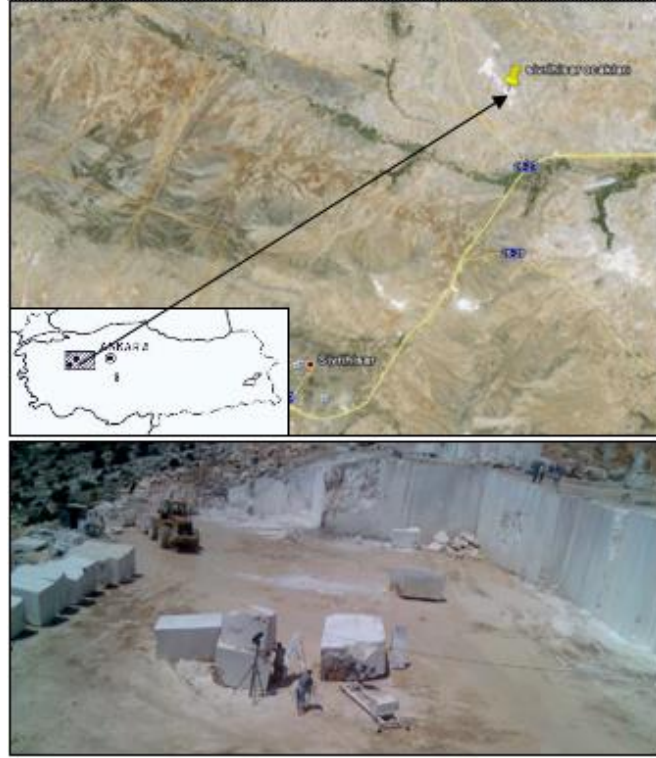


Şekil 1. Çalışmanın aşamaları (The steps of study)

2.1. Analitik Çalışmalar (Analytical Studies)

Çalışmada kullanılan örnekler, *Sivrihisar bej* ticari adıyla bilinen ve Eskişehir ili Babadat köyü kuzeybatı istikametindeki mermer ocaklarında üretilen kireçtaşı türü mermer bloklardır (Şekil 2). Seçilen örnekler, kriptokristalin kalsit kristalleri, mikrofossil kavkı izleri,

N.11-N.20 arasında numaralandırılmıştır. Kesim işleminde, dört kolonlu dairesel testerele bir blok kesici kullanılmıştır. Örneklere ait bazı özellikler Çizelge 1’de ve blok kesme makinası özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ocakların konumu ve görünümü (Location of the quarries and a view of the area)

Çizelge 1. Kesilen blokların bazı özellikleri (Some specifications of blocks)

Blokların bazı özellikleri*	
Sertlik (Mohs)	≈4,5
Birim hacim ağırlığı (kg/m ³)	2690
Özgül ağırlığı (kg/cm ³)	2700
Atmosfer basıncına su emme (%)	0,2 – 0,4
Kaynar suda su emme (%)	0,3 – 0,7
Porozite (%)	0,4
Basınç direnci (MPa)	114
Don sonrası basınç direnci (MPa)	98
Darbe direnci (kgf. cm/cm ³)	20
Eğilme direnci (MPa)	12,2
Elastisite modülü (kgf/cm ²)	78,52x10 ⁴
Doluluk oranı (%)	99,6
Gözeneklilik derecesi (%)	0,4
Aşınma direnci (cm ³ /50 cm ²)	15,8
Çekme direnci (MPa)	79,54
SiO ₂ -Fe ₂ O ₃ -CaO-MgO (%)	0,8-0,1-54,2-0,6

* Firma verileri

Çizelge 2. Kesme makinasının bazı özellikleri (Some specifications of block cutter machine)

Blok kesme makinasının bazı özellikleri*	
Dikey testere çapı (mm)	1000-1750
Yatay testere çapı (mm)	450-650
Dikey-Yatay testere motor güçleri (kw)	110-15
Dikey-Yatay testere devirleri (dev/dk)	1500-3000
Dikey testere soket kalınlığı (mm)	8
Kiriş Hareketi motor gücü (kw)	1,1
Kesici araba motor gücü (kw)	2,2
Köprü (aşağı-yukarı) motor gücü (kw)	2,2
Vagon motor gücü (kw)	1,5
Max. Blok ebatları (mm)	3500x2400x2200
Max. Su ihtiyacı (lt/dk.)	112
Toplam elektrik gücü (kw)	130
Makine ağırlığı (kg)	15000

* Firma verileri

Kesme tesisine getirilen 20 adet blok, gözlem ve incelemeler için kayıt altına alınmıştır. Seçilen blokların büyüklüğü, taşıyıcı kamyonların kantar ağırlıklarından hesaplanmıştır. Sonra tüm örnekler için kesme parametreleri (kesim yönü, derinliği, hızı, testere devri vs.) belirlenmiş ve kesim sonunda elde edilecek ebat ve şekilleri tasarlanarak, hammaddenin piyasaya uygunluğu belirlenmiştir. Daha sonra hazırlanan kesim planı doğrultusunda dilimlenerek 2x30x∞ cm ebatlı plakalar elde edilmiştir. Bu sırada, her bir örnek için harcanan zaman, elde edilen ürün ve ortaya çıkan pasa miktarı not edilmiştir.

Alınan veriler ışığında, üretim (satılabilir), paledyen (değersiz ikinci kalite ürün) ve pasa (atık) oranları değerleri tespit edilmiştir.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (Multi Criteria Decision Making Methods)

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP, blok veriminde etkin kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılırken blokların sınıflandırılmasında TOPSIS ve GİA yöntemleri kullanılmıştır.

AHP yöntemi; Thomas L. Saaty [21, 22, 23] tarafından önerilen bir ÇKKV yöntemi olup karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını dikkate alan bir ÇKKV yöntemidir. Uygulama kısaca;

- Hiyerarşik yapının oluşturulması,
- Önceliklerin belirlenmesi,
- İkili karşılaştırma matrisi ve çözümü,
- Öncelik vektörünün oluşturulması,

• Tutarlılık oranının hesaplanması ve
 • Karar noktalarındaki sonuç dağılımının bulunması

aşamalarından oluşur. AHP yönteminde kullanılan bağıntılar Çizelge 3’de verilmiştir

• Kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi ve karar matrisinin ağırlıklandırılması,
 • Pozitif ideal ve negatif ideal kümelerin oluşturulması,
 • Ayrım ölçütlerini hesaplanması,

Çizelge 3. AHP eşitlikleri (AHP equations)

No	Hesaplama	Eşitlik No
1	İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması $A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_n \\ \vdots & 1 & \vdots \\ 1/a_n & \dots & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \{n: \text{Faktör sayısı}; a_{ij} \in (1 - 9), 1: \text{Eşit önem}, 5: \text{Çok önemli}, 9: \text{Mutlak üstün}\}$	(1)
2	Öncelik vektörünün oluşturulması $c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \rightarrow C_i = \begin{bmatrix} c_{i1} \\ \vdots \\ c_{in} \end{bmatrix}$	(2)
3	Öncelik vektörlerinin birleştirilmesi ve ağırlıkların hesaplanması $C = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \rightarrow w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \rightarrow W = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$	(3)
4	Tutarlılığın hesaplanması $D = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_n \\ \vdots & 1 & \vdots \\ 1/a_n & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \rightarrow D = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}$	(4)
5	$E_i = \frac{d_i}{w_i} \rightarrow \lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \rightarrow CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \rightarrow \{E: \text{Temel değer}; \lambda: \text{Max temel değer}; CI: \text{Tutarlılık göstergesi}\}$	(5)
	$CR = \frac{CI}{RI} \rightarrow \{RI: \text{Random gösterge}; \text{Tutarlılık oranı } CR < \%10 \text{ olmalı}\}$	(6)
6	Karar noktalarındaki sonuç dağılımının bulunması $S = \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_m \end{bmatrix} \rightarrow K = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{m1} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \rightarrow \{S: \text{Alternatiflerin sütun vektörü}; K: \text{Karar matrisi}\}$	(7)
	$L = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{m1} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \rightarrow L = \begin{bmatrix} L_{11} \\ \vdots \\ L_{m1} \end{bmatrix} \rightarrow \{L: \text{Karar nok. \% dağ.}; \sum L_i = 1, L_{\max} = \text{En iyi alternatif}\}$	(8)

TOPSIS yöntemi; Hwang ve Yoon [24] referans alınarak geliştirilmiş, seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme olabildiğince yakın ve negatif ideal çözüme de uzak olması mantığını temel alan bir ÇKKV yöntemidir. Uygulama kısaca;

• İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması ve
 • Alternatiflerin sıralanması

aşamalarından oluşur. TOPSIS yönteminde kullanılan bağıntılar Çizelge 4’de verilmiştir.

- Karar matrisinin oluşturulması,

Çizelge 4. TOPSIS Eşitlikleri (TOPSIS Equations)

No	Hesaplama	Eşitlik No
1	Karar matrisinin oluşturulması $\begin{bmatrix} x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \{i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; n: \text{Kriter sayısı}; m: \text{Alternatif sayısı}\}$	(9)
2	Karar matrisinin normalize edilmesi $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{kj}^2}}$	(10)
3	Karar matrisinin ağırlıklandırılması $v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \{ \sum w_j = 1 \}$	(11)
4	Pozitif ideal ve negatif ideal kümelerin oluşturulması $A^+ = \{(\max v_{ij} j \in J); (\min v_{ij} j \in J')\} A^+ = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ $A^- = \{(\min v_{ij} j \in J); (\max v_{ij} j \in J')\} A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ $\{J: \text{Fayda}; J': \text{Kayıp}\}$	(12)
5	Ayrım ölçütlerini hesaplanması $s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \leftrightarrow s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$	(13)
6	İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması $c_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \{0 \leq c_i^* \leq 1; c_{\max}^* = \text{En iyi alternatif}\}$	(14)

GİA yöntemi; ilk defa 1982 yılında Julong Deng [25, 26, 27] tarafından ortaya atılmış olup gri teori, gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında, istatistiksel analizlerden proje yönetimine kadar birçok önemli konuda karar vermede kullanılmaktadır [28]. Uygulama kısaca;

- Karar matrisinin ve referans serinin oluşturulması,
- Verilerin normalize edilmesi,
- Mutlak değer tablosu oluşturulması (Uzaklık matrisi),
- Gri ilişkisel katsayıların hesaplanması,
- Gri ilişkisel derecelerin hesaplanması,
- Kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve gri ilişkisel derecelerin güncellenmesi

aşamalarından oluşur. GİA yönteminde kullanılan bağıntılar Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. GİA Eşitlikleri (GRA Equations)

No	Hesaplama	Eşitlik No
1	Karar matrisinin ve referans serinin oluşturulması $\begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \{i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; n: \text{Kriter sayısı}; m: \text{Alternatif sayısı}\}$ $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ {Referans seri; x_{\max} : maksimum daha iyi; x_{\min} : minimum daha iyi; x^* : optimum daha iyi}	(15)
2	Karar matrisinin normalize edilmesi (gri ilişkisel oluşum) $r_0 = (r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}) \{ \text{Normalize edilmiş referans seri}; r_0 = 1 \}$ $r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \{ \text{maksimum daha iyi durumu} \}$ $r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \{ \text{minimum daha iyi durumu} \}$ $r_{ij} = 1 - \frac{ x_{ij} - x_j^* }{\max x_{ij} - x_j^* - \min x_{ij}} \{ \text{optimum daha iyi durumu}; \max x_j < x_j^* < \min x_j \}$	(16) (17) (18) (19) (20)
3	Uzaklık matrisinin oluşturulması $\Delta_{ij} = r_{0j} - r_{ij} \Delta_{\max} = \max \Delta_{ij} \Delta_{\min} = \min \Delta_{ij}$	(21)
4	Gri ilişkisel katsayıların hesaplanması $\epsilon(r_{0j}, r_{ij}) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \xi \Delta_{\max}} \{ \xi \in (0 - 1) \}$	(22)
5	Gri ilişkisel derecelerin hesaplanması $\gamma(r_{0j}, r_{ij}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \epsilon(r_{0j}, r_{ij}) \{ 0 \leq \gamma \leq 1 \}$	(23)
6	Ağırlıklı gri ilişkisel derecelerin hesaplanması $\gamma^*(r_{0j}, r_{ij}) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \epsilon(r_{0j}, r_{ij}) \{ \sum w_j = 1; 0 \leq \gamma^* \leq 1 \}$	(24)

3. BULGULAR (RESULTS)

3.1. Blok Kesme Gözlem Sonuçları (Block Cutting Observation Results)

Mermer blok üretiminde ilk hedef mümkün olduğunca büyük kütlelerin üretilmesidir. Blok kesici makinalarda bir defada daha büyük hacimlerin kesilmesi, makinanın blok bazında çalışma verimini artırır dolayısıyla büyük bloklar daha iyi fiyatlara alıcı bulabilir.

Birçok blok kesme makinası, dikdörtgen prizma şekilli malzemelerin kesilmesi için tasarlanmıştır. Düzgün şekle sahip olmayan blokların kesiminde, makina kesme bölgesinde boşluklar olacağı için ancak daha küçük ebatlı plakalar üretilebilir. Dolayısıyla bloğun düzgünlüğü (dikdörtgen prizmaya benzerliği) plaka verimine etken parametrelerdendir. Bu çalışma için 1-5 arasında bir düzgünlük değeri belirlenmiş ve seçilen bloklardan tam anlamıyla geometrik şekle sahip olanlar 5 puan, bir kısmı düzgün olan/olmayanlar 3 puan ve hiç düzgün olmayanlar 1 puan ile derecelendirilmiştir (Şekil 2).

Blokların plaka verimine etken bir başka parametre de tektonik hareketlerden kaynaklanan süreksizliklerdir

(kırık, çatlak, fissür, tabaka düzlemleri vb.) Bloğun kesimi sırasında plaka, süreksizlik düzlemleri boyunca kendini bırakır ve plakanın kırılmasına ya da daha küçük boyutlu ürünler üretilmesine neden olur. Verime etki eden bu unsurun da hesaplamalara katılabilmesi için bloğun kesme doğrultusu boyunca kaç adet süreksizlik içerdiği sayılarak belirlenmiş ve kesme doğrultusuna (blok boyu) bölünerek süreksizlik sıklığı (ortalama 1 metreden geçen süreksizlik) hesaplanmıştır.

Bloğun kesimi sırasında önce tarama adı verilen tesviye işlemi yapılır. Tesviye işlemi sırasında üretim yapılmadığı için harcanan süre ve enerji boşa geçmiş olur. Blok ne kadar düzgün ve küçükse işlem o kadar kısa sürer. Makinanın birim zamandaki üretim miktarını

etkileyen bu süre ve plaka kesimi için harcanan süreler, blokların kesimi sırasında not edilmiştir.

Blokların kesimi sonrasında elde edilen ebatlı plakalar (1. Kalite yarı mamul) ölçülerek sonra da blok ağırlığına oranlanarak, her bir blok için m²/ton cinsinden üretim oranları hesaplanmıştır. Ayrıca plakaların ebatlanması ya da kenarlarının düzeltilmesi sırasında, çoğunlukla üçgen şekilli parçalar ortaya çıkar. Bu parça plakalar paledyen olarak adlandırılır ve piyasada düşük fiyata alıcı bulur. Bu yüzden, ortaya çıkan paledyen miktarı da ölçülerek blok ağırlığına oranlanmış ve m²/ton cinsinden paledyen oranları hesaplanmıştır.

Blokların kesimi sırasında kesici elmas soketlerin kalınlığından dolayı kesilen yüzey alanı boyunca toz oluşur. Toz atıklar kısmen endüstride kullanılsa da ciddi bir ekonomik değeri yoktur, genellikle atık sahalarında depolanır. Bunun dışında bloğun ön ve arka yüzeyleri düz olmadığı için ilk ve son yüzey kesimleri de atık olarak depolanır. Ayrıca, kesim sonuna yaklaşıldığında, ağırlık azaldığı için vagon üzerindeki blok, kesme ünitesinin itme gücüne karşı koyamaz ve kayar. Bu da ya kalınlık ölçülerinin tutturulamamasına ya da çeşitli

kazalara neden olabilir. Bu yüzden blok tabanından itibaren 10-15 cm lik kısım kesilmeden bırakılır. Bu kalan parça, kapak olarak adlandırılır ve bazı atölye çalışanları tarafından hediyeelik eşya yapımı için kullanılabilir. Ancak tüketim çok düşük olduğu için genellikle atık olarak depolanır.

Ölçüm ve hesaplama sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir. Blokların kesme verimi ile ilgili olarak 6 kriter belirlenmiştir. Bunlar; blok büyüklüğü, süreksizlik sıklığı, düzgünlük, üretim oranı, paledyen oranı ve pasa oranıdır. Karar tabloları hazırlanırken, blok büyüklüğü makinanın bir defada yapabileceği üretim miktarını ve



Şekil 3. Çalışmada kullanılan düzgün ve düzgün olmayan blok örnekleri (Regular and irregular shaped blocks used in the study)

Kesim sırasında ortaya çıkan atık miktarının belirlenmesi için, önce blokların birim hacim ağırlığından hacimleri hesaplanmış sonra üretilen plakaların toplam hacimleri, boyutları ölçülerek hesaplanmış ve bu iki değer farkı alınmıştır. Sonra m^3 cinsinden hesaplanan atık miktarı blok ağırlığına oranlanarak bloğun pasa oranı (m^3/ton) hesaplanmıştır.

plaka boyutunu olumlu etkilediği için büyük değerlerin “faydalı” olduğu ön görülmüştür. Süreksizlik sıklığı ve düzgünlük ise plaka miktarını ve boyutunu ayrıca pasa miktarını “olumsuz” yönde etkileyecektir. Üretim oranı ile ilgili olarak, temel hedefin kaliteli ürün miktarının fazla olması olduğu için büyük değerlerin “faydalı” ol-

Çizelge 6. Blok kesme verileri (Block cutting data)

	Ölçüm verileri					Üretim verileri					Verim		
	Büyüklik (ton)	Boy (Kesme uzunluğu, m)	Süreksizlikler (adet)	Süreksizlik sıklığı (1/m)	Düğünlük (1-5)	Tarama (saat)	Kesme (saat)	Üretim miktarı (m^2)	Paledyen üretimi ($\approx m^2$)	Pasa üretimi (m^3)	Üretim oranı (m^2/ton)	Paledyen oranı (m^2/ton)	Pasa (Atık) oranı (m^3/ton)
N.1	4,67	1,40	3	2,14	3	1,78	2,80	21,51	1,89	1,27	4,61	0,40	0,27
N.2	3,77	1,50	3	2,00	3	1,97	2,03	19,80	1,45	0,98	5,25	0,38	0,26
N.3	7,52	2,40	4	1,67	1	2,03	2,88	32,70	4,21	2,06	4,35	0,56	0,27
N.4	7,24	2,30	3	1,30	2	1,17	3,83	33,92	4,93	1,91	4,69	0,68	0,26
N.5	7,29	2,15	3	1,40	1	2,05	4,78	29,22	5,08	2,02	4,01	0,70	0,28
N.6	7,75	1,20	2	1,67	1	2,08	2,92	28,72	9,42	2,12	3,71	1,22	0,27
N.7	6,29	1,50	4	2,67	3	1,67	4,33	28,36	2,13	1,73	4,51	0,34	0,27
N.8	6,63	2,20	4	1,82	1	2,42	4,58	25,14	3,62	1,89	3,79	0,55	0,28
N.9	2,28	2,20	3	1,36	2	0,58	3,08	12,00	1,16	0,58	5,27	0,51	0,26
N.10	7,55	1,50	2	1,33	2	4,08	5,92	34,94	10,17	1,90	4,63	1,35	0,25
N.11	19,78	2,90	3	1,03	4	3,67	12,33	147,60	5,16	4,30	7,46	0,26	0,22
N.12	16,05	2,70	2	0,74	5	3,83	11,17	137,60	4,44	3,13	8,57	0,28	0,19
N.13	17,89	2,50	2	0,80	5	4,25	13,75	172,24	3,27	3,14	9,63	0,18	0,18
N.14	23,87	2,90	1	0,34	3	4,58	15,42	186,39	17,46	4,80	7,81	0,73	0,20
N.15	13,56	2,10	1	0,48	5	5,33	4,50	108,00	6,75	2,75	7,97	0,50	0,20
N.16	16,79	2,60	4	1,54	4	3,33	10,67	116,10	3,27	3,85	6,92	0,19	0,23
N.17	18,88	2,60	1	0,38	3	2,83	13,17	134,64	14,17	4,04	7,13	0,75	0,21
N.18	15,84	2,30	1	0,43	3	3,33	10,00	119,40	9,60	3,31	7,54	0,61	0,21
N.19	25,18	2,60	1	0,38	5	5,50	12,50	230,40	5,78	4,64	9,15	0,23	0,18
N.20	17,04	2,20	1	0,45	5	3,58	12,42	144,00	7,98	8,87	8,45	0,47	0,52

olduğu, paledyenin ikincil ürün olmasından ve ekonomik değerinin düşük olmasından dolayı büyük değerlerin “olumsuz” olduğu ön görülmüştür. Atık oranı ise, hem ekonomik değer ifade etmemesinden hem de depolama zorunluluğundan dolayı “olumsuz” olarak değerlendirilmiştir.

Bu kabuller doğrultusunda hazırlanan karar tabloları TOPSIS ve GİA yöntemleri ile analiz edilmeden önce, belirlenen kriterlerin önem dereceleri AHP yöntemi yardımıyla hesaplanmıştır.

3.2. Kriter Ağırlıklarının AHP Yöntemine Göre Hesaplanması (Calculation of Criteria Weighting by AHP Method)

AHP yöntemine göre birinci adımda ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Eşitlik 1). Bu matris 6x6 boyutunda bir kare matris olup kriterlerin üstünlük dereceleri Saaty [22] tarafından ortaya atılan “1-9” ölçeği kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 7). Bu ölçeğe göre

paledyen oranına (C5) göre çok önemli 5 ve süreksizlik sıklığına (C2) göre 1.

- Paledyen oranı (C5); blok büyüklüğüne (C1) göre 3, düzgünlük ve pasa oranına göre 2.
- Pasa oranı (C6); blok büyüklüğüne (C1) göre 4, düzgünlüğe (C6) göre 3.

Eşitlik 2 yardımıyla matris normalize edilmiş ve Eşitlik 3 yardımıyla öncelik vektörü oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisi ve hesaplama sonuçları Çizelge 8’de verilmiş olup w değeri her bir kriterin önceliğini yani ağırlığını ifade etmektedir.

Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin dolayısıyla hesaplanan kriter ağırlıklarının doğruluğunun ölçülmesi için tutarlılık analizi yapılmıştır. Bunun için önce, ilk matris ile öncelik vektörünün matris çarpımı hesaplanmış, sonra bulunan sonuç kriter ağırlığına oranlanarak her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değerler elde edilmiştir (Eşitlik 4). Maksimum temel

Çizelge 7. Karşılaştırma ölçeği (Comparison scale) [22]

Önem	Tanımlama	Açıklama
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur.
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu	Tecrübe ve yargı ile bir faaliyet değerine göre biraz daha fazla derecede tercih edilir.
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu	Tecrübe ve yargı ile bir faaliyet değerine göre kuvvetli derecede tercih edilir.
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu	Bir faaliyet çok kuvvetli bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür.
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu	Bir faaliyetin değerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir.
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler.

yapılan değerlendirmeler aşağıdaki şekildedir;

- Blok büyüklüğü (C1); blok düzgünlüğüne (C3) göre 2.
- Süreksizlik sıklığı (C2); blok büyüklüğüne (C1) ve pasa oranına (C6) göre 6, düzgünlüğe (C3) ve paledyen oranına (C5) göre 4.
- Üretim oranı (C4); blok büyüklüğüne (C1) göre 7, düzgünlük (C3) ve pasa oranına (C6) göre 6,

değer (temel değerlerin ortalaması, λ) ve tutarlılık göstergesi (CI), Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmıştır. CR tutarlılık oranı, tutarlılık göstergesinin rassal göstergeye oranıdır ve bu değer %10 dan düşük olduğu durumlarda hesaplamaların doğru olduğu kabul edilir (Eşitlik 6) [29]. Rassal gösterge, matris boyutuna göre değişen bir katsayı olup 6x6 boyutlu bir matris için değeri 1.24’tür. Yapılan hesaplamalar sonucunda CR tutarlılık oranının 0.0764

Çizelge 8. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi (Definition of the criteria weights)

Kriterler	İkili karşılaştırma matrisi						Kriterlerin % dağılımları ve öncelik vektörü								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	w		
Büyüklik (ton)	C1	1	1/6	2	1/7	1/3	1/4	C1	0,05	0,06	0,11	0,05	0,03	0,02	0,05
Süreksizlik sıklığı (1/m)	C2	6	1	4	1	4	6	C2	0,28	0,35	0,22	0,37	0,35	0,39	0,33
Düğünlük (1-5)	C3	1/2	1/4	1	1/6	1/2	1/3	C3	0,02	0,09	0,06	0,06	0,04	0,02	0,05
Üretim oranı (m2/ton)	C4	7	1	6	1	5	6	C4	0,33	0,35	0,33	0,37	0,44	0,39	0,37
Paledyen oranı (m2/ton)	C5	3	1/4	2	1/5	1	2	C5	0,14	0,09	0,11	0,07	0,09	0,13	0,11
Pasa oranı (m3/ton)	C6	4	1/6	3	1/6	1/2	1	C6	0,19	0,06	0,17	0,06	0,04	0,06	0,10
								Toplam	1	1	1	1	1	1	1,00

Çizelge 9. Tutarlılığın ölçülmesi (Calculation of consistency)

1	1/6	2	1/7	1/3	1/4		0,05		0,32		6,0395	$\lambda =$	6,4740
6	1	4	1	4	6		0,33		2,21		6,7461	CI=	0,0948
1/2	1/4	1	1/6	1/2	1/3	X	0,05	=	0,30	→	6,1787	CR=	0,0764
7	1	6	1	5	6		0,37		2,47		6,6903		
3	1/4	2	1/5	1	2		0,11		0,71		6,7658		
4	1/6	3	1/6	1/2	1		0,10		0,62		6,4234		
													CR<% 10
													Tutarlıdır

olduğu görülmüştür. Bu durumda ikili karşılaştırmanın tutarlı olduğu söylenebilir. Tutarlılığın ölçülmesiyle ilgili hesaplamalar Çizelge 9’da verilmiştir

Sonuç olarak, 0.37 ile C4 (üretim oranı) en önemli kriter olurken, 0.05 ile C1 (büyüklük) ve C3 (düzgünlük) kriterlerinin diğerlerine göre önemlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

3.3. Blokların TOPSIS Yöntemine Göre Sınıflandırılması (Classification of The Blocks by TOPSIS Method)

TOPSIS (İdeal Çözüm ile Benzerlik Tercihi Tekniği) yöntemine göre önce karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinin satırları alternatifleri (incelenen bloklar) sütunları ise blokların sınıflandırılmasında etken kriteri ($C_i; \{i=1, 2, \dots, 6\}$) ifade etmektedir (Eşitlik 9). Sonra Eşitlik 10 kullanılarak matris elemanları normalize edilmiş ve standart karar matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 10).

Standart karar matrisinin elemanları, önceki bölümde AHP yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi elde edilmiştir (Eşitlik 11). Ağırlıklı karar matrisinde her bir kriter için fayda ya da kayıp getirisine göre pozitif ideal ve negatif ideal çözümler oluşturulmuştur. Burada C1 (büyüklük), C3 (düzgünlük) ve C4 (üretim oranı) fayda sağladığı için bu kriterlerin en büyük değerleri, C2 (süreksizlik sıklığı), C5 (paledden üretim oranı) ve C6 (pasa oranı) kayıplarla ilgili kriterler olduğu için bu kriterlerin en küçük değerleri pozitif ideal çözüm (A^*) olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, C1, C3 ve C4 kriterlerinin en küçük değerleri ile C2, C5 ve C6 kriterlerinin en büyük değerleri de negatif ideal çözüm kümesinin elemanlarıdır.

TOPSIS yönteminde son aşama, ayırım ölçütlerinin (Eşitlik 13) ve ideal çözüme göre yakınlığın (Eşitlik 14) hesaplanarak öncelik sıralamasının yapılmasıdır (Çizelge

11). İdeal çözüme yakınlık (C^*), 0 ile 1 arasında değişir ve 1’e en yakın değer en ideal alternatifi gösterir.

Çizelge 11’e göre, en iyi blokların sırasıyla N.19, N.13 ve N.15 olduğu, en kötü blokların da N.7, N.1 ve N.6 olduğu söylenebilir.

3.4. Blokların GIA Yöntemine Göre Sınıflandırılması (Classification of The Blocks by GRA Method)

GIA yönteminde birinci adım karar matrisinin oluşturulması ve referans serinin belirlenmesidir. Karar matrisi olarak TOPSIS yönteminde oluşturulan matris kullanılmıştır. Referans seri ise ideal kriterleri içeren sanal ve/veya gerçek bir seridir. Dolayısıyla referans seri, mevcut alternatiflerin maksimum, minimum veya optimum değerlerinin faydalı olduğu kriterlerinden oluşturulabildiği gibi karar verici tarafından belirlenen hayali bir alternatifin kriterlerinden de oluşturulabilir [30]. Eşitlik 15 ve Eşitlik 16 ya göre oluşturulan karar matrisi ve referans seri Çizelge 12’de verilmiştir.

Kriterleri tanımlayan veriler farklı birimlerle ölçüldüğü için, karar matrisi normalize edilerek aynı birime dönüştürülmüştür. Normalleştirme sürecinde (gri ilişkisel oluşum), en sık kullanılan yöntemlerden birisi olan lineer veri ön işleme yönteminden yararlanılmış ve kriterlerin maksimum daha iyi (C1, C3, C4) durumunda Eşitlik 18, minimum daha iyi (C2, C5, C6) durumunda da Eşitlik 19 kullanılmıştır. Referans serinin normalleştirilmiş değeri daima “1” olarak hesaplanır (Eşitlik 16).

GIA yönteminde sonraki aşama, referans seri ile karşılaştırılacak m tane serinin tanımlanması ve mutlak değer tablosunun oluşturulmasıdır. Mutlak değer tablosu, Eşitlik 21 de verildiği gibi, normalleştirilmiş karar matrisindeki kriter elemanlarının referans seri ile farkları hesaplanarak oluşturulmuştur (Çizelge 13).

Son olarak, gri ilişkisel katsayılar ve gri ilişkisel dereceler hesaplanmıştır. Gri ilişkisel katsayıların

Çizelge 10. Karar matrisi ve standart karar matrisinin oluşturulması (Creation of decision and standard decision matrixes)

	Karar matrisi						Standart karar matrisi					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
N.1	4,67	2,14	3,00	4,61	0,40	0,27	0,074	0,350	0,199	0,157	0,145	0,232
N.2	3,77	2,00	3,00	5,25	0,38	0,26	0,060	0,327	0,199	0,179	0,138	0,222
N.3	7,52	1,67	1,00	4,35	0,56	0,27	0,120	0,272	0,066	0,148	0,201	0,234
N.4	7,24	1,30	2,00	4,69	0,68	0,26	0,115	0,213	0,133	0,160	0,245	0,226
N.5	7,29	1,40	1,00	4,01	0,70	0,28	0,116	0,228	0,066	0,137	0,251	0,237
N.6	7,75	1,67	1,00	3,71	1,22	0,27	0,123	0,272	0,066	0,126	0,437	0,234
N.7	6,29	2,67	3,00	4,51	0,34	0,27	0,100	0,435	0,199	0,154	0,122	0,235
N.8	6,63	1,82	1,00	3,79	0,55	0,28	0,106	0,297	0,066	0,129	0,196	0,244
N.9	2,28	1,36	2,00	5,27	0,51	0,26	0,036	0,223	0,133	0,180	0,183	0,219
N.10	7,55	1,33	2,00	4,63	1,35	0,25	0,120	0,218	0,133	0,158	0,484	0,216
N.11	19,78	1,03	4,00	7,46	0,26	0,22	0,315	0,169	0,265	0,254	0,094	0,186
N.12	16,05	0,74	5,00	8,57	0,28	0,19	0,256	0,121	0,332	0,292	0,099	0,167
N.13	17,89	0,80	5,00	9,63	0,18	0,18	0,285	0,131	0,332	0,328	0,066	0,150
N.14	23,87	0,34	3,00	7,81	0,73	0,20	0,380	0,056	0,199	0,266	0,263	0,172
N.15	13,56	0,48	5,00	7,97	0,50	0,20	0,216	0,078	0,332	0,272	0,179	0,173
N.16	16,79	1,54	4,00	6,92	0,19	0,23	0,267	0,251	0,265	0,236	0,070	0,196
N.17	18,88	0,38	3,00	7,13	0,75	0,21	0,301	0,063	0,199	0,243	0,270	0,183
N.18	15,84	0,43	3,00	7,54	0,61	0,21	0,252	0,071	0,199	0,257	0,218	0,179
N.19	25,18	0,38	5,00	9,15	0,23	0,18	0,401	0,063	0,332	0,312	0,083	0,157
N.20	17,04	0,45	5,00	8,45	0,47	0,52	0,272	0,074	0,332	0,288	0,168	0,445

hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 22 deki ξ katsayısı, Δ_{ij} ile Δ_{\max} arasındaki farkın en uç değer olma ihtimalini ortadan kaldırmak için kullanılır ve 0 ile 1 arasında değişir [31]. Bu çalışmada $\xi=0.5$ alınmıştır.

Gri ilişkisel derecelerin hesaplanması, kriter ağırlıklarının eşit olması durumunda gri ilişkisel katsayıların ortalaması hesaplanarak (Eşitlik 23), kriter ağırlıklarının verilmiş olması durumunda da her bir gri ilişkisel katsayı ile ilgili kriter ağırlığının çarpılması ve satır boyunca toplanması şeklinde yapılır (Eşitlik 24). Gri ilişkisel dereceler de 0 ile 1 arasında değişir ve değeri en

büyük olan seçenek en iyi alternatif olarak değerlendirilir.

Bu çalışmada kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlendiği için Eşitlik 24 kullanılmış ve ağırlıklı gri ilişkisel dereceler hesaplanmıştır. Gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel dereceler ve öncelik sıralaması Çizelge 14'de verilmiştir.

Çizelge 14'e göre, en iyi blokların sırasıyla N.19, N.13 ve N.12 olduğu, en kötü blokların da N.6, N.8 ve N.7 olduğu söylenebilir.

Çizelge 11. Standart karar matrisinin çözümü (Solving the standard decision matrix)

w	Ağırlıklı karar matrisi						Ayrım ölçütleri		İdeal çözüme yakınlık C*	Öncelik sıralaması
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	S*	S-		
N.1	0,004	0,115	0,010	0,058	0,015	0,023	0,117	0,052	0,31	19
N.2	0,003	0,107	0,010	0,066	0,015	0,021	0,106	0,059	0,36	16
N.3	0,006	0,089	0,003	0,055	0,021	0,023	0,100	0,065	0,39	15
N.4	0,006	0,070	0,007	0,059	0,026	0,022	0,085	0,081	0,49	12
N.5	0,006	0,075	0,003	0,050	0,026	0,023	0,095	0,075	0,44	14
N.6	0,006	0,089	0,003	0,047	0,046	0,023	0,112	0,058	0,34	18
N.7	0,005	0,143	0,010	0,057	0,013	0,023	0,141	0,045	0,24	20
N.8	0,006	0,097	0,003	0,048	0,021	0,024	0,111	0,058	0,34	17
N.9	0,002	0,073	0,007	0,066	0,019	0,021	0,081	0,082	0,50	11
N.10	0,006	0,071	0,007	0,058	0,051	0,021	0,095	0,076	0,44	13
N.11	0,017	0,055	0,013	0,094	0,010	0,018	0,046	0,112	0,71	9
N.12	0,013	0,040	0,016	0,108	0,010	0,016	0,026	0,130	0,83	4
N.13	0,015	0,043	0,016	0,121	0,007	0,015	0,025	0,136	0,84	2
N.14	0,020	0,018	0,010	0,098	0,028	0,017	0,032	0,140	0,82	5
N.15	0,011	0,025	0,016	0,100	0,019	0,017	0,027	0,136	0,83	3
N.16	0,014	0,082	0,013	0,087	0,007	0,019	0,073	0,089	0,55	10
N.17	0,016	0,021	0,010	0,090	0,028	0,018	0,039	0,135	0,77	8
N.18	0,013	0,023	0,010	0,095	0,023	0,017	0,033	0,135	0,80	6
N.19	0,021	0,021	0,016	0,115	0,009	0,015	0,007	0,151	0,96	1
N.20	0,014	0,024	0,016	0,106	0,018	0,043	0,035	0,138	0,80	7
Pozitif ideal (A*) ve negatif ideal (A-) çözümler										
A*	0,021	0,018	0,016	0,121	0,007	0,015				
A-	0,002	0,143	0,003	0,047	0,051	0,043				

Çizelge 12. Karar matrisi ve referans seri (Decision matrix and reference set)

Referans seri	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Maksimum iyi	Minimum iyi	Maksimum iyi	Maksimum iyi	Minimum iyi	Minimum iyi
	25,18	0,34	5,00	9,63	0,18	0,18
N.1	4,67	2,14	3,00	4,61	0,40	0,27
N.2	3,77	2,00	3,00	5,25	0,38	0,26
N.3	7,52	1,67	1,00	4,35	0,56	0,27
N.4	7,24	1,30	2,00	4,69	0,68	0,26
N.5	7,29	1,40	1,00	4,01	0,70	0,28
N.6	7,75	1,67	1,00	3,71	1,22	0,27
N.7	6,29	2,67	3,00	4,51	0,34	0,27
N.8	6,63	1,82	1,00	3,79	0,55	0,28
N.9	2,28	1,36	2,00	5,27	0,51	0,26
N.10	7,55	1,33	2,00	4,63	1,35	0,25
N.11	19,78	1,03	4,00	7,46	0,26	0,22
N.12	16,05	0,74	5,00	8,57	0,28	0,19
N.13	17,89	0,80	5,00	9,63	0,18	0,18
N.14	23,87	0,34	3,00	7,81	0,73	0,20
N.15	13,56	0,48	5,00	7,97	0,50	0,20
N.16	16,79	1,54	4,00	6,92	0,19	0,23
N.17	18,88	0,38	3,00	7,13	0,75	0,21
N.18	15,84	0,43	3,00	7,54	0,61	0,21
N.19	25,18	0,38	5,00	9,15	0,23	0,18
N.20	17,04	0,45	5,00	8,45	0,47	0,52

Çizelge 13. Gri ilişkisel oluşum ve mutlak değer tablosu (The tables of grey relation generating and distance matrix)

Referans seri	Normalize edilmiş karar matrisi						Mutlak değer (uzaklık) tablosu					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	1	1	1	1	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N.1	0,10	0,23	0,50	0,15	0,81	0,72	0,90	0,77	0,50	0,85	0,19	0,28
N.2	0,07	0,29	0,50	0,26	0,83	0,76	0,93	0,71	0,50	0,74	0,17	0,24
N.3	0,23	0,43	0,00	0,11	0,68	0,72	0,77	0,57	1,00	0,89	0,32	0,28
N.4	0,22	0,59	0,25	0,17	0,57	0,74	0,78	0,41	0,75	0,83	0,43	0,26
N.5	0,22	0,55	0,00	0,05	0,56	0,70	0,78	0,45	1,00	0,95	0,44	0,30
N.6	0,24	0,43	0,00	0,00	0,11	0,72	0,76	0,57	1,00	1,00	0,89	0,28
N.7	0,18	0,00	0,50	0,13	0,87	0,71	0,82	1,00	0,50	0,87	0,13	0,29
N.8	0,19	0,37	0,00	0,01	0,69	0,68	0,81	0,63	1,00	0,99	0,31	0,32
N.9	0,00	0,56	0,25	0,26	0,72	0,77	1,00	0,44	0,75	0,74	0,28	0,23
N.10	0,23	0,57	0,25	0,16	0,00	0,78	0,77	0,43	0,75	0,84	1,00	0,22
N.11	0,76	0,70	0,75	0,63	0,93	0,88	0,24	0,30	0,25	0,37	0,07	0,12
N.12	0,60	0,83	1,00	0,82	0,92	0,94	0,40	0,17	0,00	0,18	0,08	0,06
N.13	0,68	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	0,32	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
N.14	0,94	1,00	0,50	0,69	0,53	0,93	0,06	0,00	0,50	0,31	0,47	0,07
N.15	0,49	0,94	1,00	0,72	0,73	0,92	0,51	0,06	0,00	0,28	0,27	0,08
N.16	0,63	0,49	0,75	0,54	0,99	0,84	0,37	0,51	0,25	0,46	0,01	0,16
N.17	0,73	0,98	0,50	0,58	0,51	0,89	0,27	0,02	0,50	0,42	0,49	0,11
N.18	0,59	0,96	0,50	0,65	0,64	0,90	0,41	0,04	0,50	0,35	0,36	0,10
N.19	1,00	0,98	1,00	0,92	0,96	0,97	0,00	0,02	0,00	0,08	0,04	0,03
N.20	0,64	0,95	1,00	0,80	0,76	0,00	0,36	0,05	0,00	0,20	0,24	1,00

Çizelge 14. Gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel dereceler ve öncelik sıralaması (Grey relation coefficients, grey relation ranks and priority orders)

w	Gri ilişkisel katsayılar						Gri ilişkisel dereceler γ^*	Öncelik sıralaması
	C1	C2	C3	C4	C5	C6		
	0,05	0,33	0,05	0,37	0,11	0,10		
N.1	0,36	0,39	0,50	0,37	0,72	0,64	0,45	17
N.2	0,35	0,41	0,50	0,40	0,74	0,67	0,47	13
N.3	0,39	0,47	0,33	0,36	0,61	0,64	0,45	16
N.4	0,39	0,55	0,40	0,37	0,54	0,66	0,48	12
N.5	0,39	0,52	0,33	0,35	0,53	0,63	0,45	15
N.6	0,40	0,47	0,33	0,33	0,36	0,64	0,41	20
N.7	0,38	0,33	0,50	0,37	0,79	0,63	0,43	18
N.8	0,38	0,44	0,33	0,34	0,62	0,61	0,43	19
N.9	0,33	0,53	0,40	0,40	0,64	0,68	0,49	11
N.10	0,39	0,54	0,40	0,37	0,33	0,69	0,46	14
N.11	0,68	0,63	0,67	0,58	0,88	0,81	0,66	9
N.12	0,56	0,75	1,00	0,74	0,86	0,90	0,77	3
N.13	0,61	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	2
N.14	0,90	1,00	0,50	0,62	0,51	0,87	0,77	4
N.15	0,50	0,90	1,00	0,64	0,65	0,86	0,76	5
N.16	0,58	0,49	0,67	0,52	0,98	0,76	0,59	10
N.17	0,65	0,97	0,50	0,54	0,51	0,82	0,71	8
N.18	0,55	0,93	0,50	0,59	0,58	0,84	0,72	7
N.19	1,00	0,97	1,00	0,86	0,93	0,95	0,93	1
N.20	0,58	0,91	1,00	0,72	0,67	0,33	0,75	6

4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

TOPSIS ve GIA sonuçları karşılaştırıldığında, aynı veriler ve kriter ağırlıkları kullanılmış olmasına rağmen N.4, N.9, N.11, N.13, N.16, N.17, N.19 numaralı bloklar dışındaki 13 adet bloğun sıralamadaki yerlerinin farklı olduğu görülmektedir (Çizelge 15). TOPSIS yöntemine göre, N.6, N.8 ve N.15 no lu bloklar 2 sıra, N.3, N.5, N.10 ve N.18 no lu bloklar da 1 sıra daha öncelikli hesaplanmıştır. GIA yöntemine göre ise, N.2 no lu blok

3 sıra, N.1 ve N.7 no lu bloklar 2 sıra, N.12, N.14 ve N.20 no lu bloklar da 1 sıra daha önceliklidirler. Çalışmanın başlangıcında, takip kolaylığı sağlaması bakımından, küçük boyutlu bloklar N.1-N.10 arasında, daha büyük olanlar ise N.11-N.20 arasında numaralandırılmıştır. Çizelge 15 incelendiğinde N.11-N.20 arası numaralandırılmış olan blokların ilk 10 sırayı aldığı görülmektedir. Bu durum, mermer ocaklarında büyük boyutlu blokların üretilmek istenmesinin nedenini açıklamaktadır.

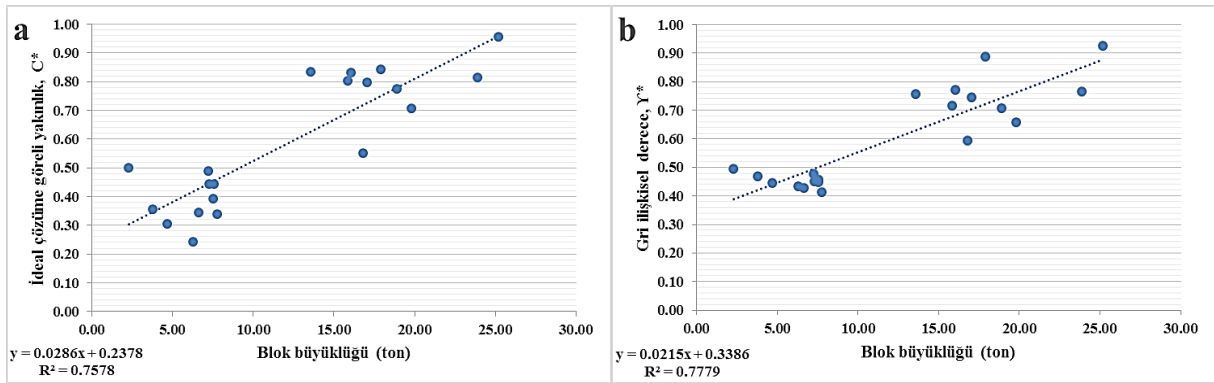
Çizelge 15. TOPSIS ve GİA sıralamalarının karşılaştırılması (Comparison of TOPSIS and GRA orders)

Blok No	TOPSIS		GİA		DEĞERLENDİRME
	C*	Öncelik sırası	Y*	Öncelik sırası	
N.1	0,31	19	0,45	17	GİA yöntemine göre daha öncelikli
N.2	0,36	16	0,47	13	GİA yöntemine göre daha öncelikli
N.3	0,39	15	0,45	16	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.4	0,49	12	0,48	12	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.5	0,44	14	0,45	15	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.6	0,34	18	0,41	20	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.7	0,24	20	0,43	18	GİA yöntemine göre daha öncelikli
N.8	0,34	17	0,43	19	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.9	0,50	11	0,49	11	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.10	0,44	13	0,46	14	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.11	0,71	9	0,66	9	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.12	0,83	4	0,77	3	GİA yöntemine göre daha öncelikli
N.13	0,84	2	0,89	2	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.14	0,82	5	0,77	4	GİA yöntemine göre daha öncelikli
N.15	0,83	3	0,76	5	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.16	0,55	10	0,59	10	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.17	0,77	8	0,71	8	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.18	0,80	6	0,72	7	TOPSIS yöntemine göre daha öncelikli
N.19	0,96	1	0,93	1	TOPSIS ve GİA sonuçları eşit
N.20	0,80	7	0,75	6	GİA yöntemine göre daha öncelikli

Plaka veriminin yüksek olması üreticinin karını da artıracak için önemli olan kesilecek bloktan elde edilecek m³ bazında plaka miktarıdır. Dolayısıyla blokların satın alınması ya da fabrikada kesim için seçimi sırasında bloğun büyüklüğü ve bünyesindeki süreksizlikler dikkatle incelenir ve elde edilebilecek plaka miktarı tahmin edilmeye çalışılır. Bu sebeple, TOPSIS ve GİA yöntemleri ile sınıflandırılan bloklar için hesaplanan ideal çözüme yakınlık ve gri ilişkisel katsayılar ile blok büyüklüğü, üretim oranı ve süreksizlik sıklığı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

doğrusal ilişki olduğu anlaşılmaktadır. TOPSIS e göre 0.76 ve GİA e göre 0.78 gibi ciddiye alınacak R² değerlerine göre büyük boyutlu blokların daha kaliteli olduğu söylenebilir.

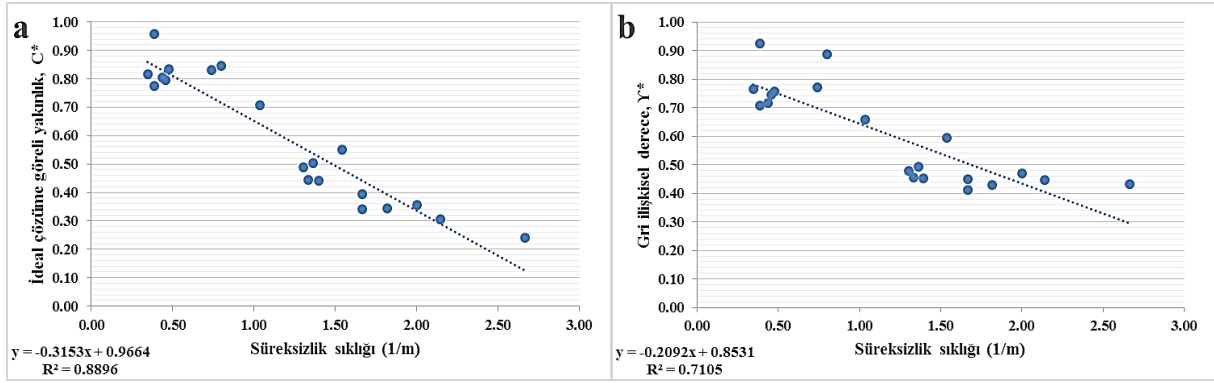
Şekil 5’de ÇKKV sonuçları ve süreksizlik sıklığı dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 5a ve Şekil 5b’ye göre, süreksizlik sıklığı değerlerinin homojen değiştiği ve ÇKKV sonuçları ile arasında azalan doğrusal ilişki olduğu görülmektedir (R²_{TOPSIS}=0.89, R²_{GİA}=0.71). İki



Şekil 4. TOPSIS ve GİA sonuçları ile blok büyüklüğü arasındaki ilişki (Relationship between TOPSIS and GRA Results and Block Sizes)

Şekil 4’de TOPSIS (ideal çözüme yakınlık) ve GİA (gri ilişkisel derece) sonuçları ve blok büyüklüğü (ton) dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 4a ve Şekil 4b incelendiğinde ÇKKV sonuçlarının 10 ton altı ve üstü olmak üzere iki ayrı bölümde gruplandığı dolayısıyla blok büyüklüğü ile ÇKKV sonuçlarının arasında

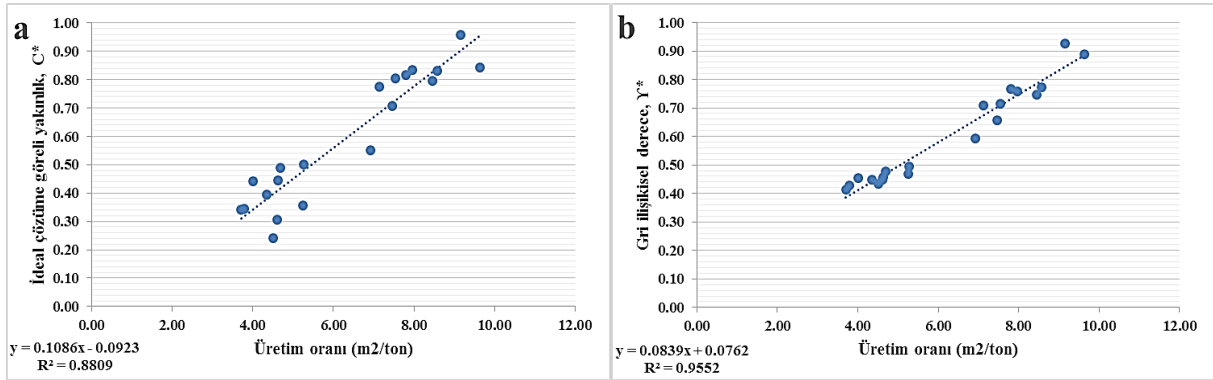
yöntemin R² değerlerindeki 0.18 puanlık farka göre, süreksizliklerin analizinde TOPSIS yaklaşımının GİA yaklaşımına göre daha etkin olduğu söylenebilir. Ayrıca, süreksizlik sıklığının blok kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametre olduğu da anlaşılmıştır



Şekil 5. TOPSIS ve GİA sonuçları ile süreksizlik sıklığı arasındaki ilişki (Relationship between discontinuity frequencies and TOPSIS and GRA Results)

Şekil 6’da ÇKKV sonuçları ve üretim oranı dağılım grafikleri verilmiştir. Şekil 6a ve Şekil 6b’ye göre, ÇKKV sonuçları ile üretim oranı arasında $R^2=0.88$ ve $R^2=0.96$ gibi yüksek derecede artan doğrusal ilişki olduğu söylenebilir. Blok kesme operasyonunu bir sonucu olarak karşımıza çıkan üretim oranı kuşkusuz blok kalitesinin belirlenmesinde en önemli kriterdir.

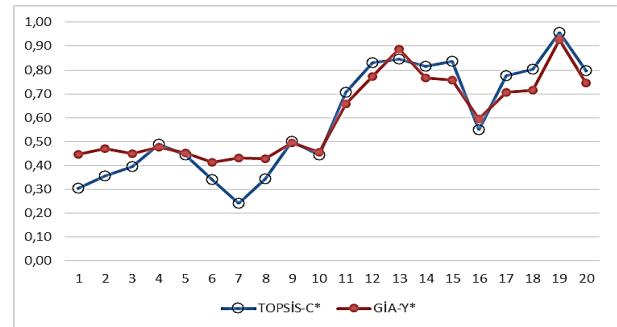
öncelikli hesaplananlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. C1 kriteri, 0.05 ile en düşük öneme sahip kriterlerden biridir. Buna göre, her iki yöntemde de eşit öneme sahip olan örnekler için baz alınan verilerin ortalamadan sapma oranı daha düşüktür. Dolayısıyla kriter verilerinin değişim aralığının ve ortalamadan sapma derecesinin, TOPSIS ve GİA yöntemlerinin



Şekil 6. TOPSIS ve GİA sonuçları ile üretim oranı arasındaki ilişki (Relationship between Production ratio and TOPSIS and GRA)

TOPSIS yaklaşımında kriterlerin normalize edilmesi işleminde, kriterlerin ideal çözümlere vektörel uzaklıkları hesaplanmaktadır. Ayrıca yöntem pozitif ideal çözüme en yakın alternatifi ararken negatif ideal çözüme de en uzak olan alternatifi ön plana çıkarmaktadır. GİA yaklaşımında ise normalizasyon işleminde, doğrusal veri ön işleme yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde tüm kriterlerin kendi aralarındaki değişimi lineerdir ve yöntem referans seriye en çok benzeyen alternatifi ön plana çıkarmaktadır. Yaklaşımlardaki bu farklılık, 13 adet bloğun sıralamadaki yerlerinin de farklı olmasına neden olmuştur. Şekil 7 de TOPSIS ve GİA sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

problemin çözümüne yaklaşım tekniğini etkilediği, sonuçları (sıralamanın) değiştirdiği söylenebilir.



Şekil 7. TOPSIS ve GİA sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of TOPSIS and GRA results)

Bazı blokların TOPSIS ve GİA önceliklerinin farklı hesaplanmasının nedenini araştırmak üzere, bu bloklara ait kriterlerin verilerinin ortalamaları ve standart sapmaları ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 16’da verilmiştir. Çizelgeye göre önceliği farklı hesaplanan kriterlerin standart sapmalarının, C1 kriteri dışında, aynı

Çizelge 16. TOPSIS ve GİA önem sıralamalarının farklı olduğu örnekler (The samples whose TOPSIS and GRA orders are different)

Kriterler	w	C* ≠ Y*		C* = Y*	
		Ort.	Std.	Ort.	Std.
C1	0,05	10,6	6,04	15,43	7,89
C2	0,33	1,32	0,76	0,97	0,47
C3	0,05	2,77	1,54	3,57	1,27
C4	0,37	5,78	1,94	7,18	1,82
C5	0,11	0,62	0,32	0,40	0,24
C6	0,10	0,27	0,08	0,22	0,03

w: Kriter ağırlığı; ≠: Önem sırası farklı; =: Önem sırası eşit

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Blokların kalitesine etken parametreler önem sırasına göre üretim oranı, süreksizlik sıklığı, paledyen oranı, atık oranı, blok büyüklüğü ve düzgünlüktür. Renk, desen ve homojenlik gibi faktörler de müşterinin kişisel tercihine göre değişmektedir.
- TOPSIS ve GİA sonuçları ile süreksizlik sıklığı arasında azalan doğrusal ilişki görülürken blok büyüklüğü ve üretim oranı arasında artan doğrusal ilişki olduğu görülmüştür. İlişki düzeyleri göz önüne alındığında, blok seçme işleminde bu üç kriterden yararlanılabilir.
- Bazı blokların önem sıralarının her iki yöntemde de farklı hesaplanmasının iki önemli nedeni olduğu görülmüştür. Bunlardan birincisi, TOPSIS ve GİA yöntemlerinde kriterlerin normalizasyonunda yaklaşımlarının farklı olması, ikincisi ise bu bloklara ait kriterlerin verilerinin ortalamadan sapmalarının (standart sapma) yüksek olmasıdır. Buna göre alternatifler arasında kriterlerin değişim aralığının yüksek olduğu durumlarda problemin birden fazla ÇKKV yöntemi uygulanarak çözüme ulaşılmasının daha sağlıklı olacağı düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma TOPSIS ve GİA yöntemlerinin mermer blokların sınıflandırılması işleminde kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Bu yöntemlerin traverten, oniks, hakiki mermer gibi diğer mermer türlerinin de sınıflandırılmasında kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, problemin diğer yöntemlerle de çözümünün ve elde edilen sonuçlardaki muhtemel farklılıkların araştırılması, hem ÇKKV yöntemlerinin birbirlerine göre üstün ya da zayıf olduğu durumları ortaya çıkarması hem de çözümün daha sağlıklı olması bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Karaatlı M., Ömürbek N., Budak İ. ve Dağ O., “Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması”, *Selçuk University Journal of Institute of Social Sciences* 33: 215-228, (2015).
- [2] Yiğit A. M. and Gök M., “Tire Selection with TOPSIS and GRA Methods in Multi Criteria Decision Making”, *Ordu University Journal of Social Science Research*, 7(3): 423-431, (2017).
- [3] Tripathy S. and Tripathy D.K., “Multi-attribute optimization of machining process parameters in powder mixed electro-discharge machining using TOPSIS and grey relational analysis”, *Engineering Science and Technology, an International Journal* 19: 62–70. DOI: 10.1016/j.jestch.2015.07.010, (2016)
- [4] Arıbaş M. ve Özcan U., “Akademik araştırma projelerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 19(2): 163-173, (2016).
- [5] Güneysu Y., Er B. ve Ar İ.M.. “Türkiye’deki ticari bankaların performanslarının AHS ve GİA yöntemleri ile incelenmesi”, *KTU SBE Sos. Bil. Derg.*, 9: 71-93, (2015).
- [6] Bektaş H. ve Tuna K., “Borsa İstanbul Gelişen İşletmeler Piyasası’nda İşlem Gören Firmaların Gri İlişkisel Analiz ile Performans Ölçümü”, *Çankırı Karatekin University Journal of the Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 3(2): 185-198, (2013).
- [7] Muralidhar P., Ravindranath K. and Srihari V., “The Influence of GRA and TOPSIS for Assortment of Green Supply Chain Management Strategies in Cement Industry”, *International Journal of Supply Chain Management*, 2(1): 49-54, (2013).
- [8] Kou G., Lu Y., Peng Y. and Shi Y., “Evaluation of classification algorithms using MCDM and RANK correlation”, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11(1): 197-225. DOI: 10.1142/S0219622012500095, (2012).
- [9] Şahin Y. ve Akyer H., “Ülke kaynaklarının verimli kullanımı: 4x4 arama ve kurtarma aracı seçiminde AHS ve TOPSIS yöntemlerinin uygulaması”, *Süleyman Demirel University The Journal of Visionary*, 3(5): 72-87, (2011).
- [10] Dai J., Qi J., Chi J., Chen S., Yang J., Ju L., Chen B., “Integrated water resource security evaluation of Beijing based on GRA and TOPSIS”, *Front. Earth Sci. China*, 4(3), 357–362. DOI 10.1007/s11707-010-0120-7, (2010).
- [11] Ersoy, M. and Yeşilkaya, L., “Choice of marble block cutting machine by using Analytic Hierarchy Process (AHP) method”, *International Journal of Information Technology and Business Management*, 19(1): 67-80, (2013).
- [12] Eleren, A. ve Ersoy, M., “Mermer blok kesim yöntemlerinin bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi”, *Madencilik*, 46(3): 9-22, (2007).
- [13] Gökçe, B. ve Sonugür, G., “ANFIS ve YSA Yöntemleri ile İşlenmiş Doğal Taş Üretim Sürecinde Verimlilik Analizi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16: 174-185, DOI: 10.5578/fmbd.13951, (2016).
- [14] Caner M. ve Akarslan E., “Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri

- ile Tahmini”, *Pamukkale Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2): 221-226, (2009).
- [15] Güvenç, U., Dursun, M. ve Çimen H., “Mermer Kesme İşleminde Kesim Süresinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Modellenmesi”, *SDU International Technologic Science*, 3(2): 9-16, (2011).
- [16] Ekinçioğlu, G., Güney, A., Akbay, D. ve Altındağ, R., “Dairesel Testereli Kesme Makinelerinin Saatlik Üretim Miktarının Mermer Yüzey Sertliğine Bağlı Olarak Yapay Sinir Ağı (YSA) Ve Regresyon Analizleri (RA) İle Tahmin Edilmesi”, *Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi*, 13-25 Aralık 2017, Antalya, Türkiye, 87-96, (2017).
- [17] Aras, G. ve Gencer C., “Muğla İlindeki Mermer İşletmelerine Yönelik Veri Zarflama Analizi Örnek Olayı”, *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 13: 139-153, (2011).
- [18] Oruç, K. O., Çuhadar, M., Kılınc, M. ve Osmançık, S., “Veri Zarflama Analizi İle Mermer İşletmelerinin Etkinlik Ölçümü”, *SDU Department of Econometrics, 15th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics*, 977-994, (2014).
- [19] Akkoyun Ö. ve Toprak, Z. F., “Mermer Blok Kalitelerinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Belirlenmesi”, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, BMYS'2008*, 15-17 Ekim 2008, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, (2008).
- [20] Yalçın, B., Uçun, İ. ve Kuru, M., “Mermer Kesme Testerelerinde Oluşan Kesme Kuvvetinin Bulanık Mantık (BM) Yöntemiyle Modellenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22(2): 329-336, (2007).
- [21] Saaty T.L., “How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process”, *European Journal of Operational Research*, 48: 9-26, (1990).
- [22] Saaty T.L., “How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process”, *Interfaces*, 24(6): 19-43, (1994).
- [23] Saaty T.L., “Decision making with the analytic hierarchy process”, *Int. J. Services Sciences*, 1(1): 83-98, (2008).
- [24] Hwang, C. L., & Yoon, K. P., “Multiple Attribute Decision Making: Methods And Applications”, *New York: Springer- Verlag*, (1981).
- [25] Deng J., “Control Problems of Grey System”, *System and Control Letters*, 1(5): 288-294, (1982).
- [26] Deng J., “Introduction to grey system theory”, *The Journal of Grey System*, 1(1): 1-24, (1989).
- [27] Deng J., “*Basis of Grey Theory*”, Huazhong University of Science and Technology press Wuhan, (2002).
- [28] Üstünişik N. Z., “*Türkiye'deki iller ve bölgeler bazında sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması: Gri ilişkisel analiz yöntemi ve uygulaması [Yük. Lis Tezi, Dn: Güngör Z.]*”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 132 s., (2007).
- [29] Forman, E. H ve Selly, M. A. “*Decision By Objectives (How To Convince Others That You Are Right)*”, World Scientific Pub. Co., USA, Petersburg, (2001).
- [30] Ersoy, M., Çelik, M. Y., Yeşilkaya, L., Mermer Blok Kesme Makinası Seçiminde, GIA (Gri İlişkisel Analiz) Yönteminin Uygulanması, *Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi*, 13-15 Aralık, Antalya, Türkiye, 73-86, (2017).
- [31] Wen, K.L., “The grey system analysis and its application in gas breakdown and var compensator finding”, *International Journal of Computational Computing*, 2(1): 21-44, (2004).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Kombine doğal gaz çevrim santralinin performans analizi

Performance analysis of natural gas combined cycle power plant

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Onur KARAAĞAÇ¹, Ahmet KABUL², Fatih YİĞİT³

ORCID¹: 0000-0003-1783-9702

ORCID²: 0000-0002-9666-2660

ORCID³: 0000-0002-9504-5644

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karaağaç M.O., Kabul A., Yiğit F., “Kombine doğal gaz çevrim santralinin performans analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 319-325, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.403996

Kombine Doğalgaz Çevrim Santralinin Performans Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Onur KARAĞAÇ¹, Ahmet KABUL², Fatih YİĞİT²

¹Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Sinop, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

(Geliş/Received : 22.12.2017 ; Kabul/Accepted : 04.02.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, doğal gaz yakıtlı gerçek bir kombine çevrim santralının verileri kullanılarak termodinamiğin birinci yasa analizi uygulanmıştır. Sistemin 25 °C çevre sıcaklığı ve 101.325 kPa basınçta net güç çıktıları Brayton çevrimi ve Rankine çevrimi için sırasıyla 45 MW ve 12MW olarak hesaplanmış ve değişen çevre koşullarının sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gaz türbininin ortalama % 38 verime ve kombine çevrimin ise % 48 verime sahip olduğu hesaplanmıştır. Çevre sıcaklığının 45 °C'lik artışı sistemin net gücünde % 22'lik bir azalmaya neden olurken kompresör kısmında sıkıştırma işi için gereken güç de artmıştır. Çevre sıcaklığının artmasıyla kompresöre giren hava debisinin azaldığı bunun doğrultusunda özgül yakıt sarfiyatında da %20 azalma olduğu görülmüştür. Çevre sıcaklığının kombine çevrim santraline de doğrudan bir etkisinin olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kombine çevrim, performans analizi, brayton çevrimi, rankine çevrimi.

Performance Analysis of Natural Gas Combined Cycle Power Plant

ABSTRACT

In this study, the first law analysis of the thermodynamics was applied using the data of a real gas-fired combined cycle power plant. The net power outputs of the system are calculated for the Brayton cycle and Rankine cycle as 48 MW and 12 MW respectively and the effect of changing environmental conditions on the system was examined. It is calculated that the gas turbine has an average efficiency of 38% and the combined cycle has 48% efficiency. With an increase in ambient temperature of 45 °C, the system has 22% reduction in net power, while the power required for compression in the compressor section has also increased. As the ambient temperature increased, there was a 20% reduction in specific fuel consumption in the direction of the decrease in air flow entering to the compressor. It has also been revealed that, the environmental temperature has a direct effect on the combined cycle power plant.

Keywords: Combined cycle , performance analysis, brayton cycle , rankine cycle

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle, enerji ihtiyacı ulusal ve uluslararası gündemde oldukça önemli bir yer tutar. Enerji kaynaklarının tükenebilir oluşu ve çevresel etkiler sebebiyle; Günümüzde ülkeler için güvenli, yeterli miktarda, ucuz ve temiz enerji üretmek, ekonomik ve sosyal hayatın temel problemleri arasında yerini almaktadır. Enerji ihtiyacının her geçen gün artması ve sanayileşme hedefleri gerçekleştirilirken önemli çevre sorunlarının ortaya çıkmış olması gibi nedenlerle bütün dünyada birincil yakıt kaynaklarından mümkün olan en yüksek oranda yararlanma eğilimi önem kazanmıştır. Sanayisi, ekonomisi ve nüfusu ile hızla büyümekte olan ülkemizde de enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Üretilen enerjinin yüksek verimle kullanılması, mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra atık enerji kaynaklarına ait potansiyelin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır [1-2-3].

İşletmelerde elektrik ve ısı enerjilerine aynı anda ihtiyaç duyuluyor olması ve özellikle elektrik enerji elde edilmesinden sonra atık gazların önemli miktarda ısı enerjisi içeriyor olmaları aynı tesis içerisinde ısı ve elektrik enerji ihtiyaçlarının birlikte karşılanması alternatifini ortaya çıkarmıştır. Bu uygulamanın ardında yatan temel düşünce, güç santrallerinde çevreye atılan ısının yararlı bir amaca yönlendirilmesidir. Böylece birincil enerji daha etkin kullanılır ve bunun yanı sıra çevreye atılan karbondioksitin ve diğer zararlı gazların azaltılması ile sera etkisini azaltır [4-5].

Kombine güç çevrimleri gaz ve buhar türbinlerinin birlikte kullanıldığı çevrimlerdir. Kombine güç çevrimi, temel olarak Brayton çevriminin yüksek sıcaklıklarda çalışmasının sağladığı kazançlardan yararlanmak ve egzoz gazlarıyla atılan ısı enerjisini geri kazanarak bu enerjiyi buharlı güç çevrimi gibi bir alt çevrimde ısı kaynağı olarak değerlendirmek fikrinden hareketle ortaya çıkmıştır. Kombine güç çevrimleri geçen yüzyılın başlarından beri tasarlanan sistemler olmasına rağmen ilk kombine çevrim santralının 1950'de kurulmuş, daha sonra hızla artan uygulamaları ile günden güne gelişim

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : okaraagac@sinop.edu.tr

göstermektedir. Bu çevrimde egzoz gazlarının enerjisinden bir ısı değiştiricisi yardımıyla alt çevrimde buhar üretiminde faydalanılır. Alt çevrimde ara ısıtma ve ara buhar alma işlemleri de yapılabilir [6].

Kombine enerji üretimi, termik santral, jeotermal ve hidroelektrik gibi elektrik üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında düşük maliyetli yatırımı, daha kısa kuruluş süresi ve bunlarla birlikte çevre kirliliğinin yanı sıra giderek artan yakıt çeşitliliğine bağlı olarak dünya çapında tipik güç ve ısı üretim seçeneklerinin yerini alacak cazip bir alternatif olarak bilinmektedir [7]. Kombine çevrimli santraller yüksek verim ve güç sunmanın yanında esnek işletme koşullarına uygun, çabuk devreye alınabilen, tam yük ve değişken yük durumlarına kolay adapte olabilen, hatta değişken yük durumlarında da yüksek verimle çalışma özelliklerine sahiptirler [8].

Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ünver ve ark. (2005) tarafından doğal gaz yakıtlı bir kombine çevrim güç santralının performans parametrelerinin değişimi ve değişim miktarları yük durumuna ve çevre koşullarına bağlı olarak termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmalarında sistemi oluşturan her bir üniteye ait faydalı güç, tersinir güç, tersinmezlik değerleri ve sistemin genel verimlerini hesaplamışlardır. Karaali ve Öztürk (2007) tarafından kojenerasyon sistemleri için düşünülen iyileştirme yöntemlerinden, yakıt ve yanma havasının ön ısıtılması, sistemden üretilen buharın yanma odasına enjeksiyonu ve kompresör giriş havasının soğutulması yöntemlerini örnek alan kojenerasyon sistemine farklı durumlar için uygulamışlardır. Kojenerasyon tesisindeki net elektriksel güç karşılaştırıldığında; en iyi iyileştirme yönteminin yakıt ve havanın ön ısıtılması yönteminin olduğu ikinci metodun yanma odasına buhar püskürtme yöntemi olduğunu hesaplamışlardır. Rahim ve Gündüz (2013) tarafından "Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama" adlı çalışmada tasarladıkları bir ısı-güç (kojenerasyon) çevrim sistemine termodinamiğin birinci ve ikinci yasası (ekserji analizi) uygulanarak, santraldeki kayıpları belirlemeye çalışmışlardır. Pusat vd. (2014) tarafından "Gaz Türbinlerinde Giriş Hava Debisinin Hesaplanması" adlı çalışmada gaz türbinlerinde kompresör giriş havası kütleli debisinin hesaplanmasında kullanılabilir bir yöntem geliştirmişlerdir. Hesap yöntemi temel olarak, yanma odasındaki yanma denklemlerine ve baca gazı emisyon cihazları tarafından alınan ölçüm değerlerini kullanmışlardır. Bu yöntem kullanarak gaz türbinleri için kompresör giriş hava kütleli debisini pratik bir şekilde hesaplayabilmişlerdir. Boyaghchi ve Molaie (2015) tarafından ileri ekserji analizi ve kanal tipi brülörlü gerçek bir kombine çevrim santralının optimizasyonu yapılmıştır. Vandani vd. (2016) yılında yapılan çalışmada belirli bir kombine çevrim santralinde doğal gaz yerine dizel yakıtın kullanımının ekserji, ekonomik ve çevresel etkileri incelenmiştir. Noussan vd.

tarafından üç üniteli bir kombine çevrim santralının birkaç yıllık saatlik verileri üzerinden detaylı bir analiz yapılmıştır. Gaz türbininin kısmi yüklerde verim eğrisi elde edilmiş, daha düşük yüklerde çevrim verimindeki azalış gösterilmiştir. Hosseini vd. (2017), tarafından kombine çevrimli bir elektrik üretimi tesisinde optimum performans koşulları sağlamak için gaz türbini sonrası ek ateşleme sistemi kullanılarak çeşitli parametreleri araştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada bu modelin kombine çevrim enerji santralının verimliliğinin yaklaşık % 6 oranında arttığını ve CO₂ emisyonunun % 5.63'e kadar düştüğünü göstermiştir. Maliyet değerlerinin bu uygulama sayesinde % 1'den az olduğu ve maliyetteki çeşitliliklerin tasarım noktası maliyetine eşit veya daha düşük olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada, 60 MW kurulu güce sahip gerçek bir kombine çevrim santralinden alınan veriler doğrultusunda sistemin birinci (enerji) yasa analizi yapılmış, çevre koşullarındaki değişimin sistemin performansını hangi oranlarda etkilediği ortaya konulmuştur. Analiz ve hesaplamalar yapılırken Engineering Equation Solver (EES) isimli paket bilgisayar programı kullanılmıştır. Ayrıca değişen çevre koşullarının sistem verimlerine etkileri incelenmiştir.

2. KOMBİNE DOĞAL GAZ ÇEVİRİM SANTRALI (NATURAL GAS COMBİNE CYCLE POWER PLANT)

Termodinamik olarak kombine çevrim Brayton üst çevrimi ile bir Rankine alt çevriminden oluşmaktadır. Brayton çevriminden açığa çıkan egzoz gazındaki atık ısı Rankine çevrimi için ısı kaynağıdır. Kombine çevrim, gaz türbininin yüksek giriş sıcaklığı ile buhar türbinin düşük çıkış sıcaklığı avantajını bir araya getirerek yüksek verimli güç üretimini sağlar. Bu sistemle ısı talepleri istenilen buharın termodinamik özelliklerine göre ya doğrudan atık ısı kazanından ya da buhar türbininden çekilen buhar ile karşılanabilir.

Atık ısıdan yararlanan bu sistemlerde elektrik üretimini arttırmak için bir buhar türbinine ısı ve güç talep durumuna göre kısmen veya tamamen gönderilebilir. Böyle bir tasarım gaz türbini sistemlerinde sıkça uygulanmaktadır. Kombine çevrimler yakıt enerjisinin % 40 ya da daha fazlasını elektriğe çevirebilmektedir. Eğer ilave yanma kullanılıyorsa kombine sistem değişen ısı ve elektrik talebini karşılama esnekliğine sahiptirler.

Doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santralının seması şekil 1'de gösterilmiştir. Çevre koşullarındaki hava, kompresör tarafından emilerek sıkıştırılır. Sıkıştırılan havanın basıncı ve sıcaklığı artar. Basıncı ve sıcaklığı artmış olan havayla yakıt sabit basınçta yanmanın meydana geldiği yanma odasına yönlendirilir. Yanma sonunda oluşan yüksek sıcaklıktaki gaz genişletilerek gaz türbininde elektrik enerjisine dönüştürülür. Gaz türbininin egzozundan çıkan yüksek sıcaklıktaki gazlar atmosfere atılmadan önce atık ısı buhar kazanında buhar ve sıcak su üretmek için kullanılır. Burada üretilen kızgın su buharı, buhar türbinine gönderilerek türbinin

dönmesi sağlanır. Elde edilen bu mekanik enerji bir mil ile jeneratörü tahrik eder ve elektrik enerjisi elde edilir.

Sistem analizi sırasında yapılan kabuller:

- Tüm sistem elemanları kararlı rejim şartlarındadır.
- Hava ve egzoz gazları için ideal gaz kabul edilmiştir.
- Yanma reaksiyonları yanma odasında tamamlanmıştır.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Kompresöre havanın çevre şartlarında girdiği kabul edilmiştir.

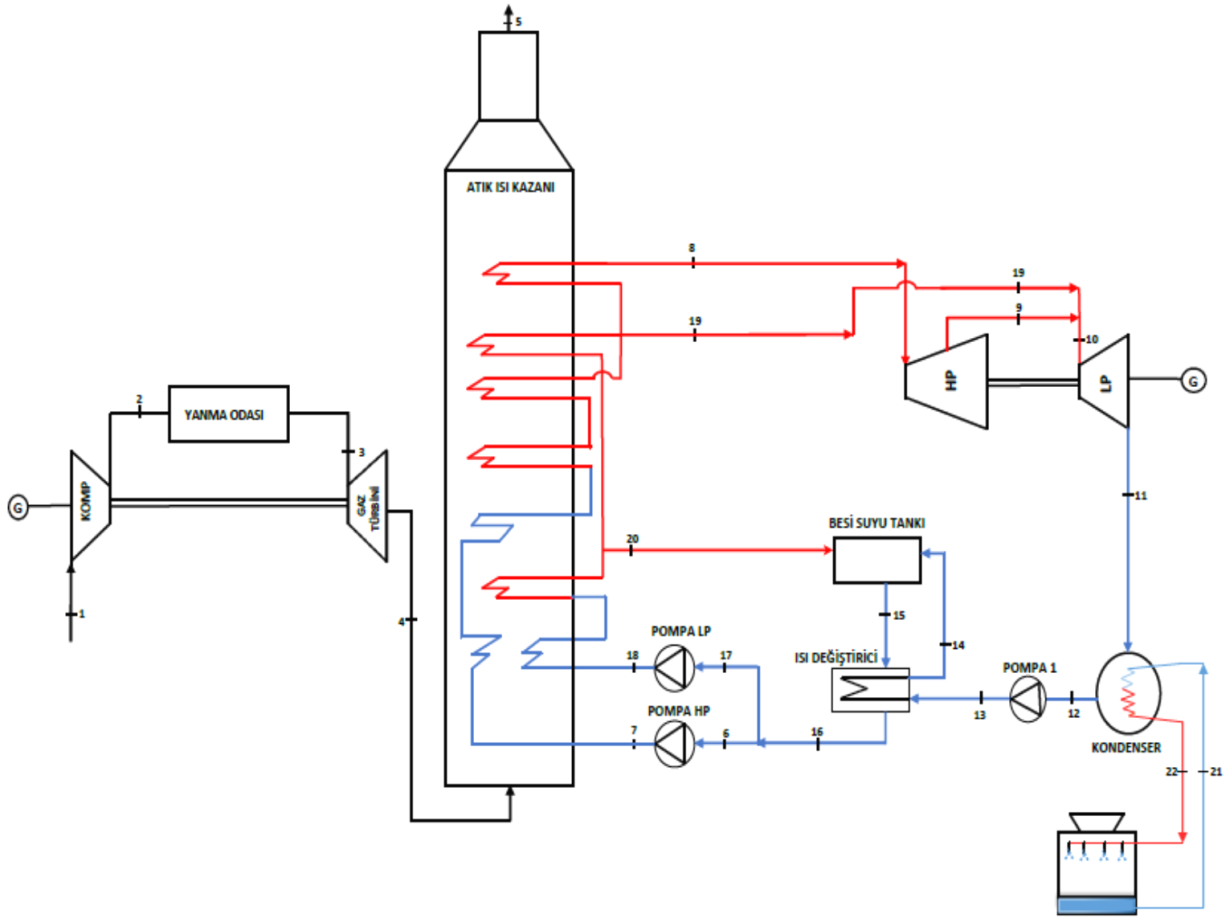
yazılabilir. Sürekli akışlı açık sistemler için kütle korunumu prensibi (1) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (1)$$

Burada \dot{m} akışkanın kütleli debisini ifade etmektedir. Enerji dengesi için, sistemin her bir elemanına termodinamiğin birinci kanunu uygulanır ve enerji dengesi (2) numaralı denklem ile ifade edilmektedir.

$$\dot{Q} + \sum(\dot{m}h)_{giren} = \dot{W} + \sum(\dot{m}h)_{çıkan} \quad (2)$$

Burada \dot{Q} ısı enerjisi, \dot{W} işi ve h entalpiyi ifade



Şekil 1. Atık Isı kazanlı kombine güç sistemi (Combined power system with waste heat boiler)

3.TERMODİNAMİK ANALİZ (THERMODYNAMIC ANALYSIS)

Termal sistemlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için termodinamik verimsizliklerin kaynağı ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılması gereklidir. Kapalı bir sistemin toplam enerjisi çevresiyle sadece ısı veya iş etkileşimi sonucunda değişebilir. Buna bağlı olarak kapalı bir sistemin hal değişimi sırasındaki toplam enerji değişimi, sistem sınırlarında gerçekleşen net ısı ve iş geçişine eşittir.

Yukarıdaki varsayımlarla herhangi bir kararlı rejim sistemi için kütle, enerji dengesi aşağıdaki gibi

etmektedir. Herhangi bir sistem için enerji verimliliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\eta = \frac{\text{Çıkan Enerji}}{\text{Toplam Giren Enerji}} \quad (3)$$

Özgül yakıt sarfiyatını aşağıdaki denklemde verilmiş olup burada \dot{m}_y yakıtın debisini, \dot{W}_{net} ise kombine çevrim santralinde üretilen net gücü ifade etmektedir.

$$\text{ÖYS} = \frac{3600\dot{m}_y}{\dot{W}_{net}} \quad (4)$$

Yukarıda verilen denge denklemleri sistemin her elemanına uygulandığında aşağıda verilen eşitlikler elde edilir.

Kompresör

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (5)$$

$$W_k = \dot{m}_1(h_2 - h_1) \quad (6)$$

Yanma Odası

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_y = \dot{m}_3 \quad (7)$$

$$Q_g = \dot{m}_3 h_3 - (\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_y h_y) \quad (8)$$

Gaz Türbini

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (9)$$

$$W_{GT} = \dot{m}_3(h_4 - h_3) \quad (10)$$

Atık Isı Kazanı

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (11)$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (12)$$

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{19} + \dot{m}_{20} \quad (13)$$

$$\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_{18} h_{18} = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_{19} h_{19} + \dot{m}_{20} h_{20} + Q_k \quad (14)$$

Burada Q_k kayıp olan ısıyı ifade etmektedir.

Buhar Türbini

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (15)$$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (16)$$

$$W_{BT} = (\dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_9 h_9) + (\dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_{11} h_{11}) \quad (17)$$

Kondenser

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} \quad (18)$$

$$\dot{m}_{21} = \dot{m}_{22} \quad (19)$$

$$Q_y = (\dot{m}_{11} h_{11} - \dot{m}_{12} h_{12}) + (\dot{m}_{21} h_{21} - \dot{m}_{22} h_{22}) \quad (20)$$

Isı Değiştirici

$$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14} \quad (21)$$

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16} \quad (22)$$

$$\dot{m}_{13} h_{13} + \dot{m}_{15} h_{15} = \dot{m}_{14} h_{14} + \dot{m}_{16} h_{16} + Q_k \quad (23)$$

Besi Suyu Tankı

$$\dot{m}_{14} h_{14} + \dot{m}_{20} h_{20} = \dot{m}_{15} h_{15} + Q_k \quad (24)$$

Kondenser Pompası

$$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} \quad (25)$$

$$W_{p1} = \dot{m}_{12}(h_{13} - h_{12}) \quad (26)$$

Yüksek Basınç Pompası

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 \quad (27)$$

$$W_{HP} = \dot{m}_6(h_7 - h_8) \quad (28)$$

Alçak Basınç Pompası

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18} \quad (29)$$

$$W_{LP} = \dot{m}_{17}(h_{18} - h_{17}) \quad (30)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA (RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada 15 °C çevre sıcaklığı ve 101.325 kPa basınçta tasarımı yapılan doğal gazlı kombine çevrim santraline yanma odasında hava ile yanan yakıt 1200 °C'de türbine girmekte ve 460 °C türbinden çıkmaktadır. Gaz türbininden çıkan eksoz gazı atık ısı kazanında ısısını rankine çevrimini aktararak bacadan 101 °C'de havaya atılır. Çizelge 1'de verilen genel sistem verilerinden görüldüğü gibi rankine çevrimi yüksek ve alçak basınç olmak üzere iki farklı basınçta çalışmaktadır. Yüksek basınç hattındaki kızgın buhar türbine birinci kademedden girerek türbin kanatlarını döndürmeye başlar. Alçak basınç hattı ise 4. kademedden türbine girer. Yüksek basınç ve alçak basınç hattı burada birleşerek enerjisi türbin kanatlarına aktarır. Elde edilen mekanik enerji jeneratör milini tahrik ederek elektrik enerjisi üretilir.

Çizelge 1. Sistem verileri (System Data)

Parametre	Birim	Değer
Gaz türbini modeli	-	LM 6000
Yakıt türü	-	Doğal Gaz
Türbin giriş sıcaklığı	°C	1200
Türbin çıkış sıcaklığı	°C	460
Basınç oranı	-	1/29
HP, AIK çıkış basıncı	bar	57
LP, AIK çıkış basıncı	bar	4.2
Atık gaz AIK giriş basıncı	bar	1.013

Kombine çevrim Santralinin gerçek çalışma verileri kullanarak her nokta için EES (Engineering Equation Solver) paket programıyla bilgisayar ortamında çözümlenmesi yapılmış olup kütle, sıcaklık, basınç, entalpi ve enerji değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kombine çevrim santralının noktasal olarak bulunan değerler (Point values of the combined cycle plant)

Noktalar	m (kg/s)	T (°C)	P (KPa)	h (kJ/kg)	E (KW)
1	133	25	99.28	293.4	39013
2	133	532.2	2920	829.4	110282
3	135.4	1200	2820	1607	217430
4	135.4	458.1	101.3	747.5	101169
5	135.4	100	101.3	374.1	50630
6	11.92	63.62	120	266.4	3175
7	11.92	65	5561	276.7	3298
8	11.92	421.2	5561	3238	38597
9	11.92	223.8	423	2909	34670
10	15.25	223.8	423	2909	44355
11	15.25	44.48	7.7	2334	35599
12	15.25	44.48	7.7	170.8	2605
13	15.25	46	420	193	2943
14	15.25	95.1	320	398.6	6078
15	19.5	107	140	448.6	8749
16	19.5	63.62	120	266.4	5194
17	7.58	63.62	120	266.4	2019
18	7.58	65	836	272.7	2067
19	3.33	223.8	423	2909	9685
20	4.25	155	600	654	2779
21	1053	27.6	400	116	122153
22	1053	35.3	300	148.1	155972

Bu veriler ve termodinamik denge denklemleri kullanılarak kombine çevrim sisteminin termodinamik analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 25 °C çevre sıcaklığı ve 101.325 kPa basınçta gaz türbini gücü, buhar türbini gücü, gaz türbini ve net elektriksel verimi çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kombine çevrim santralının çıkış verileri (Output data of the combined cycle plant)

Sistem elemanı	Değer	Birim
GT	45	MW
ST	12	MW
Toplam Güç	57	MW
Net Elektrik verimi	48	%
GT Elektrik verimi	38	%
HRSB verimi	0.9	%

Çizelge 4'de -5 °C ile 40 °C arasındaki çevre sıcaklıklarında santral çalışırken alınan sistemin yakıt debisi, yoğuşturucu basıncı, yüksek basınç hattı atık ısı kazanı çıkış sıcaklığı, alçak basınç atık ısı kazanı çıkış sıcaklığı, gaz türbini eksoz çıkış sıcaklığı, gaz türbini net gücü, buhar türbini net gücü, sistem toplam net gücü verilmiştir. Brayton çevrimi çevre sıcaklığının artmasından etkilenerek yakıt debisi, ürettiği güç ve egzoz çıkış sıcaklığı değişirken, Rankine çevrimi bu değişikliklerden büyük oranda etkilenmemiştir. 40°C'de giren yakıt miktarı -5 °C'ye göre % 20 daha az yakıt tüketilirken sistem net gücü % 21.3 civarında azaldığı görülmektedir. Ayrıca kombine çevrim santrali 10 °C sıcaklıkta gaz türbininden ve buhar türbininden en yüksek gücü elde etmiştir.

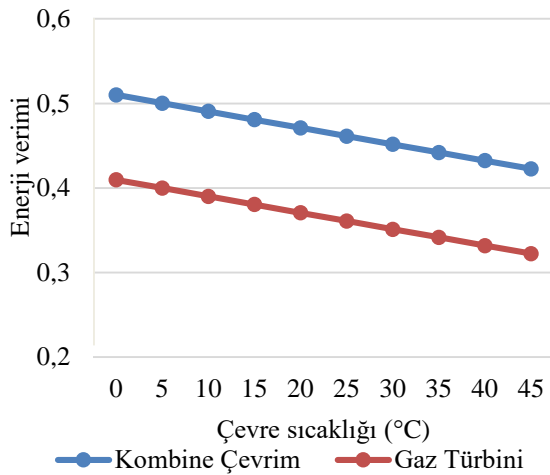
Çizelge 4'de çevre sıcaklığıyla üretilen gücün değişimi incelendiğinde çevre sıcaklığının artmasıyla birlikte gaz türbininde üretilen gücün düştüğü, buhar türbininde üretilen gücün çok fazla etkilenmediği görülmektedir. Gaz türbininde üretilen güçteki azalmanın sebepleri; kompresöre giren havanın sıcaklığıyla birlikte özgül hacminin de artması sonucu kompresörde harcanan enerjinin artmasıdır, ısınan havanın yoğunluğunun düşmesiyle birlikte debisindeki azalma ($\dot{m} = \rho v$) azalan debiyle üretilen gücün düşmesidir. Bu durumda artan sıcaklık ile gaz türbini çevrimine giren havanın kütleli debisi azalmakta dolayısıyla türbinden alınabilecek güç miktarı da azalmaktadır. Havanın kütleli debisindeki azalma egzoz gazlarının kütleli debisinde bir azalmaya neden olmakta ve bunun sonucu olarak buhar kazanına

Çizelge 4. Çevre sıcaklığına göre çıkış verileri (Output data according to ambient temperature)

Parametre	Çevre kuru termometre sıcaklığı (°C)						
	-5	0	10	20	25	30	40
Çevre yaş termometre sıcaklığı (°C)	-6.7	-2.2	6.5	15.1	17	23.8	32.5
Yakıt debisi (kg/s)	2.75	2.8	2.86	2.7	2.6	2.5	2.19
Yoğuşturucu basıncı (bar)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.077	0.08	0.09
HP,AIK çıkış sıcaklığı (°C)	413.5	422.5	425	425	421	425	425
LP,AIK çıkış sıcaklığı (°C)	236.7	235.1	232	230	223	229.2	228.1
Gaz Türbini egzoz çıkışı (°C)	417.7	427.3	446	453	460	459.2	463.2
Buhar Türbini çıkış gücü (MW)	12	12.65	13.6	13.3	12	12.74	11.690
Gaz Türbini çıkış gücü (MW)	49	49.6	50	47	45	43.1	36.487
Sistem toplam çıkış gücü (MW)	61	62	63.6	60.3	57	55.84	48.177
ÖYS (kg/kWh)	0.162	0.162	0.161	0.161	0.164	0.161	0.163

daha az güç verildiğinden buhar türbininden alınan gücü de azalmaktadır.

Çevre sıcaklığının gaz türbini ve kombine çevrim santral verimine etkisi şekil 2’de verilmiştir. Gaz türbini ve



Şekil 2. Çevre sıcaklığının sistem verimine etkisi (Effect of ambient temperature on system efficiency)

kombine çevrim santral veriminin, çevre sıcaklığının artmasıyla birlikte azaldığı görülmektedir. Verimin çevre sıcaklığıyla azalmasının nedeni, çevre sıcaklığının

0°C’den 45°C’ye yükselmesiyle sisteme giren havanın özgül hacminin de artması ve bunun sonucunda kompresörde harcanan gücün artmasıdır. Bu azalma türbinden üretilen gücü etkilediği gibi gaz türbini verimini de doğrudan etkilemektedir. Değişen çevre sıcaklığının gaz türbini verimine etkisi grafikten görüldüğü gibi 45 °C artmasıyla % 21’lik azalma meydana gelmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Elde edilen bulgular ve grafikler incelendiğinde sistem noktasal verileri ve termodinamik denge denklemleri kullanılarak Brayton çevrimi gücü, Rankine çevrimi gücü ve kombine çevrim gücü sırasıyla 45,12 ve 57 MW bulunmuş, Brayton çevrimi, Rankine çevrimi ve kombine çevrim verimleri sırasıyla %38, %24 ve %48 bulunmuştur. Çevre sıcaklığının artmasıyla türbinden alınabilecek güç miktarı azalmaktadır. Ayrıca, kompresör kısmında sıkıştırma işi için gereken güç de artmaktadır. Dolayısıyla gaz türbini çevriminden üretilen net elektrik gücü azalmaktadır. Havanın kütleli debisindeki azalmaya neden olmakta ve bunun sonucu olarak buhar kazanına daha az güç verildiğinden buhar türbininden alınan güç azalmaktadır. Aynı zamanda çevre sıcaklığının sistem verimine de doğrudan bir etkisinin olduğu ortaya konmuştur.

Çizelge 4’de Çalışmada elde edilen sonuçlarını literatürde yer alan benzeri çalışmalar ile kıyaslanması yapılarak varsa farklar ortaya koyulmaya çalışılmış ve yorumlanmıştır.

- [5] “Türkiye’de Enerji ve Geleceği”, İTÜ, İstanbul, (2007),
 [6] Çengel, Y.A., Boles, M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Çev. Pınarbaşı A. Güven Kitabevi **Yayıncılık**, 583s, İzmir, (2002).

Çizelge 4. Karşılaştırma (Comparison)

Sistem elmanı	Boyaghchi (2015)	Rahim (2013)	Ünver (2005)	Bu çalışmada	Fark 1. (%)	Fark 2. (%)	Fark 3. (%)
Toplam güç, W_{net} (MW)	420	57	700	60	85,7	5	91,4
Gaz türbini verimi η_{GT}	33	31,7	37	38	13,1	16,5	2.63
Buhar türbini verimi η_{BT}	34	-	30	24	29	-	20
KÇ enerji verimi η_1	52	47,5	53	48	7,6	1	9,4

Kombine çevrim güç santrallerinde belirlenen bazı parametreler için Referans 1. Boyaghchi ve Molaie (2015), Referans 2. Rahim ve Gündüz (2013) ve Referans 3. Ünver ve Kılıç (2005) yaptıkları çalışmalarla karşılaştırmaları çizelge 4’de gösterilmiştir. Referans çalışmalar ile kıyaslanmanın daha iyi anlaşılabilmesi için referans çalışmalara ait toplam güç üretimi (W_{net}), gaz türbini verimi (η_{GT}), buhar türbini verimi (η_{BT}) ve kombine çevrimin toplam verimi (η_1) Çizelge 4’de verilerek yapılan çalışma ile arasındaki farklar ortaya koyulmuştur. 60 MW toplam güç kapasitesine sahip kombine güç çevrimi ile ilgili yapılan çalışma diğer çalışmalar ile kıyaslandığında en fazla verim farkının %29 ile 1. Referans ile kıyaslanması durumunda buhar türbini veriminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun 1. referans çalışmasındaki toplam güç üretimi kapasitesinin çok fazla olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Yapılan kıyaslamada en az farkın ise %1 ile 2. Referans ile kıyaslanması durumunda kombine çevrimin toplam veriminde olduğu gözlemlenmiştir. Farkın bu denli az olması 2. Referans çalışmasının toplam güç üretimi kapasitesinin yapılan çalışmaya çok yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Varınca, K.B., Gönüllü, M.T., “Kojenerasyon Sistemlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, (2002).
 [2] Karakaş, K., “Doğal Gaz ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve Ekonomik Analizi”, **Yüksek Lisans Tezi**, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).
 [3] Ünver Ü., Kılıç M., “Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi” , **Mühendis ve Makina**, 46(545):47-56, (2005).
 [4] N. Akdeniz, C.D. İlhan, İ. Üçgül, M. Acar, M. Bayhan, “Doğal Gazlı Kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi ve Süleyman Demirel Üniversitesi Örneği”, 8. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 901-911, (2007).
 [5] Dincer I, Rosen MA, “Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 9: 169-189, (2005)
 [6] Rahim M.A., Gündüz D, “Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama”, **Tübvav Bilim Dergisi**, 6(2): 19-27, (2013).
 [7] Hosseini, S.E., Barzegaravval, H., Ganjehkaviri, A., Wahid, M.A., Mohd Jaafar, M.N., “Modelling and exergoeconomic-environmental analysis of combined cycle power generation system using flameless burner for steam generation”, **Energy Conversion and Management**, 135:362-372, (2017).
 [8] Karaali R., Öztürk İ.T., “Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Verimini İyileştirme Yöntemlerinin İncelenmesi”, **Mühendis ve Makina**, 49(577): 16-21, (2007).
 [9] Erdem H.H., Sevilgen S.H., Akkaya A.V., Çetin B., “Gaz Türbinlerinin Kısmi Yüklerdeki Birim Elektrik Üretim Maliyetinin Analizi”, **Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 23(1): 123-132, (2005).
 [10] Pusat Ş., Akkoyunlu M.T., Erdem H.H., “Gaz Türbinlerinde Giriş Hava Devisinin Hesaplanması”, **Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 32: 469-476, 2014.
 [11] Boyaghchi, F.A., Molaie, H., “Advanced exergy and environmental analyses and multi objective optimization of a real combined cycle power plant with supplementary firing using evolutionary algorithm”, **Energy**, 93: 2267–2279, (2015).
 [12] Amin M.K.V., Fatemeh J., Ramin B.B., “Exergic, economic and environmental impacts of natural gas and diesel in operation of combined cycle power plants” , **Energy Conversion and Management**, 109: 103–112, (2016).
 [13] Matteo J., Michel N., Alberto P., “Operational analysis of natural gas combined cycle CHP plants:Energy performance and pollutant emissions”, **Applied Thermal Engineering**, 100: 304–314, (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Acil direksiyon uyarı sistemi ile kaza önlenmesi: sürüş simülatörü yaklaşımı

Collision avoidance via emergency steering warning system: a driving simulator approach

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan ŞAHİN¹, Orhan ATABAY², Özgen AKALIN³

ORCID¹: 0000-0002-7943-1502

ORCID²: 0000-0002-3724-4864

ORCID³: 0000-0001-8136-214X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Şahin H., Atabay O. ve Akalın Ö., "Acil direksiyon uyarı sistemi ile kaza önlenmesi: Sürüş simülatörü yaklaşımı", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 327-333, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.428010

Acil Direksiyon Uyarı Sistemiyle Kaza Önlenmesi: Sürüş Simülatörü Yaklaşımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan ŞAHİN¹, Orhan ATABAY^{2*}, Ozgen AKALIN³

Istanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul, Türkiye
(Geliş/Received : 31.12.2017 ; Kabul/Accepted : 24.04.2018)

ÖZ

Bu çalışma, karayollarındaki aynı yönde ilerleyen araçların emniyetini iyileştirmek için bir Acil Direksiyon Uyarı Sisteminin (ADUS) uygulanabilirliğini analiz etmektedir. Önerilen sistem, aracın fiziksel sınırlarını ve sürücünün tepkisini göz önünde bulundurarak bir ses veya benzeri bir teşvik yardımıyla çarpışmayı önlemenin kararını vermeye yardımcı olmaktadır. Tipik simülasyon senaryoları MATLAB/Simulink ve IPG / CarMaker ortak simülasyon ortamlarında tasarlanmıştır. Önceden belirlenmiş senaryoda, öndeki taşıtlar sistemin yüklü olduğu taşıtın bulunduğu şeride karışık bir algoritma ile aniden geçer ve sonrasında sürücünün direksiyon ya da fren yaparak çarpışmayı önlemesi beklenir. ADUS sistemi, servis freni kullanılmasıyla kazanın kaçınılmaz olduğu tespit edildiğinde ve engelden kaçınmanın tek yolunun şerit değiştirmesi olduğu durumlarda sesli uyarı üretmektedir. Simülasyonlar, ADUS sistemi yüklü olan ve olmayan sürüş simülatörü kullanan bir grup katılımcı tarafından gerçekleştirilmiştir. ADUS sistemi katılımcıları bazı kritik trafik durumlarında avantajlı olabilecek daha erken ve yumuşak bir direksiyon manevrası yapmaya teşvik etmiştir. İstatistiksel sonuçlar, sesli uyarının sürücülerin reaksiyon sürelerini önemli ölçüde azalttığını ve önerilen çarpışma uyarısı sistemi ile sürücülerin bir dizi kazayı önleyebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: MATLAB/Simulink, direksiyon uyarısı, otonom araçlar, taşıt kontrol sistemleri, sürücü destek sistemleri.

Collision Avoidance Via Emergency Steering Warning System: A Driving Simulator Approach

ABSTRACT

This study analyzes the viability of an Emergency Steering Warning System (ESWS) to improve the safety of vehicles on highways traveling in the same direction. The proposed system evaluates the vehicle's physical limits, driver's reaction and assists in making the most logical decision to avoid a crash using a sound or a similar stimulus. Typical driving simulator events were designed in MATLAB/Simulink and IPG/CarMaker co-simulation environment. In the predetermined scenario, the leading vehicles suddenly move into the host vehicle's lane and the driver is expected to avoid crash by either steering or braking. The ESWS system generates a sound stimulus when it is determined that the crash is unavoidable with the use of service brakes and the only way to avoid the obstacle is steering. The simulation events were performed by a group of participants using a driver simulator with and without the ESWS system. The proposed ESWS encouraged participants to do an earlier and smoother steering maneuver which can be advantageous in some certain critical traffic situations. The statistical results showed that the sound stimulus reduced the drivers' reaction time significantly and a number of accidents can be avoided by the suggested crash warning system.

Keywords: MATLAB/Simulink, steering warning, autonomous control systems, vehicle control systems, advanced driver assistance systems

1. INTRODUCTION

Various active safety systems have been developed for collision avoidance such as emergency brake assist, stability control systems and anti-collision systems [1]. The significance of the active safety systems arises in unexpected situations, since drivers usually have longer reaction time in unexpected situations [2]. Therefore, active safety systems have an important role for mitigation or avoidance of a possible collision by a warning or an autonomously triggered steering and braking action [3].

Most active safety systems focus on controlling the longitudinal behavior of the vehicle in order to avoid

collision such as Forward Collision Warning (FCW) and Active City Stop (ACS). However, in some cases active longitudinal control may not be sufficient to avoid a collision [4]. If the relative speed between vehicles is more than 50 km/h, the distance required to avoid collision by a steering maneuver is less than the distance required to avoid collision by a braking maneuver [5]. Moreover, a single braking maneuver without steering was identified as the most frequently encountered first natural response for drivers, and a steering maneuver could be observed if a single braking maneuver is perceived as insufficient by drivers [6,7]. Therefore, first attempt of the drivers could be braking, and after then a combination of steering and braking even though a single steering maneuver could avoid a possible collision. The

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : atabay@itu.edu.tr

reason of this could be the lack of experience of the drivers for applying high lateral accelerations [8]. Driving simulators could provide significant information for design and development of active safety systems [8-10]. A steering warning system has been proposed in this study by considering whether a single braking maneuver is sufficient to avoid a possible collision.

In this study an Emergency Steering Warning System (ESWS) is proposed to reduce the drivers' response time and encourage drivers to avoid an obstacle by steering using a warning system with a sound stimulus if the relative speed between vehicles is above 50 km/h. The ESWS was designed to be activated if only a single braking maneuver is not enough to avoid a possible collision. If the ESWS is active it does not guarantee that the collision could be prevented via steering, however a steering maneuver is definitely necessary to avoid or mitigate a possible collision. The proposed ESWS was implemented to a driver simulator and a number of cases were designed. In the first case, the ESWS of the simulated vehicle was disabled so that participants used their own judgment for choosing steering or braking maneuvers. In the other case, the ESWS was activated so that participants were prompted by a sound stimulus to steer away where the collision is determined to be inevitable. The aim of this study is to investigate the viability of the proposed ESWS in a driving simulator by carefully examining the effects on drivers' response time, number of possible collisions avoided and reduction of the average maximum absolute yaw rate.

The literature survey showed that most of the studies performed on emergency crash warning systems to date focus mainly on the longitudinal aspects of the problem, and the studies on lane change warning systems considering the lateral vehicle dynamics is very scarce. The originality of the proposed method is that when a possible crash is detected, the system evaluates the safe braking and steerable distances; if the crash avoidance using steering is more favorable than the driver is stimulated by a warning signal. The objective of this study is to understand the effectiveness and possible consequences of the proposed ESWS system using driving simulator tests. In the following sections, the training phase and the simulator experiments will be explained, the participants' information and the simulation results will be shown and the effects of the ESWS on human response and accident avoidance will be discussed in detail.

2. METHOD

The experiments were performed by using a fixed-base driving simulator. Thirty drivers were participated in the experiments. In a simulator room, the simulation was performed by using a video projector, force feedback steering wheel including an accelerator and a brake pedal. The software environment is co-simulation where the driver training and simulator experiments were prepared by using IPG/CarMaker and

MATLAB/Simulink together. The nonlinear tire model is embedded by default in the CarMaker software which is experimentally validated via various studies [11-15].

2.1. Training Phase

The road selected was double lane in one way. Host vehicle, which was driven by the participants was placed onto the left lane of the road by default. The width of each lane and longitudinal distance of the training path was designed as 3.5 meters and 10 km respectively to make enough exercises with a driving speed of 130 km/h. The coefficient friction of the road was set to be 1.0 as experienced on a dry asphalt. The overall mass of the host vehicle, height of the center of gravity, body roll moment of inertia, body yaw moment of inertia and body pitch moment of inertia are shown in Table 1. The maximum legal speed is 130 km/h in most countries in Europe. Therefore, the maximum legal speed was chosen as the speed of host vehicle in this study.

Table 1. Host Vehicle Parameters

Overall mass	1564	kg
Height of the center of gravity	0.5	m
Body roll moment of Inertia	485	kgm ²
Body yaw moment of Inertia	1850	kgm ²
Body pitch moment of Inertia	1640	kgm ²
Tire designation	RT 225 50 R17	[-]

During the training phase, participants were asked to perform a sudden braking to a complete stop while driving straight at a constant speed of 130 km/h. After they were adapted to braking, they were recommended to make lane change maneuvers during full braking to avoid collision to obstacles. Finally, they were recommended to make lane change maneuvers suddenly without braking at 130 km/h to avoid collision to vehicles. The training session lasted approximately for half an hour prior to the simulator experiments. It's known that direct experience is needed in addition to anticipatory information to benefit from a warning system in driver assistance technologies [16]. Therefore, drivers were informed and experienced about ESWS.

2.2. Simulator Experiments

In the experiments, 15 busses were placed onto the right lane of the road 150 meters apart. The distance between host vehicle and the closest bus was defined as 3 km at the beginning of simulation. The host vehicle was placed onto the left lane of road by default. When the simulation started, the busses accelerated by keeping same distance until they reached 40 km/h. Host vehicle was totally controlled by the participants as it is mentioned earlier. The participants were asked to accelerate until they reach 130 km/h constant speed on the left lane. The driving simulator is shown in Figure 1.



Figure 1. Driving Simulator

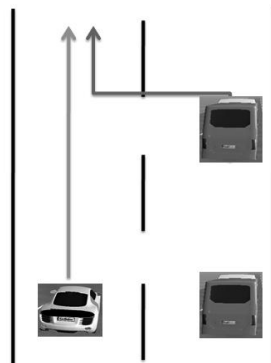


Figure 2. The cut in event of the busses.

In the first case, the ESWS of the vehicle was disabled however in the second case the ESWS was activated. The participants were adapted to the driving simulator after an intense training and therefore the results are free from learning effect. In both cases, the participants were advised to drive at a constant speed of 130 km/h which is the legal speed limit on highways in most countries unless they recognize an obstacle or a vehicle on their lane. One of the busses (selected randomly for each experiment) cut into the left lane with 5 m/s lateral velocity as it is illustrated in Figure 2. The distance between the preceding and host vehicle at the time the bus (preceding vehicle) started to change lane, has to be identified and must be the same value for all participants. ESWS sound is activated (second case) if a single braking maneuver is not sufficient to avoid a possible collision as it is illustrated in both Figure 3 and equations (1) & (2). For a warning instrument, a sound stimulus was selected. A modern car is equipped with many warning systems by sound, however in this study the host car was just equipped with ESWS. Therefore, it is not a problem for the driver to distinguish different sounds. The sound stimuli of ESWS was designed to be activated at the time the bus started to enter the lane of the host vehicle. For this reason, the distance at the time the bus started to enter the lane of host vehicle must be lower than the minimum distance required to avoid a possible collision via a braking maneuver. In order to identify the distance

between the preceding and the host vehicle at the time the bus started to change lane, the minimum distance required to avoid a possible collision via a braking maneuver could be identified at first.

$$d_{brake} = \frac{1}{2a_{x(mean)}} v_{relative}^2 + \tau_{response} v_{vehicle} \quad (1)$$

As it is shown in equation (1), d_{brake} is the minimum longitudinal distance from the preceding vehicle to avoid collision (last time to brake in Figure 3) via a braking maneuver [17]. It depends on the average longitudinal deceleration $a_{x(mean)}$, relative speed between vehicles $v_{relative}$ and response time $\tau_{response}$. The weather conditions were not taken into account in this study. The average longitudinal deceleration on a dry asphalt $a_{x(mean)}$ was calculated as 7.8 m/s² depending on the full braking exercise performed in IPG/CarMaker software. Actually, it was the minimum time calculated for brake pedal to reach 100% position (brake pedal is pressed) from 0% position (brake pedal is not pressed) without considering response time. The relative speed between vehicles was defined as 90 km/h according to the given speed values of the preceding and host vehicle. The response time $\tau_{response}$ depends on the simulation delay $\tau_{simulation}$ and reaction time $\tau_{reaction}$ as shown in equation (2).

$$\tau_{response} = \tau_{reaction} + \tau_{simulation} \quad (2)$$

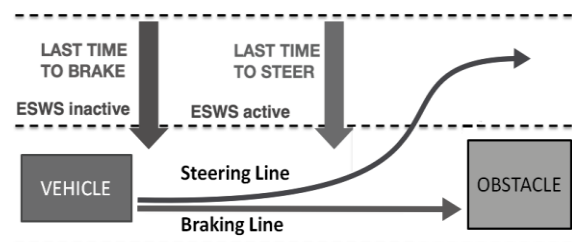


Figure 3. The activation principle of ESWS according to the last time to brake.

At first, the reaction time was selected as 160 ms which is in line with the studies as the mean reaction time of humans to a sound stimulus is 160ms [18-20]. Moreover, the average simulation delay was calculated as 250 ms according to MATLAB/Simulink and IPG/CarMaker software. A summation of the average simulation delay and mean reaction time gives 410 ms for the average response time depending on equation (2). The minimum longitudinal distance between the preceding and host vehicle was calculated as 50.31 meters to avoid collision via braking according to equation (1). This value stands for the last time to brake as shown in Figure 3. Therefore, the distance between vehicles at the time the bus started to change lane must be lower than 50.31 meters to activate the sound stimuli of ESWS at that time. As shown in Table 2, by considering the maximum range of

the long range radar (LRR) as 120 meters, the distance between vehicles at the time the bus started to change lane was proposed as 43.7 meters for the activation of ESWS, which is lower than 50.31 meters. As mentioned before, the collision could not be prevented via braking if the distance between vehicles at the time the bus started to a lane change maneuver is higher than 50.31 meters.

Table 2. The parameters to calculate the proposed distance between vehicles at the time the bus started to change lane

Average proposed driver response time	410	ms
Relative speed between vehicles (the preceding and host vehicle)	25	m/s
Calculated minimum distance required to avoid a possible collision avoidance via braking	50.31	m
Desired distance between vehicles at the time the bus started to change lane	43.7	m

In this study, the proposed distance and speeds of the preceding and host vehicle were constant before the activation of ESWS. On the other hand, all of them could be variable in the real traffic situations. Therefore, by considering mean deceleration value and response time, the activation of ESWS was coded as an embedded function in MATLAB/Simulink. This function depends on the relative speed and distance between vehicles which could be read from LRR as continuous variables in real-time in MATLAB/Simulink. Therefore, ESWS was also working with different speed values of the preceding and host vehicle in this study. On the other hand, to compare average maximum absolute yaw rate and average shortest distance for all participants, the

proposed distance and speeds of the preceding and host vehicle were selected as constant values.

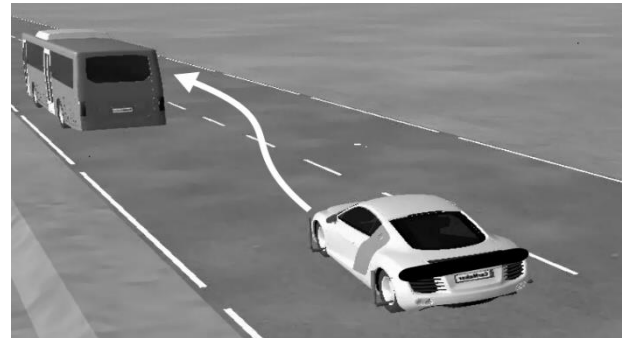


Figure 4. The necessity of an emergency steering maneuver for collision avoidance.

In both first and second cases after the bus cut into the left lane, the participants were free to steer and brake according to their experiences as it is illustrated in Figure 4. In the second case, the conditions were the same as first case except ESWS. Moreover, in the second case the frequency and loudness of the sound stimulus of ESWS was desired as 450 Hz and respectively 74 dB.

2.3. Decision Making

The activation principle of ESWS not only depends on the last time to brake as shown in Figure 2, but also depends on the other parameters as shown in Figure 5. The first condition for the activation of ESWS is passing the last time to brake as mentioned before. In addition to this, the relative speed between vehicles must be above 50 km/h for the activation of ESWS, since it could be still possible to avoid collision via steering after passing the last time to brake for that speed [5,17]

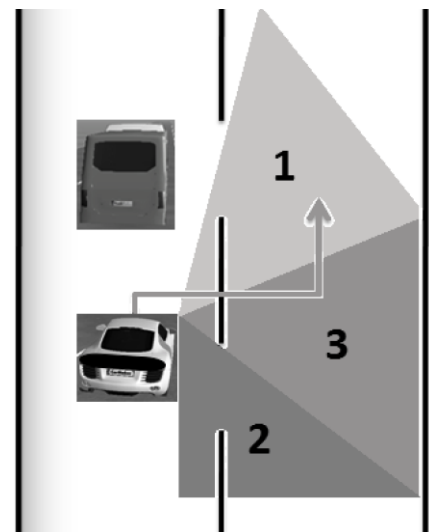
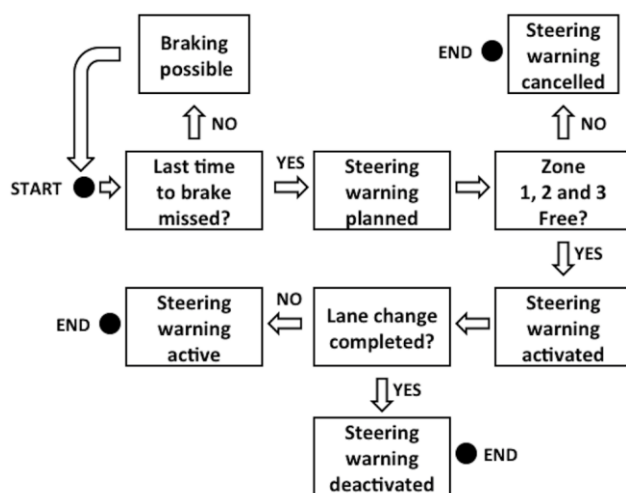


Figure 5. Decision making for the activation of ESWS

In order to fulfill this condition, Blind Spot Detection system (BSD) and related corresponding systems could be used simultaneously [21]. At first glance, it could be decided that it is still possible for a lane change if zone 1 is not free. On the other hand, if the speed of the vehicle travelling in zone 1 is lower than the preceding bus, the devastation of the collision could be even more. Therefore, the safest condition is to perform a steering maneuver if all zones are free. If there are more than two lanes on road, the driver may choose an appropriate direction which is free to steer via the assist of BSD. In a real unstructured setting the ESWS may include a steering vibration instead of a sound stimuli as haptic warnings lead to a faster driver reaction in steering [22].

2.4. Information About Participants

30 people participated in this simulation as mentioned before. The distribution of the distance driven by the participants per year could be seen in Figure 6. The average distance driven by the participants per year was calculated as 5771 km.

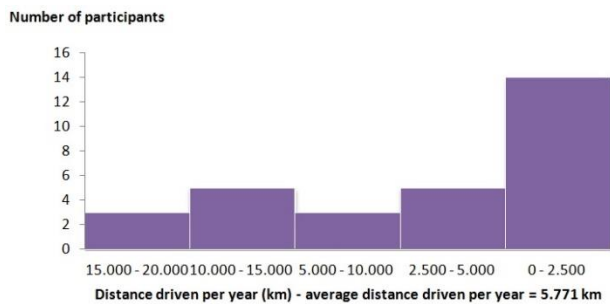


Figure 6. Distance driven by participants per year.

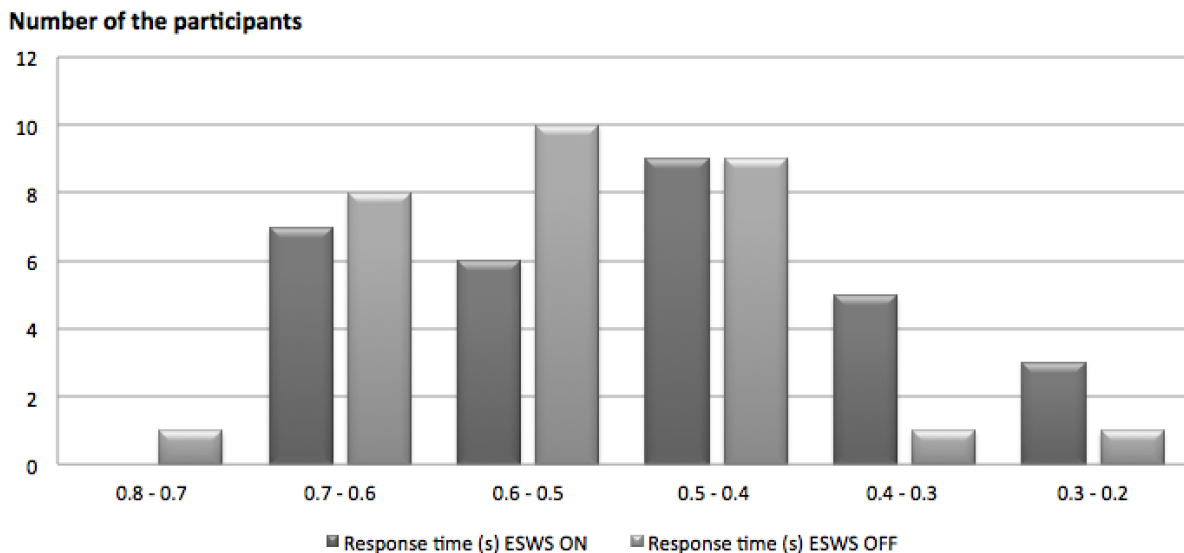


Figure 7. The distribution of the response time of the participants

3. RESULTS AND DISCUSSION

All of the simulator experiments (with/without ESWS) including the training phase were performed by using the same 30 participants. It took approximately 45 minutes for one of the participants to complete all of the experiments.

After all experiments were completed, the data were processed to determine:

- average response time
- average time to collision (TTC) at the end of the response time
- average maximum absolute yaw rate
- average shortest distance between vehicles at the end of the response time

as it is illustrated in Table 3. The average response time decreased by 71 milliseconds in the second case in which ESWS was active. This reduction in the response time provided an additional 1.77 meters distance to the participants for a better response such that the average maximum yaw rate decreased by 0.133 rad/s in the second case. Therefore, the total number of collisions decreased by 4 in the second case. The distribution columns of the response time of the participants could be seen in Figure 7. The peak value of the number of the participants during ESWS OFF and ESWS ON is 0.6 - 0.5 seconds and 0.5 - 0.4 seconds respectively. The number of the participants during ESWS ON is always higher than ESWS OFF between 0.5 and 0.2 seconds of the response time. However, the number of participants during ESWS OFF is always higher than ESWS ON between 0.8 and 0.5 seconds of the response time. The response time decreased for the 22 participants and increased for the 8 participants in case ESWS was activated. Therefore, 73% of the participants benefited from the proposed ESWS. The standard deviation of the average response time is 129 ms and 102 ms during

ESWS ON and OFF conditions respectively. According to confidence analysis, p value in the change of the average response times was calculated as 0.002 which is smaller than 0.05 to satisfy 95% confidence. The distance between vehicles at the time the bus (preceding vehicle) started to lane change was desired as 43.7 meters (which

is lower than 50.31 meters) to activate ESWS as soon as possible during the cut-in event, as shown in Table 3 and 4. On the other hand, number of collisions because of a rear-end crash (the crash between the front side of host vehicle and the rear side of the bus) increased by 6 in the second case. These same 6 participants had an accident because of the departure from road in the first case and they had an accident because of a rear-end crash in the second case.

Table 3. The simulation results

PARAMETERS	ESWS ON	ESWS OFF	DIFF.
Average measured response time	474 ms (129 ms st.dev)	545 ms (102 ms st.dev)	-71 ms
Average TTC at the end of the response time	1277 ms	1206 ms	+71 ms
Average maximum absolute yaw rate	0.458 rad/s	0.571 rad/s	-0.113 rad/s
Average shortest distance between vehicles at the end of the response time	31.92 m	30.15 m	+1.77m
Average longitudinal distance travelled during the response time	11.77 m	13.55 m	-1.77m
Distance between vehicles at the time the bus started to change lane	43.7 m	43.7 m	-
Total number of collisions	21	25	-4
Number of collisions because of a rear-end crash	11	5	+6
Number of collisions because of the departure from road	10	20	-10

Results show that the decrease of the average response time by 0.071 seconds, provided participants an additional 1.775 meters to do a smoother steering or braking maneuver when ESWS was active. The confidence analysis provides more than 95% confidence for the response times. The increase of TTC also resulted in the decrease of the total number of collisions by 4, when ESWS was active. The number of rear-end collisions seems to be increased by 6 when the ESWS

was active. However, these 6 participants all had an accident because of the departure from road in the first case and because of a rear-end crash in the second case. Therefore, the increase in rear-end collisions in the second case came from the departure collisions in the first case. The statistical results showed that some of the participants who experienced collision as a result of lane departure when the ESWS was OFF, experienced rear-end collision with the busses when the ESWS was activated. It should be examined whether the rear-end collision or departure from road is preferable. It could depend on the vehicle type in front (such as a truck, bus or car) to prefer a rear-end collision rather than departure from road. This is a case to be discussed during implementation of the system if possible and it is not in the scope of this study. Moreover, a collision mitigation system via braking is always suggestible with or without ESWS. The total number of collisions also depends on the distance between vehicles at the time the bus (preceding vehicle) started to change lane. If the distance is longer, the collision probability is less. The decrease in the total number of collision does not depend on learning effect because the participants tried ESWS on/off cases after a tough training. On the other hand, ESWS does not guarantee to avoid a collision. The aim of ESWS is the reduction of the response time to avoid a collision such as the most important aim of the warning systems. There are also many cases distracting the concentration of drivers while driving like having a conversation, talking on mobile and watching outside while driving. Therefore, warning systems have an important role for the driving safety by reducing the response time [3].

4. CONCLUSIONS

As a result, the proposed ESWS assisted to reduce the average response time and total number of collisions successfully in this study. The implementation of the system may include a haptic warning rather than a sound stimulus. On the other hand, ESWS was not sufficient to avoid most of the collisions since the proposed system is only a warning system which does not intervene the driver's actions. In order to avoid collisions, an emergency autonomous steering system could be designed by considering the response time according to the stability limits of the vehicle [3]. However, if driver is allowed to intervene this automatic steering maneuver, most of the drivers could possibly block this intervention according to a corresponding research [23]. Therefore, the autonomy level of the corresponding system must be determined in order to cooperate with the driver successfully. The simulations were performed on a fixed-base driving simulator which does not provide deceleration and acceleration feelings to the driver. Implementation of moving-base simulators are suggested for future studies so that combined braking and steering events can be replicated with high fidelity. In the performed simulations, the ABS was active to enable steering maneuvers during braking, however ESP was not used for simplicity. The response of the drivers

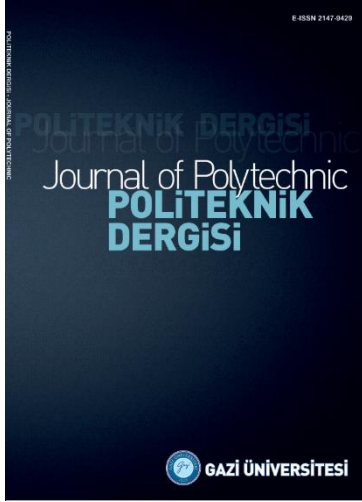
against the proposed steering warning system with an active ESP needs further attention.

5. ABBREVIATIONS

ESWS	Emergency Steering Warning
FCW	Forward Collision Warning
ACS	Active City Stop
LRR	Long Range Radar
BSD	Blind Spot Detection

REFERENCES

- [1] Thierry P., Kassaagi M. and Brissart G., "Active Safety Experiments with Common Drivers for the Specification of Active Safety Systems", 2001-06-0004. *Society of Automotive Engineers*, (2001).
- [2] Green M., "How long does it take to stop? Methodological analysis of driver perception-brake times", *Transportation Human Factors*, 2(3): 195-216, (2000).
- [3] Lee J., McGehee D., Brown T. and Reyes M., "Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator", *Human Factors*, 44: 314-335, (2002).
- [4] Choi C., Kang Y. and Lee S., "Emergency Collision Avoidance Maneuver based on Nonlinear Model Predictive Control", *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, (2012).
- [5] Jansson J. and Johansson J., "Decision Making for Collision Avoidance Systems", *SAE Technical Paper Series*, 2002-01-0403, (2002).
- [6] Markkula G., Benderius O., Wolff K. and Wahde, M., "A Review of Near-Collision Driver Behavior Models", *Human Factors*, 54: 1117-1143, (2012).
- [7] Wiacek C. and Najm W., "Driver/vehicle characteristics in rear-end pre-crash scenarios based on the general estimates system", *SAE Technical Paper Series*, 1999-01-0817, (1999).
- [8] Lechner D. and Van Elslande P., "Comportement du conducteur en situation d'accident [Driver behavior in accident situations]", *SAE Technical Paper Series*, (1997).
- [9] Engström J., Aust M. and Viström M., "Effects of Working Memory Load and Repeated Scenario Exposure on Emergency Braking Performance", *Human Factors*, 52: 551, (2010).
- [10] Itoh M., Horikome T. and Inagaki T., "Effectiveness and driver acceptance of a semi- autonomous forward obstacle collision avoidance system", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 54th annual meeting*, Santa Monica, CA, (2010).
- [11] Gurov A., Sengupta A. and Jonasson M. and Drugge L., "Collision avoidance driver assistance system using combined active braking and steering", *Proceedings of the 12th International Symposium on Advanced Vehicle Control*, Tokyo, (2014).
- [12] Lu Q., Sorniotti A., Gruber P. and Smet J., "H_∞ loop shaping for the torque-vectoring control of electric vehicles: Theoretical design and experimental assessment", *Mechatronics*, (2016).
- [13] Zhang N., Li P., Yin G., Chen N. and Li Y., "Application of hilbert transform in vehicle dynamics analysis", *IEEE International Conference on Vehicle Electronics and Safety*, Jeddah, (2016).
- [14] Gordon T., Gao Y. and Lidberg M., "Implementation of a modified Hamiltonian algorithm for control allocation", *Proceedings of the 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control*, Munich, (2016).
- [15] Wang Y. and Winner H., "Estimation of vehicle yaw moment of inertia in dynamic road test using Wheel Force Sensor", *Proceedings of the 24th Symposium of the International Association for Vehicle System Dynamics*, Graz, (2015).
- [16] Ruscio D., Ciceri M. and Biassoni F., "How does a collision warning system shape driver's brake response time? The influence of expectancy and automation complacency on real-life emergency braking", *Accident Analysis and Prevention*, 77: 72-81.11, (2015).
- [17] Eckert A., Hartmann B., Sevenich M. and Rieth E., "Emergency steer & brake assist: A systematic approach for system integration of two complementary driver assistance systems", *Continental AG*, Paper Number 11-0111, (2011).
- [18] Brebner J. and Welford A., "Introduction: an historical background sketch. Pages 1-23", *Reaction times*, Academic Press, New York, (1980).
- [19] Fieandt K., Huhtala A., Kullberg P. and Saarl K., "Personal tempo and phenomenal time at different age levels", *Reports from the Psychological Institute*, No. 2, University of Helsinki, (1956).
- [20] Eidehall A., Pohl J., Gustafsson F. and Ekmark J., "Toward Autonomous Collision Avoidance by Steering", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(1): (2007).
- [21] Maag C., Schneider N., Lübbecke T., Weisswange T. and Goerick C., "Car Gestures – Advisory warning using additional steering wheel angles", *Accident Analysis and Prevention*, 143-153, (2015).
- [22] Veldhuizen T., "Yaw rate feedback by active rear wheel steering", *[dissertation]*, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, (2007).
- [23] Benderius O., "Modelling driver steering and neuromuscular behaviour", *[dissertation]*, Chalmers: Chalmers University of Technology, (2014).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Gazbeton malzemesinden üretilmiş duvarların çelik lifli beton panellerle güçlendirilmesi: deneysel çalışma

Strengthening of walls produced from aerated concrete material with steel fibered concrete panels: experimental study

Yazar(lar) (Author(s)): Alper BÜYÜKKARAGÖZ¹, Nuri SEVİL², Yağmur KOPRAMAN³

ORCID¹: 0000-0003-1074-7637

ORCID²: 0000-0001-7061-3039

ORCID³: 0000-0001-9552-3039

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Büyükkaragöz A., Sevil N. ve Koprman Y., “Gazbeton malzemesinden üretilmiş duvarların çelik lifli beton panellerle güçlendirilmesi: deneysel çalışma”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 335-340, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.389644

Gazbeton Malzemesinden Üretilmiş Duvarların Çelik Lifli Beton Panellerle Güçlendirilmesi: Deneysel Çalışma

Araştırma Makalesi / Research Article

Alper BÜYÜKKARAGÖZ*, Nuri SEVİL, Yağmur KOPRAMAN

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 20.12.2017 ; Kabul/Accepted : 28.01.2018)

ÖZ

Yığma yapılarda duvarların deprem yükleri altında yetersiz yatay dayanım ve rijitliğe sahip oldukları için hasar görme olasılıkları oldukça yüksektir. Yığma duvarlara yeterli dayanım ve rijitlik kazandırılması için mantolama, katman ekleme vb. gibi farklı yöntemler uygulanarak pek çok deneysel çalışma yapılmıştır. Ancak bu yöntemlerin etkin olmalarının yanında, uzun bir yapım süresi gerektirmesi ve mimari görüntünün bozulmasından dolayı yeni bir uygulamanın geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, çelik lifli beton paneller kullanılarak yığma duvarların ucuz, kolay üretilebilir ve pratik bir biçimde güçlendirilmesi sağlanmıştır. Çalışma kapsamında, gazbeton (GB) kullanılarak üretilen toplam 4 adet duvardan 3'ü belli oranlarda çelik lif kullanılarak üretilmiş beton panellerle güçlendirilmiştir. Deneyler sonucunda; deney elemanları arasındaki dayanım, deformasyon ve enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazbeton, beton panel, güçlendirme, çelik lif.

Strengthening of Walls Produced From Aerated Concrete Material With Steel Fibered Concrete Panels: Experimental Study

ABSTRACT

Due to their insufficient lateral strength and rigidity under earthquake loads, the walls are vulnerable to damage in masonry buildings. Various methods such as jacketing and adding of layers, etc. have been studied for many years in order to improve lateral resistance and strength of the masonry walls. These methods are effective, however, they require a long application period and the implementation of these methods may cause loss of architectural functionality and deteriorate structural aesthetics. Therefore, the development of a new technique would be quite useful. In this study, masonry walls are strengthened with containing steel fibers, which are cheap, easy to produce and practical. This study presents the results of the tests on four walls built with aerated concrete (GB), three of which were strengthened symmetrically using by concrete panels with specified amount of steel fibers. The results of the experiments are discussed with regard to strength, deformation and energy dissipation capacity.

Key words: Aerated concrete, concrete panel, strengthening, steel fiber

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yığma duvarların güçlendirilmesi, son zamanlarda üzerinde çalışılmaya başlanılan oldukça önemli bir konudur. Literatürde bu konu ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [1-18]. 2007 yılında yürürlüğe giren en son Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) [19]'nde de tuğla dolgu çerçeveler için çeşitli güçlendirilme ve hesap yöntemleri verilmiştir.

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistemlerinden farklı olarak, taşıyıcı sistemi yığma olan binalarda tuğla v.b malzemelerden üretilmiş duvarlar, düşey yüklere karşı belirli bir dayanım sağlayarak yapıyı taşıyan ana unsurlardır. Bu tür yapıların yatay yönde etkiyen sismik

kuvvetlere karşı dayanımı, eksenel yüklere göre tasarlanan taşıyıcı duvarların kayma davranışının zayıf olması nedeniyle oldukça düşüktür. Yığma taşıyıcı

sisteme sahip binalar, yüksek deprem riski içeren bölgelerde teknolojik gelişmelere bağlı olarak pek tercih edilmeseler de halen Türkiye yapı stokunun yarısından fazlasının yığma taşıyıcı sisteme sahip binalardan oluştuğu bilinmektedir [20]. Taşıyıcı sistemine bakılmaksızın deprem riski bakımından can kayıplarının engellenebilmesi için tuğla v.b malzeme ile üretilen duvarların yatay yükler karşısındaki dayanımlarının artırılması, yapıların yatay yükler karşısındaki performansının iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı, yeterli yatay rijitliğe ve kesme güvenliğine sahip olmayan G4 tipi gazbeton ile imal

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : karagoz@gazi.edu.tr

edilmiş duvarlar için hızlı ve kolay uygulanabilen, etkili bir güçlendirme tekniğinin geliştirilmesidir.

2. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, G4 sınıfı gazbeton malzeme kullanılarak 900 mm yüksekliğinde ve 900 mm uzunluğunda 4 adet duvar imal edilmiştir. G4 sınıfı gazbeton düşey taşıyıcı duvar elemanları üretiminde kullanılan bir malzemedir.

Üretilen duvarlardan referans elemanlar dışındakilerinin her iki yüzüne 450 mm yüksekliğinde, 450 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığında belli oranda çelik lif katılarak üretilmiş olan beton paneller Sikadur 31 epoksi yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlardan önerilen güçlendirme tekniğinin deney elemanlarının genel davranış, dayanım ve rijitliklerine etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçların, bu konu ile ilgili literatüre katkı sağlayacağı, uygulanan yöntemin ucuz, pratik ve hızlı uygulanabilir olmasının mevcut yığma yapıların güçlendirilmesinde önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Deney elemanlarına ait özellikler Çizelge 3'te verilmiştir.

2.1. Malzemeler ve deney elemanları (Materials and test specimens)

Deney elemanları gazbeton malzemeden üretilmiştir. Deney elemanlarının geometrik boyutları 900 x 900 x 200 mm'dir. Duvar elemanlarında kullanılan

sonuçları Şekil 1'de ise prizmatik basınç dayanım test fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 1. Gazbeton ile üretilmiş eleman (Specimen produced with aerated concrete)

Deney elemanlarının, yaklaşık basınç dayanımı 40 MPa olan 10 mm kalınlığındaki lifsiz ve belli oranlardaki çelik lifli beton panellerle güçlendirilmesi yapılmıştır. Çelik lif olarak Dramix ZP305 marka lifler kullanılmıştır. Dramix ZP305 malzemesine ait özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Beton paneller basınç dayanımı 65 MPa, çekme dayanımı 20 MPa ve yapışma dayanımı yaklaşık olarak 3,5 MPa olan iki bileşenli epoksi reçinesi (Sikadur 31) kullanılarak duvar yüzeyine yapıştırılmıştır. Çalışma kapsamında üretilip test edilen deney elemanları Çizelge 3'de verilmiştir. Beton panellerin üretim aşaması Şekil

Çizelge 1. Prizmatik basınç dayanım sonuçları (Results of prismatic compression strength)

Duvar Malzemesi	Prizmatik Dayanım (kN)	Ortalama Prizmatik Dayanım (kN)	Düzeltilmiş Prizmatik Dayanım * (kN)	Kesit Alanı (mm ²)	Basınç Dayanımı (MPa)
	248,74				
Gazbeton	227,59	236,19	207,85	57000	3,65
	232,24				

*Düzeltilme katsayıları ASTM E447'de verilmiştir.

malzemeleri bağlayıcı harç olarak, ASTM C270'de [21] normal harç (N tipi) olarak tanımlanan duvar harcı kullanılmıştır. Bu standartta belirtilen çimento, kireç, kum ve su oranları sırası ile 1 : 1 : 6 : 1,5'tir. Bağlayıcı harçlardan alınan 3 adet 150 x 300 mm boyutlarındaki silindirik numunelere 28 günlük kür ardından aksel basınç testi uygulanmış ve ortalama 5 MPa'lık bir basınç dayanımı elde edilmiştir. Duvarları oluşturan malzemelerden üretilen yalın duvar prizmaları için ASTM E447'de [22] öngörülen prizmatik basınç dayanım testi de uygulanarak yalın duvarların benzer basınç dayanımında olması sağlanmıştır. Bu testte gazbeton kullanılarak üretilmiş elemanların boyutları 190 x 300 mm'dir. Toplam 3 adet eleman test edilmiş ve ortalama basınç değerleri alınmıştır. Çizelge 1'de test

2'de verilmiştir. Deney elemanları isimlendirmesinde ilk 2 harf malzeme türünü, üçüncü rakam ise kullanılan beton panellerde hacimsel olarak hangi oranda (%) çelik lif bulunduğunu göstermektedir. R ile gösterilen tanımlama referans deney elemanına aittir.

Çizelge 2. Çelik life ait özellikler: Dramix ZP305 (Properties of steel fibre:Dramiz ZP305)

Teknik Özellikler	
Boy (mm)	30
Çap (mm)	0,55
Narinlik	55
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	7,85
Çekme Dayanımı (MPa)	1100

Çizelge 3. Deney elemanları (Test specimens)

Kullanılan Malzeme	Deney Elemanı Adı	Güçlendirme Uygulaması
Gazbeton	Gazbeton Referans (GBR)	Yalın Duvar Elemanı
	Gazbeton (GB0)	Çelik lif bulunmayan beton panellerle güçlendirilmiş duvar elemanı
	Gazbeton (GB1)	%1 çelik lif bulunan beton panellerle güçlendirilmiş duvar elemanı
	Gazbeton (GB2)	%2 çelik lif bulunan beton panellerle güçlendirilmiş duvar elemanı



(a)



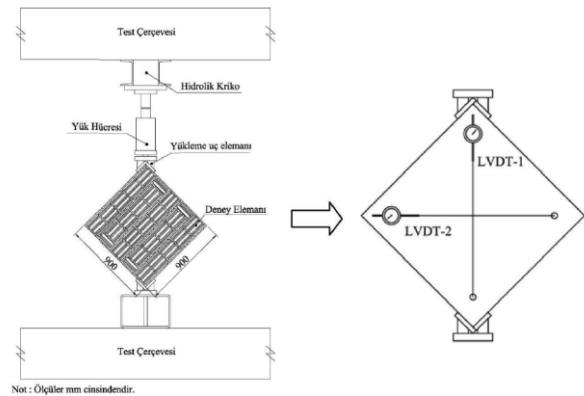
(b)

Şekil 2. a) Betona Dramix ZP305 eklenmesi b) Beton panellerin üretim için kalıba dökümü (a) Adding Dramix ZP305 to concrete b) Molding of concrete panles for production)

2.2. Test ve Ölçüm Düzenegi (Instrumentation and test procedure)

Çalışmada, deney elemanları ASTM E591'de [23] öngörülen biçimde test edilmiştir. Şekil 2'de verilen test çerçevesi içerisinde bulunan deney elemanlarına diyagonal yük uygulanmıştır. Yükleme doğrultusunda ve yüklemeye dik doğrultuda meydana gelen doğrusal deformasyonlar ölçülmüştür.

Deney elemanlarına yük aktarma amacıyla 750 kN eksenel yük kapasiteli bir çerçeve kullanılmıştır. Deney elemanlarına verilen yük, 1000 kN basınç kapasiteli bir kriko ile ve el ile yüklenen bir hidrolik pompa yardımı ile verilmiştir. Yükleme çerçevesi içerisine yatayla 45° eğimli olarak yerleştirilen deney elemanı üzerinden iki doğrultuda deformasyon ve eksenel yük ölçümü olmak üzere toplam 3 adet ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümler elektronik veri toplama aleti aracılığı ile bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Yükleme ve ölçüm düzenegi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Deney elemanı yükleme ve ölçüm düzenegi (Test specimen and instrumentation)

3. DENEYSEL SONUÇLAR (TEST RESULTS)

Deneysel çalışmalarda toplam 4 adet deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanlarının değerlendirilmesinde, güçlendirme uygulanmış ve yalın deney elemanlarının kritik yük aşamalarındaki ve taşıma gücü aşıldıktan sonraki davranışlarının irdelenmesi için daha önce yapılmış olan çalışmalar da dikkate alınarak, deney elemanının tepe noktasından sonra pratikte yük taşımaya devam etse de artık göçtüğünün kabul edildiği bir “göçme noktası” tanımlanmıştır. Bu nokta, taşıma gücüne ulaşıldığı “tepe noktası” yük seviyesinden itibaren %15’lik yük kaybının meydana geldiği yer olarak kabul edilmiştir. [24]

3.1. Yük ve deplasmanlar (Load and displacements)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, referans deney elemanı (GBR) 80 kN diyagonal basınç yükü taşımıştır. Referans deney elemanı diyagonal ve uygulanan yük doğrultusunda oluşan ana kesme çatlağından dolayı göçmüştür.

Beton panellerle güçlendirilen duvar elemanları ortalama 239 kN yük seviyesine ulaşmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarının taşıma gücü, referans elemana kıyasla 2.8-3.2 kat aralığında artmıştır. Güçlendirilen duvar elemanları çelik lif oranına bağlı kalmaksızın yaklaşık aynı taşıma gücü değerlerine ulaşmıştır. Göçme, GB0 deney elemanında

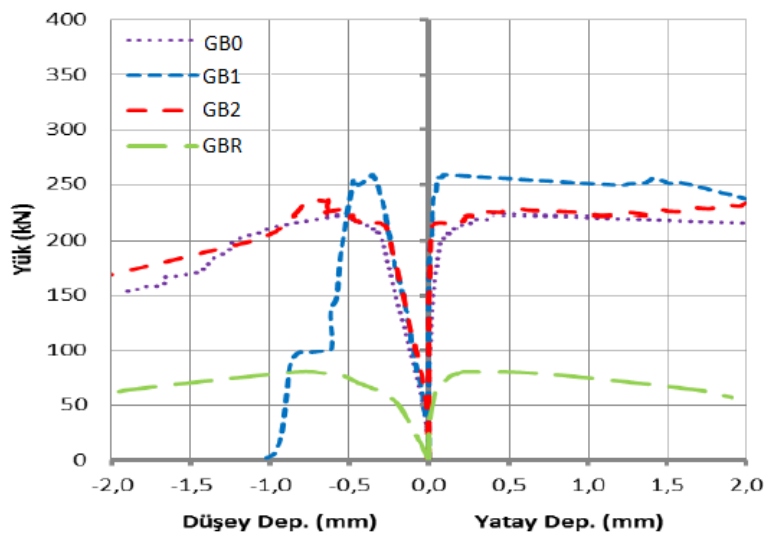
oluşan kesme çatlağı ve beton panellerden sağ altta olanının yapışma yüzeyinden ayrılması neticesinde meydana gelmiştir. Buna neden olarak, gazbeton eleman yüzeyinin daha tozlu bir yapıya sahip olması ve bu durumun da yapışma dayanımını etkilemesi olarak gösterilebilir. GB1 ve GB2 deney elemanları ise oluşan ana kesme çatlağı ve üst başlıktaki beton panellerin ezilmesi neticesinde göçmüşlerdir.

Duvar elemanlarının deney sonuçları Çizelge 4’te ve yük-deplasman eğrileri Şekil 4’te verilmiştir.

Deney elemanları taşıma gücü kriteri bakımından irdelendiğinde, birim basınç dayanımının diyagonal çekme kapasitesi ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, birim basınç dayanımı arttıkça duvarın, güçlendirme yöntemi ile ulaşılabilen taşıma gücünde de artış gözlenmiştir. Ayrıca yapışma yüzeyinin düzgün olması ve duvarın bütün yüzeylerinden panellerin yapışabilmesi de dayanım artışı konusunda önemli bir unsur olarak gözükmemektedir. Deney elemanlarında kullanılan çelik lif oranlarının taşıma gücü açısından anlamlı bir artışa neden olmadığı ancak oluşan çatlak genişliklerini sınırladığı, deney elemanına kısmen süneklik kattığı ve parçasal bütünlüğün korunmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Güçlendirme uygulanmış bütün deney elemanlarında referans deney elemanlarında olduğu gibi parçasal ayrılmalar gözlenmemiş ve deney elemanları göçmelerine rağmen bütünlüklerini

Çizelge 4. Deney elemanlarının deney sonuçları (Test results of test specimens)

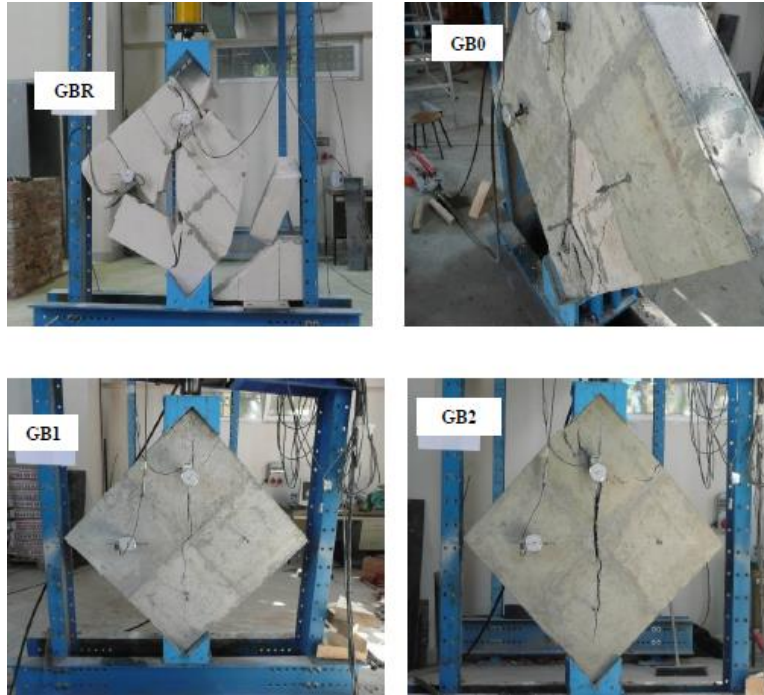
Deney Elemanı	Doğrultu	Tepe Noktası			Göçme Noktası		
		Deplasman (mm)	Yük (kN)	Güçl. / Ref.	Deplasman (mm)	Yük(kN)	Güçl. / Ref.
GBR	Düşey	-0,81	80	-	-1,50	68	-
	Yatay	0,26			1,40		
GB0	Düşey	-0,51	223	2.79	-1,54	190	2.79
	Yatay	0,40			3,46		
GB1	Düşey	-0,35	259	3.24	-0,51	219	3.22
	Yatay	0,09			2,53		
GB2	Düşey	-0,65	235	2.94	-1,21	197	2.90
	Yatay	0,50			3,38		



Şekil 4. Deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri (Load-displacement curves of test specimens)

korumuşlardır. Deneysel elemanlarının deney sonu görünümleri ise Şekil 5’de verilmiştir.

kapasitelerinin arttığını göstermektedir. Ancak %2 oranından fazla lif kullanımı 1 cm kalınlığında beton



Şekil 5. Deneysel elemanlarının deney sonu görünümleri (The view of test specimens after tests)

Referans duvarlar ile kıyaslandığında, güçlendirilmiş duvarların tepe noktaları arasında -% 43 ile +% 91 arasında değişen deplasman farkları meydana gelmiştir. Özellikle GB1 deneysel elemanı GBR referans elemanına göre oldukça rijit bir davranış göstermiştir. Göçme noktaları incelendiğinde ise deplasmanlarda 2.5 kata varan artışlar gözlemlenmiştir. Genel olarak güçlendirilmiş deneysel elemanları, referans elemanlara göre daha az yük kaybı sergilemişlerdir.

Deneysel elemanlarında güçlendirilen elemanların GBR

panel üretiminde sorunlar yaratacağından bu oran sınırlı değer olarak kullanılmalıdır. Çizelge 5’de enerji tüketme kapasiteleri verilmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Deneysel çalışma kapsamında üretilen ve test edilen 4 adet deneysel elemandan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenerek verilmiştir.

- Önerilen güçlendirme yöntemi, gazbeton malzeme kullanılarak üretilen duvarlar üzerinde başarılı

Çizelge 5. Deneysel elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri (Energy dissipation capacities of test specimens)

Deneysel Elemanı	Doğrultu	Tepe Noktası (Joule)	Güçl./Ref.	Göçme Noktası (Joule)	Güçl./Ref.
GBR	Düşey	49	-	101	-
	Yatay	18	-	105	-
GB0	Düşey	164	3.35	604	5.98
	Yatay	163	9.06	1486	14.15
GB1	Düşey	109	2.22	187	1.85
	Yatay	43	2.38	1223	11.65
GB2	Düşey	265	5.41	510	4.86
	Yatay	230	12,77	1540	14.67

elemanına kıyasla yük taşıma kapasitesi açısından tepe ve göçme noktalarında yaklaşık 3.2 kat oranında artış meydana gelmiştir. Özellikle göçme noktaları açısından %2 çelik lifli beton panellerle güçlendirilmiş duvar elemanının enerji tüketim değeri referans elemanına göre oldukça fazla çıkmıştır. Bu değerler, çelik lif oranı arttıkça duvarların önemli oranda enerji tüketim

olmuş, duvarların taşıma gücünü ve deplasman kapasitesini artırmıştır.

- Çelik lif kullanılan panellerde daha sünek bir davranış gözlemlenmiş ve enerji tüketme kapasitelerinde de büyük artışlar olmuştur.
- Kullanılan çelik lifli paneller sayesinde ani ve toptan göçme gözlemlenmemiş ve deneysel elemanları

- bütünlüklerini korumuşlardır.
- Uygulamada yapışma yüzeyinin mümkün olduğunca düzgün, tozdan arındırılmış olması ve beton panellerle duvar arasında boşluk olmaması elde edilen sonuçların etkinliğini arttırmaktadır.
 - Yüzeyin düzgün olmasının sağlanamadığı ve beton panellerle duvar arasında boşluk oluşma ihtimali olması durumunda, yapışma etkinliğini arttırmak için mekanik ankrajların kullanılması daha etkili bir sargılama yaratması açısından faydalı olacaktır.
 - Birim basınç dayanımları ile diyagonal çekme dayanımları arasında iyi bir uyum olduğu kanıtlanmıştır. Birim basınç dayanımı arttıkça malzemenin güçlendirilme etkisi de artmaktadır.
 - Uygulanan yöntemin, ucuz, kolay üretilebilir ve pratik uygulanabilir olması bakımından elde edilen sonuçlara göre maliyet/fayda oranı açısından oldukça başarılı olduğu gözlenmiştir.
 - Beton panel kalınlığının artırılması durumunda daha yüksek oranda hacimsel çelik lif kullanımının uygun olup olmadığı üretim esnasında belirlenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2013-04 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Albert M.L., Elwi A.E., Cheng J.J.R., “Strengthening of unreinforced masonry walls using FRPs”, *Journal of Composites for Construction*, 5 (1): 76-84, (2001)
- [2] Korany Y., Drysdale R., “Rehabilitation of masonry walls using unobtrusive FRP techniques for enhanced out-of-plane seismic resistance”, *Journal of Composites for Construction*, 10 (3): 213-22, (2006).
- [3] Tan K.H., Patoary M.K.H., “Strengthening of masonry wall against out-of-plane loads using fiber-reinforcement polymer reinforcement”, *Journal of Composites for Construction*, 8 (1): 79-87, (2004).
- [4] Turco V., Secondin S., Morbin A., Valluzzi M.R., Modena C., “Flexural and shear strengthening of unreinforced masonry with FRP bars”, *Composites Science and Technology*, 66 (2): 289-296, (2005).
- [5] Yang Q., “Strengthening of unreinforced masonry walls using FRP techniques under out-of-plane loading”, *School of Civil and Environmental Engineering, The University of Adelaide, Master of Engineering Science*, 2007.
- [6] Hamed E., Rabinovitch Q., “Failure characteristics of FRP-strengthened masonry walls under out-of-plane loads”, *Engineering Structures*, 32 (8): 2134-2145, (2010).
- [7] Camli U.S., Binici B., “Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry”, *Construction and Building Materials*, 21 (7): 1431-1446, (2007).
- [8] Capozucca R., “Experimental FRP/SRP-historic masonry delamination”, *Composite Structures*, 92 (4): 891-903, (2010).
- [9] Aiello M.A., Sciolti S.M., “Bond analysis of masonry structures strengthened with CFRP sheets”, *Construction and Building Materials*, 20 (1): 90-100, (2006).
- [10] Dizhur D., Ismail N., Knox C., Lumantama R., Ingham J. M., “Performance of unreinforced and retrofitted masonry buildings during the 2010 Darfield earthquake”, *Bull. N. Z. Society Earthquake Engineering*, 43 (4): 321-329, (2010).
- [11] Corradi M., Borri A., Vignoli A., “Experimental evaluation of in-plane shear behavior of masonry walls retrofitted using conventional and innovative methods”, *Masonry International*, 21 (1): 29-41.(2008)
- [12] Andrew S., Thomas R., “A critical review of retrofitting methods for unreinforced masonry structures”, *in:The Royal Academy of Engineering*, EWB-UK Research Conference, (2009).
- [13] Valluzzi M.R., Tinazzi D., Modena C., “Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates”. *Construction and Building Materials*, 16 (7): 409-416, (2002).
- [14] El-Dakhkhni W.W., Hamid A.A., Hakam Z.H.R., Elgaly M., “Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites”, *Composite Structures*, 73 (4): 458-477, (2006).
- [15] Shahzada K., Javed M., Alam B., Khan M., Ali Z., Kahan H., Shah S.S.A., “Strengthening of brick masonry walls against earthquake loading”, *International Journal of Advanced Structures & Geotechnical Engineering*, 1 (1), 10-14, (2012).
- [16] Corradi M., Borri A., Vignoli A., “Experimental study on the determination of strength of masonry walls”, *Construction and Building Materials*, 17 (5): 325-337, (2003).
- [17] Sathiparan N., Paola M., Kimiro M., “Parametric study on diagonal shear and out of plane behavior of masonry wallets retrofitted by PP-band mesh”, *in: 14 WCEE. World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, (2008).
- [18] Kalali A., Kabir M. Z., “Experimental response of double-wythe masonry panels strengthened with glass fiber reinforced polymers subjected to diagonal compression tests”, *Engineering Structures*, 39: 24-37, (2012).
- [19] “Turkish Earthquake Code”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi. Ankara, (2007).
- [20] “Bina Sayımı”, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, (2000).
- [21] ASTM C270, “Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, American Society for Testing and Materials”, *West Conshohocken*, PA, (2012).
- [22] ASTM E447, “Test Methods for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry Prisms, American Society for Testing and Materials”, *West Conshohocken*, PA, (1998).
- [23] ASTM E591, “Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, American Society for Testing and Materials”, *West Conshohocken*, PA, (1981).
- [24] Zhou D., Lei Z., Wang J., “In-plane behavior of seismically damaged masonry walls repaired with external BFRP”, *Composite Structures*, 102: 9-19, (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Denizli travertenlerinde P ve S dalga hızları ile bazı fiziksel ve tek eksenli sıkışma dayanımı özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması

Investigation of relations between P and S wave velocities and some physical and uniaxial compressive strength properties in denizli travertines

Yazar(lar) (Author(s)): Sefer Beran ÇELİK¹, İbrahim ÇOBANOĞLU²

ORCID¹: 0000-0003-1850-5229

ORCID²: 0000-0002-2747-6397

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelik S. B. ve Çobanoğlu İ., “Denizli travertenlerinde P ve S dalga hızları ile bazı fiziksel ve tek eksenli sıkışma dayanımı özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 341-349, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.444370

Denizli Travertenlerinde P ve S Dalga Hızları ile Bazı Fiziksel ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Sefer Beran ÇELİK*, İbrahim ÇOBANOĞLU

Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 05.01.2018 ; Kabul/Accepted : 08.06.2018)

ÖZ

Denizli havzası traverten çökelinin yaygın olarak görüldüğü dünyaca ünlü havzalardan birisidir. Traverten, çökelim koşullarına bağlı olarak gözeneklilik, tabakalanma, sertlik gibi değişken yapısal özellikler sunmaktadır. Bu durum travertenin çok geniş bir aralıkta değişen fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada Denizli traverteninin temel fiziksel özellikler ve TSD değerlerinin V_p ve V_s değerlerinden tahmini amaçlanmıştır. Doğal yapı taşı olarak Denizli travertenleri, Dünya'nın çeşitli bölgelerine ihraç edilmekte ve gerek yurt içi gerekse de yurtdışında önemli bir pazara sahiptir. Bu çalışmada, Kaklık bölgesinden temin edilen traverten bloklarından alınmış 56 karot örneğinin kuru ve doymun birim hacim ağırlık (γ_k , γ_d) görünür porozite (n_a) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (TSD) değerleri belirlenmiş ve bu özelliklerin boyuna (V_p) ve enine (V_s) ultrasonik dalga hızları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Denizli travertenlerinde γ_k , γ_d değerlerinin artışıyla ölçülen V_p ve V_s dalga hızı değerlerinin de doğrusal olarak arttığı, bunun tersine örneklerin n_a değerlerinin artışına bağlı olarak da V_p ve V_s dalga hızlarında doğrusal bir düşüm gözlenmiştir. TSD değerlerinin γ_k değerlerinin artışıyla üstel olarak arttığı, n_a değerlerinin artışıyla ise üstel olarak azaldığı görülmüştür. V_p ve V_s dalga hızlarının artışıyla TSD değerlerinin üstel olarak arttığı ortaya konmuştur. Denizli travertenleri için elastik parametrelerden olan kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri V_s ve V_p değerlerinden ampirik olarak hesaplanmış ve sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Denizli traverteni, boyuna ses dalgası hızı, enine ses dalgası hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı, elastik özellikler.

Investigation of Relations between P and S Wave Velocities and Some Physical and Uniaxial Compressive Strength Properties in Denizli Travertines

ABSTRACT

The Denizli basin is one of the most familiar basins in the world where large travertine deposits are existed. The travertine exhibits various structural properties such as porosity, layer, hardness depending on sedimentation conditions. This causes the travertine to have physical and mechanical properties varying in wide range. As a natural building stone, Denizli travertines are exported to various regions of the world and became an important market both in Turkey and abroad. In this study, the apparent porosity (n_a), dry and saturated unit volume weight (γ_k , γ_d) and uniaxial compressive strength (UCS) values of 56 cores taken from the travertine blocks obtained from the Kaklık region were determined and these results were compared to longitudinal compressional wave velocity (V_p) and shear wave velocity (V_s) values. Measured V_p and V_s wave velocity values were increased with increasing γ_k , γ_d values whereas V_p and V_s wave velocities were linearly decreased with increasing n_a values. UCS values increased exponentially with increasing γ_k values and decreased exponentially with the increase of n_a values. V_p and V_s wave velocities exponentially increased with increasing UCS values. Shear modulus, poisson ratio and modulus of elasticity values were also calculated empirically by measured V_p and V_s values.

Keywords: Denizli travertine, longitudinal wave velocity, shear wave velocity, uniaxial compressive strength, elastic properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaygın olarak doğal yapı taşı sektöründe kullanılan traverten, ismini Roma yakınlarında bulunan ve yakınında traverten çökellerinin bulunduğu Tivoli kasabasından almıştır. Chafetz ve Folk [1] travertenleri,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : scelik@pau.edu.tr

organik veya inorganik işlevlerle çökelen tatlı su karbonatları olarak tanımlamışlardır. Karbondioksit içeren yeraltı sularının yer yüzeyine çıktıkları yerlerde çözünmüş karbondioksit basıncı atmosferdeki karbondioksitin kısmi basıncından yüksek olduğu için karbondioksitin atmosfere kaçıyla suyun pH'ı yükselerek bikarbonat iyonları karbonata ayrışmaktadır. Bu durumda kalsitin doymunluk indeksi artmakta ve

traverten çökelişi gerçekleşmektedir. Denizli Kaklık bölgesi Kuvaterner traverten çökelleri açılma tektoniğine bağlı olarak yer yüzeyine ulaşan sular tarafından çöktürülmektedir. Denizli travertenleri sedimentolojik olarak bantlı, tabakalı, kristalin kabuk, pisoid gibi türlere ayrılmakta ve çok büyük oranda kalsit mineralinden oluşmaktadır [2].

Traverten çökelişi koşullarına bağlı olarak oldukça karmaşık bir içyapı sunmaktadır. Bu karmaşıklık, kaynak pozisyonu, taban topografyası, traverten çökeltin suların kimyasal bileşimi, organik aktivite ve yüzey suları gibi birçok faktörden kaynaklanmaktadır [3]. Bu durum aynı zamanda travertenin mekanik özelliklerini de büyük ölçüde etkilemektedir. Doğal yapı taşı olarak traverten genellikle iç ve dış yüzeylerde kaplama taşı olarak (binalar, oteller, saunalar, restoranlar, camiler vb.) kullanılmaktadır. Traverten, gözenekli bir yapıya sahip olmasına rağmen genellikle dayanımlı bir yapı taşı olarak değerlendirilebilir, bu nedenle eski zamanlardan beri dünya çapında yapı taşı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Denizli havzasında Hierapolis, Laodikeia ve Tripolis gibi antik kentlerde travertenin yapı taşı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Doğal yapı taşı olarak travertenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur [4-9].

Kayaların boyuna (sıkışma, V_p) ve enine (kayma, V_s) dalga hızları önemli ölçüde gözeneklilik ve doygunluk derecesinden etkilenmektedir [10]. V_p ve V_s dalga hızları pratik ve ekonomik olarak ölçülebildiği için kaya malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik dalga hızlarını etkileyen en önemli faktörler, kaya türü, dokusal özellikler, yoğunluk, tane boyu ve şekli, gözeneklilik, anizotropi, su içeriği, gerilme ve sıcaklıktır [11]. Karakul ve Ulusay [12], on dört farklı kaya türü üzerinde, tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı, kohezyon, elastisite modülü ve V_p dalga hızlarını farklı doygunluk koşullarında incelemişlerdir. İncelenen kaya türleri için, V_p dalga hızının gözeneklilikle ters, yoğunlukla doğru orantılı olarak değiştiğini ve kaya malzemesi içindeki farklı fazların ifade edilebildiği katı tane yoğunluğu ve gözeneklilik özellikleri kullanılarak V_p dalga hızının tahminine olanak sağlayan bir eşitlik önermişlerdir. Soete vd. [13], Denizli travertenleri ve Macaristan'dan iki grup traverten üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada V_p ve V_s hızları ile gözeneklilik ve gözenek türü ilişkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, tüm örneklerin gözenekliliğinin % 2.8 ile 34.7 arasında, V_p hızlarının 3.695 ile 6.097 km/s arasında ve V_s hızlarının ise 2.037 ile 3.140 km/s arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Örneklerin tane yoğunluklarında değişiklik olmadığından, kütle yoğunluğunun hemen hemen gözenekliliğe bağlı olduğunu belirtmişler, boyuna ve enine dalga hızlarının azalan gözeneklilikle artan bir eğilim gösterdiklerini vurgulamışlardır. V_p ve V_s hızlarının ölçümünde çalışmanın amacı doğrultusunda örneklere 40 MPa çevre basıncı uygulandığı belirtilmiştir. V_p/V_s hızları oranlarının 1.8 ile 2 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Kuşçu ve Demiray [14], Yapı taşı olarak kullanılan kayaların (Diyabaz, andezit, trakiandezit, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve traverten) görünür porozite, gözeneklilik oranı ve basınç dayanımı değerlerinin V_p dalga hızlarıyla ilişkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre, mağmatik ve tortul kökenli kayaların porozite değerleri düştükçe V_p dalga hızlarının doğrusal olarak arttığını belirtmişlerdir. Çelik [15], Afyonkarahisar bölgesinden, Ayazini, Seydiler, Döğeri ve Seyitgazi tüflerinin fiziko-mekanik özellikleri ile V_p dalga hızları arasındaki ilişkileri incelemiştir. Tüf örnekleri üzerinde, V_p dalga hızlarının porozite ve su emme değerlerine bağlı doğrusal olarak azaldığını, yoğunluk, TSD ve eğilme dayanımı değerlerinin artışına bağlı olarak ise doğrusal olarak arttığını belirlemiştir. Ayrıca Karbonat ve benzeri kaya türlerinin TSD değerlerini tahmin etmek için gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma mevcuttur [16-36].

Bu çalışma kapsamında, Denizli travertenlerinin kuru ve doygun birim hacim ağırlık, görünür porozite ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin, V_p ve V_s hızlarıyla karşılaştırılarak bu değerlerin V_p ve V_s hız değerlerinden pratik ve ekonomik olarak tahmin edilebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ölçülen ultrasonik dalga hızlarından Denizli travertenleri için hesaplanan kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modüllerinin literatüre kazandırılması ayrıca amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Denizli Kaklık bölgesinden temin edilmiş blok örneklerden ASTM [37] standardına göre boy/çap oranı 2 olan 54 mm çaplı 56 adet silindirik karot örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 1). Örneklerin alt ve üst yüzeylerinin paralel olması için taşlama makinası kullanılarak aşındırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnek hazırlama ve tüm deneyler Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Traverten karot örneklerinin görünümü. (A view of prepared core samples)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

3.1. Bazı Fiziksel özellikler (Some Physical Properties)

Denizli travertenlerinden hazırlanmış 56 adet örneğin kuru, doygun birim hacim ağırlığı ve görünür porozite değerleri belirlenmiştir. Belirlenen değerler Çizelge 1'de sunulmuştur. Kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin

18.73 ile 24.56 arasında değiştiği ve ortalama değerin 23.15 kN/m^3 olduğu belirlenmiştir. Travertenler bu değerle Anon [38]'a göre orta birim hacim ağırlıklı kaya grubuna girmektedir. Doymun birim hacim ağırlığı bakımından ise değerlerin 20.94 ile 24.82 arasında değiştiği ve ortalama değerin 23.68 kN/m^3 olduğu belirlenmiştir. Görünür gözeneklilik değerlerinin çok geniş bir aralıkta değiştiği belirlenmiştir. Traverten kaya türünün gözeneklilik değerinin geniş bir aralıkta değişmesi V_p , V_s ve TSD değerlerinin de geniş aralıkta değişmesine neden olmaktadır.

3.2. V_p , V_s ve TSD değerlerinin Belirlenmesi

Çizelge 1. Denizli travertenlerinin belirlenen bazı fiziksel özellikleri (Some physical properties of Denizli travertines)

Parametre	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Sınıflama (Anon, 1979)
Kuru birim hacim ağırlık γ_k (kN/m^3)	18.73	24.56	23.15	1.43	Düşük-Orta
Doymun birim hacim ağırlık γ_d (kN/m^3)	20.94	24.82	23.68	1.02	Düşük-Orta
Görünür gözeneklilik (%)	1.73	25.27	5.37	4.63	Düşük-Yüksek

(Determination of V_p , V_s and UCS values)

Gerek arazide, gerekse laboratuvar ölçüğünde malzemeden geçen boyuna ve enine dalgalarının hızları kayaların karakterizasyonu amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında V_p ve V_s dalga hızlarının ölçümünde, Pundit Lab [39] ultrasonik deney cihazı kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bu çalışmada kullanılan Proceq Pundit Lab+ ultrasonik dalga hız ölçüm cihazı ve P (54 kHz) ve S (250 kHz) dalga transdüserleri. (Proceq Pundit Lab+ ultrasonic test device and its P (54 kHz) and S (250 kHz) wave transducers used in this study)

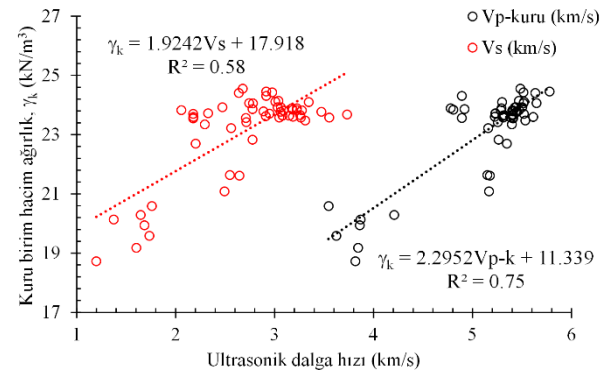
V_p ölçümleri 54 kHz frekanslı, V_s ölçümleri ise 250 kHz frekanslı transdüserler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaya malzemelerin ultrasonik dalga hızlarının ölçümü çok pratik ve ekonomiktir. Bu sebeple özellikle mekanik parametrelerin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin bir uçundan diğer ucuna ultrasonik dalganın geçiş zamanı ölçüldükten sonra, bu değer dalga geçiş yolu uzunluğuna bölünmesiyle ilgili hız belirlenmektedir. Her örnek üzerinde V_p ve V_s hızları belirlenmiştir. Elde edilen ultrasonik dalga hızları topluca Çizelge 2'de verilmiştir.

4. DENEY VERİLERİ ARASINAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI (INVESTIGATION OF RELATIONS BETWEEN TEST RESULTS)

Bu çalışma kapsamında, Denizli travertenleri üzerinde elde edilen tüm deneysel veriler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2'de düşük gözeneklilikten yükseğe doğru her bir karot üzerinde elde edilen veriler sunulmuştur.

Doymun birim hacim ağırlığı ile doymun koşulda ölçülen V_p hızları arasında da kuru koşullara benzer olarak pozitif doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. İlgili ilişkinin R^2 değeri ise 0.77 olarak bulunmuştur.

Şekil 4'de γ_d ile doymun koşuldaki boyuna dalga hızı (V_p) değerleri arasındaki dağılım verilmiştir.



Şekil 3. Denizli travertenleri için $\gamma_k - V_p$ ve V_s değerleri arasındaki ilişkiler (Correlation between dry unit weight and V_p , V_s velocities of Denizli travertines)

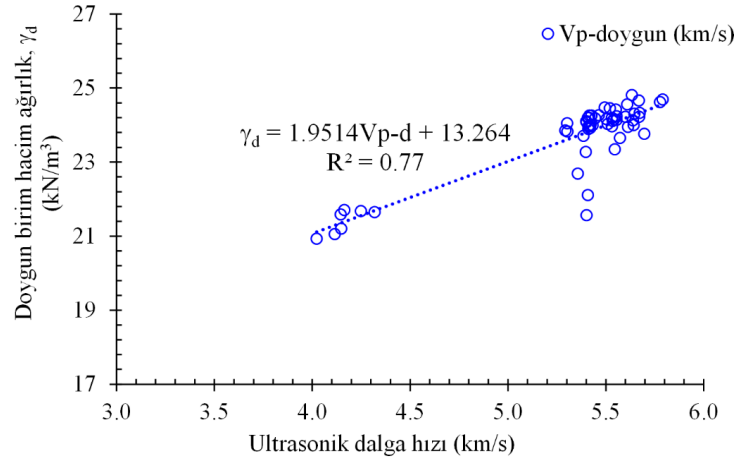
Denizli travertenlerinin kuru ve doymun birim hacim ağırlığı ile görünür gözeneklilik değerleri incelendiğinde, gerek kuru gerekse de doymun birim hacim ağırlığı değerlerinin artışıyla görünür gözenekliliğin doğrusal olarak azaldığı gözlenmiştir. Kuru ve doymun birim hacim ağırlığı ile görünür gözeneklilik arasında belirlenen doğrusal azalmalar için sırasıyla 0.88 ve 0.76, R^2 değerleri elde edilmiştir (Şekil 5).

Denizli travertenlerinde V_p ve V_s dalga hızları ile görünür gözeneklilik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Bu değişimde diğer ilişkilerde olduğu gibi doğrusal olduğu ve önceki çalışmalardaki bulgulara paralel olarak artan gözeneklilikle azaldığı belirlenmiştir. γ_k ile V_p ve V_s arasındaki ilişkiler Şekil 6'da verilmiştir. V_p ve V_s değerlerinin gözeneklilik ile değişimi 0.74 ve 0.56 determinasyon katsayısı değerleri ile belirlenmiştir.

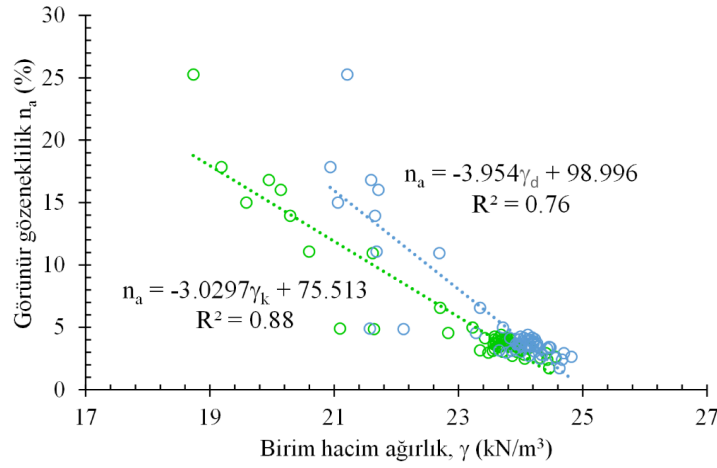
Fiziksel özellikler ile V_p ve V_s dalga hızları arasındaki ilişkilerin incelenmesinden sonra Denizli travertenlerinin TSD değerleri ile olan ilişkilerin araştırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 2. Elde edilen deneysel veriler (The obtained test data)

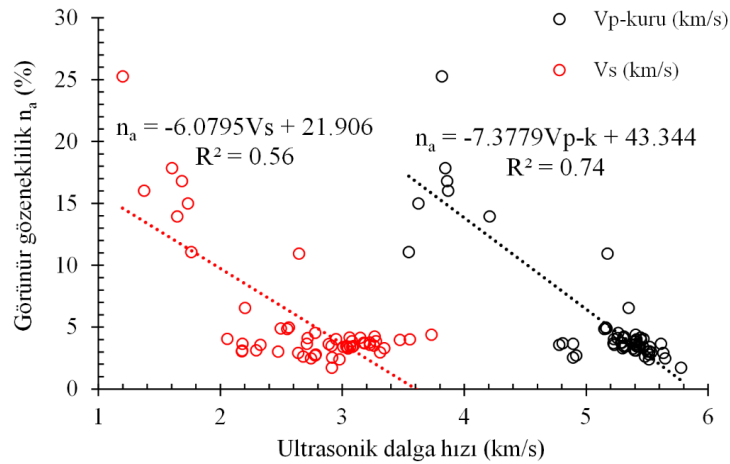
γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n_a (%)	Kuru V_p (km/s)	V_s (km/s)	Doygun V_p (km/s)	Kayma modülü G (GPa)	Poisson oranı	Elastisite modülü E (GPa)	TSD (MPa)
24.46	24.63	1.73	5.777	2.914	5.777	21.18	0.33	56.31	63.64
24.43	24.67	2.41	5.515	2.976	5.669	22.06	0.29	57.11	31.16
24.07	24.31	2.49	5.646	2.742	5.646	18.45	0.35	49.66	33.77
24.31	24.57	2.56	4.891	2.915	5.609	21.07	0.22	51.60	36.35
24.56	24.82	2.63	5.483	2.678	5.632	17.96	0.34	48.25	33.54
23.87	24.13	2.72	4.918	2.777	5.638	18.76	0.27	47.51	49.07
24.06	24.34	2.80	5.514	2.780	5.672	18.97	0.33	50.43	27.11
24.41	24.70	2.93	5.633	2.637	5.790	17.31	0.36	47.07	33.74
23.48	23.77	2.97	5.533	3.308	5.696	26.20	0.22	64.03	34.23
23.93	24.23	3.05	5.502	2.473	5.670	14.92	0.37	40.99	35.82
23.70	24.00	3.05	5.518	2.176	5.641	11.45	0.41	32.24	38.73
23.55	23.86	3.12	5.408	2.177	5.293	11.39	0.40	31.96	45.80
23.35	23.66	3.15	5.396	2.294	5.571	12.53	0.39	34.83	35.89
23.58	23.90	3.28	5.385	3.047	5.410	22.32	0.26	56.45	46.73
24.10	24.43	3.31	5.298	3.344	5.551	27.47	0.17	64.23	45.17
24.15	24.48	3.39	5.467	3.037	5.494	22.71	0.28	58.00	27.35
23.65	23.99	3.40	5.313	3.081	5.413	22.89	0.25	57.08	43.26
24.12	24.46	3.42	5.520	3.007	5.520	22.23	0.29	57.32	42.04
23.92	24.26	3.44	5.427	3.064	5.427	22.90	0.27	57.99	42.63
23.81	24.15	3.47	5.412	3.088	5.541	23.16	0.26	58.30	45.58
23.93	24.27	3.48	5.438	3.030	5.463	22.41	0.27	57.13	39.42
23.63	23.97	3.49	5.302	2.911	5.530	20.42	0.28	52.44	30.85
23.67	24.01	3.51	5.321	3.258	5.421	25.62	0.20	61.49	27.97
23.89	24.24	3.59	4.777	3.225	5.555	25.34	---	54.80	46.34
23.73	24.08	3.59	5.230	2.327	5.401	13.10	0.38	36.08	20.54
23.79	24.14	3.64	5.407	2.887	5.554	20.22	0.30	52.59	34.36
23.56	23.92	3.66	4.892	2.709	5.418	17.63	0.28	45.10	31.47
23.60	23.96	3.66	5.613	2.179	5.613	11.43	0.41	32.26	24.93
23.61	23.97	3.70	5.223	3.186	5.419	24.43	0.20	58.83	49.62
23.84	24.21	3.71	4.806	3.182	5.412	24.62	0.11	54.64	44.05
23.90	24.26	3.74	5.292	3.175	5.416	24.57	0.22	59.89	66.01
23.83	24.20	3.76	5.284	3.224	5.408	25.25	0.20	60.79	45.59
23.65	24.03	3.88	5.407	3.077	5.510	22.84	0.26	57.57	45.21
23.82	24.20	3.88	5.401	3.275	5.531	26.05	0.21	63.00	57.23
23.78	24.17	3.98	5.451	3.472	5.502	29.22	0.16	67.72	54.16
23.58	23.98	4.03	5.411	3.552	5.411	30.34	0.12	68.05	36.09
23.71	24.11	4.04	5.229	2.948	5.400	21.01	0.27	53.25	41.75
23.83	24.23	4.06	5.469	2.057	5.600	10.28	0.42	29.15	33.37
23.43	23.83	4.14	5.254	2.714	5.303	17.59	0.32	46.38	33.20
23.65	24.05	4.16	5.302	3.147	5.302	23.88	0.23	58.65	54.11
23.77	24.18	4.18	5.445	3.058	5.445	22.68	0.27	57.58	61.62
23.58	24.00	4.25	5.308	3.265	5.432	25.64	0.20	61.30	40.51
23.68	24.12	4.40	5.405	3.731	5.534	33.63	---	70.26	43.91
22.83	23.28	4.54	5.261	2.777	5.397	17.96	0.31	46.94	31.45
21.64	22.12	4.87	5.149	2.548	5.408	14.32	0.34	38.32	22.47
21.09	21.57	4.90	5.165	2.494	5.401	13.38	0.35	36.06	16.29
23.22	23.71	4.99	5.158	2.561	5.386	15.53	0.34	41.52	21.24
22.70	23.35	6.57	5.347	2.202	5.545	11.22	0.40	31.37	33.58
21.62	22.69	10.94	5.174	2.645	5.356	15.42	0.32	40.80	20.56
20.59	21.68	11.08	3.545	1.760	4.248	6.51	0.34	17.39	7.55
20.29	21.66	13.94	4.207	1.646	4.318	5.61	0.41	15.81	8.46
19.59	21.06	15.01	3.623	1.734	4.114	6.00	0.35	16.23	6.25
20.14	21.71	16.03	3.867	1.373	4.164	3.87	0.43	11.06	9.01
19.95	21.59	16.80	3.859	1.684	4.145	5.77	0.38	15.95	7.42
19.18	20.94	17.86	3.844	1.602	4.022	5.02	0.39	14.01	5.93
18.73	21.21	25.27	3.816	1.198	4.148	2.74	0.45	7.92	6.52



Şekil 4. Denizli traverteni için γ_d ile V_{p-d} değerleri arasındaki ilişkiler (Relations between unit weight and V_{p-d} velocity values of Denizli travertines)



Şekil 5. Denizli traverteni için n_a ile γ_k ve γ_d değerlerinin değişimi (Variations of apparent porosities with dry and saturated unit weights of Denizli travertines)

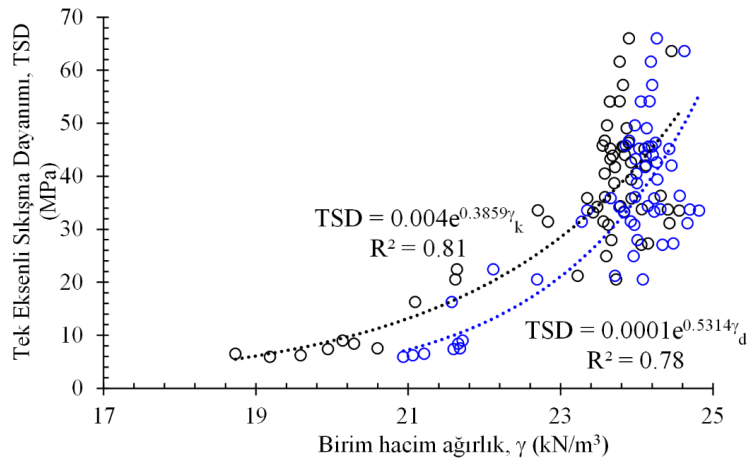


Şekil 6. Denizli traverteni için n_a ile V_p ve V_s değerleri arasındaki ilişkiler (Correlations of apparent porosities with V_p and V_s wave velocities of Denizli travertines)

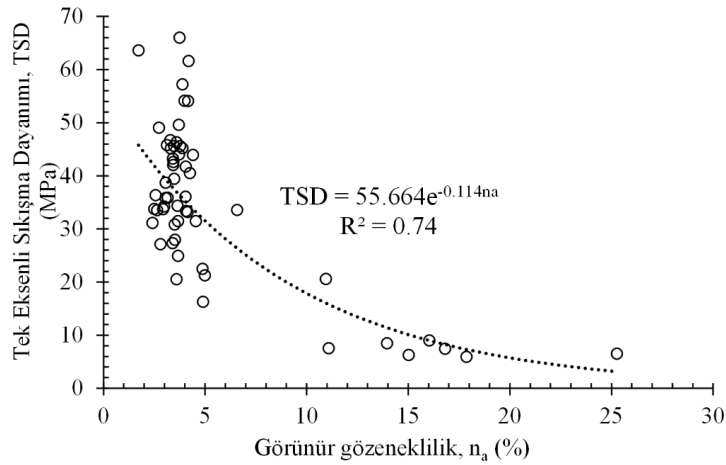
Bu amaç doğrultusunda elde edilen veriler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 7'de TSD değerleri ile γ_k ve γ_d değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Elde edilen ilişkilerin üstel fonksiyonlarla ifade edilebildiği görülmüş ve γ_k değerlerinin artışı ile TSD değerlerinin de

üstel olarak arttığı ve değerler arasında 0.81 gibi yüksek bir R^2 değeri elde edilmiştir.

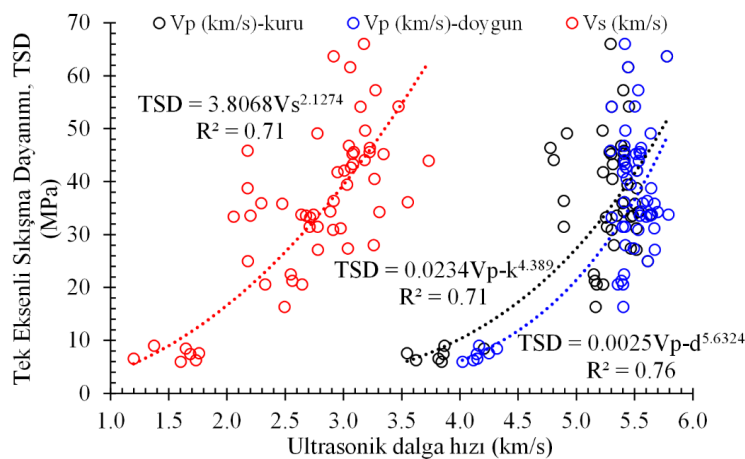
Çalışmanın ana amacı doğrultusunda, TSD değerleri ile Ultrasonik dalga hızı değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.



Şekil 7. Denizli traverteni için γ_k ve γ_d ile TSD değerleri arasındaki ilişkiler (Correlations of γ_k and γ_d with UCS values of Denizli travertines)



Şekil 8. Denizli traverteni için n_a ile TSD değerleri arasındaki ilişkiler (Correlation of n_a and UCS values of Denizli travertines)



Şekil 9. Denizli travertenlerinde TSD değerleri ile V_p ve V_s değerleri arasındaki ilişkiler (Relationships between UCS and V_p , V_s values of Denizli travertines)

Şekil 9'da bu ilişkiler topluca sunulmuştur. Kuru koşullarda ölçülmüş V_p ve V_s değerleri ve doymuş koşulda ölçülmüş V_p -d değerlerinin artışı ile Denizli travertenlerinin TSD değerlerinin üstel olarak arttığı

belirlenmiştir. Kuru koşullarda ölçülmüş V_p ve V_s değerleri ile TSD değerleri arasında belirlenen ilişkilerde birbiri ile aynı olarak 0.71 R^2 değeri elde edilmiştir.

Çizelge 3. Denizli travertenleri için hesaplanan elastik parametreler. (Elastic parameters calculated for Denizli Travertines)

Parametre	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma
Kayma modülü, G (GPa)	2.74	33.63	18.53	7.19
Poisson oranı, ν	0.11	0.45	0.30	0.08
Elastisite Modülü, E (GPa)	7.92	68.05	46.55	15.82

Örneklerin doygun koşullarda ölçülen V_p -d değerleri ile TSD değerleri arasında da benzer ilişki elde edilmiş ve bu ilişkinin R^2 değeri ise 0.76 olarak belirlenmiştir.

V_p ve V_s dalga hızları ölçüldüğünde kayalar için aşağıda verilen formüller kullanılarak elastik malzeme parametreleri hesaplanabilmektedir [40].

$$G = \gamma V_s^2 \quad (1)$$

Burada, G: kayma modülü (Pa), γ : birim hacim ağırlık (kg/m^3), V_s : kayma dalga hızı (m/s).

$$\theta = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2)$$

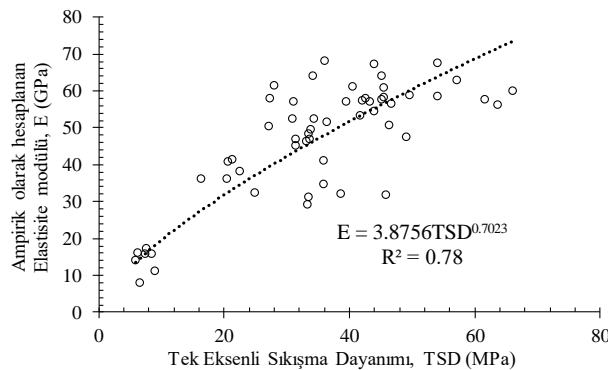
Burada, ν : poisson oranı, V_p : boyuna dalga hızı (m/s), V_s : kayma dalga hızı (m/s) olarak verilmiştir. Yukarıda verilen formüllerle (1 ve 2) kayma modülü ve poisson oranı değerleri hesaplandıktan sonra aşağıda verilen formülle (3) elastisite modülü (E, GPa) hesaplanabilmektedir.

$$E = 2G(1 + \theta) \quad (3)$$

V_p ve V_s dalga hızları ölçüldüğünden Denizli travertenleri için Çizelge 3'de verilen elastik parametreler hesaplanabilmektedir.

Hesaplama sonuçlarına göre Denizli travertenlerinin kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri ortalama değerler olarak sırasıyla, 18.53 GPa, 0.30 ve 46.55 GPa olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma ile Denizli travertenleri için hesaplanan bu elastik parametreler literatüre kazandırılmıştır.

Şekil 10'da TSD değerleri ile E değerlerinin dağılımı verilmiştir. Bu ilişki, üstel bir fonksiyonla belirtilmiş olduğunda R^2 değerinin 0.78 olduğu ortaya konmuştur. Bu ilişki ile Denizli travertenleri için TSD değerlerinden E değerlerinin tahmini için bir yaklaşım önerilmiştir.

**Şekil 10.** Denizli travertenlerinin TSD değerleri ile E değerlerinin dağılımı (Correlation of UCS and E values of Denizli travertines)

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu deneysel çalışma sonucunda Denizli-Kaklık bölgesinden alınan traverten karot örneklerinin kuru, doygun birim hacim ağırlık, görünür porozite ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile Ultrasonik dalga hızları arasındaki ilişkiler araştırılmış ve bu değerler arasındaki ilişkiler yüksek determinasyon katsayıları ile ilişkiler ortaya konmuştur. Ultrasonik dalga hızlarının ekonomik ve pratik ölçümüyle, doğrudan ölçülen kaya malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmini günümüzde tercih edilmektedir.

Denizli travertenlerinin kuru ve doygun birim hacim ağırlıklarının artışıyla, ölçülen V_p ve V_s dalga hızı değerlerinin de doğrusal olarak arttığı belirlenmiştir. Bunun tersine örneklerin görünür porozite değerlerinin artışıyla V_p ve V_s dalga hızlarında doğrusal bir düşüm gözlenmiştir. TSD değerleri ise γ_k değerlerinin artışıyla üstel olarak artmakta, n_a değerlerinin artışıyla ise üstel olarak azalmaktadır. V_p ve V_s dalga hızlarının artışıyla TSD değerlerinin üstel olarak arttığı ortaya konmuştur. Denizli travertenleri için elastik parametrelerden olan kayma modülü, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri V_s ve V_p değerlerinden ampirik olarak hesaplanmış ve sunulmuştur. Bu değerler ortalama olarak 18.53 GPa, 0.30 ve 46.55 GPa olarak hesaplanmıştır.

Travertenin özellikle yapı taşı olarak kullanılması durumunda kullanım yeri ve şeklinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken fiziksel ve dayanım özelliklerinin tahmini için pratik yöntemlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışma ile uluslararası önemli bir pazara sahip olan Denizli travertenleri ve benzer özellikler sunan farklı bölge travertenlerinin bazı fiziksel ve TSD değerlerinin, V_p ve V_s dalga hızlarından ekonomik ve pratik olarak tahmini mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Chafetz H.S. and Folk R.L., "Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents", *Journal of Sedimentary Petrology* 54(1): 289-316, (1984).
- [2] Özkul M., Kele S., Gökğöz A., Shen C.C., Jones B., Baykara M.O., Föziz I., Németh T., Chang Y.W. and Alçıçek M.C., "Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data", *Sedimentary Geology*, 294: 179-204, (2013).
- [3] Özkul M., Varol B. and Alçıçek M.C., "Depositional environments and petrography of the Denizli travertines", *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 125: 13-29, (2002).

- [4] Török A. and Vásárhelyi B., “The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary”, *Engineering Geology*, 115:237-245, (2010).
- [5] Yağız S., “P-wave velocity test for the assessment of some geotechnical properties of rock materials”, *Bulletin of Materials Science*, 34: 943-957, (2011).
- [6] García-del-Cura M.A., Benavente D., Martínez-Martínez J. and Cueto N., “Sedimentary structures and physical properties of travertine and carbonate tufa building stones”, *Construction and Building Materials*, 28: 456-467, (2012).
- [7] Çobanoğlu İ. and Çelik S.B., (2012) Determination of strength parameters and quality assessment of Denizli travertines (SW Turkey). *Engineering Geology*, 129-130:38-47, (2012).
- [8] Çelik S.B., Çobanoğlu İ. and Atatanır L., “General material properties of Denizli (SW Turkey) travertines as a building stone”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73: 825-838, (2014).
- [9] Ağan C., “A preliminary study on the conservation and polishing performance of Şanlıurfa limestones as a traditional building material”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75: 13-25, (2016).
- [10] Toksöz M.N., Cheng C.H. and Timur A., “Velocities of Seismic Waves in Porous Rocks”, *Geophysics*, 41(4): 621-645, (1976).
- [11] Kahraman S., “The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks”, *Ultrasonics*, 46: 341-348, (2007).
- [12] Karakul H. and Ulusay R., “Kayaların Dayanım Özelliklerinin Farklı Doygunluk koşullarında P-dalga Hızından Kestirimi ve P-Dalga Hızının Fiziksel Özelliklere Olan Duyarlılığı”, *Yerbilimleri*, 33(3): 239-269, (2012).
- [13] Soete J., Kleipool L.M., Claes H., Claes S., Hamaekers H., Kele S., Özkul M., Foubert A., Reijmer J.J.G. and Swennen, R., “Acoustic properties in travertines and their relation to porosity and pore types”, *Marine and Petroleum Geology*, 59: 320-335, (2015).
- [14] Kuşçu M. ve Demiray Z., “Mermer ve Yapıtaşı Olarak Kullanılan Farklı Jeolojik Kökenli Kayaçların Porozite, P-Dalga Hızı ve Basınç Dayanımı İlişkisinin İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2): 16-23, (2015).
- [15] Çelik M.Y., “Afyonkarahisar yöresi tüflerinin fiziko-mekanik özelliklerinin ultrases dalga hızı ile ilişkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 961-970, (2017).
- [16] Deere D.U. and Miller R.P., “Engineering classification of intact rock”, *Technical Report AFWL-TR-65-116*, Kirtland Air Force Base, New Mexico, 300p, (1966).
- [17] Katz O., Reches Z. and Roegiers J-C., “Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37: 723-728, (2000).
- [18] Kahraman S., “Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38: 981-994, (2001).
- [19] Palchik V. and Hatzor Y.H., “The influence of porosity on tensile and compressive strength of porous chalk”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 37(4): 331-341, (2004).
- [20] Yaşar E. and Erdoğan E., “Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young’s modulus of carbonate rocks”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41: 871-875, (2004).
- [21] Karakuş M., Kumral M. and Kılıç O., “Predicting elastic properties of intact rocks from index tests using multiple regression modelling” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42:323-330, (2005).
- [22] Fener M., Kahraman S., Bilgil A. and Günaydın O., “A comparative Evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 38(4): 329-343, (2005).
- [23] Sharma P.K. and Singh T.N., “A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(1): 17-22, (2008).
- [24] Yağız S., “Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using Schmidt hammer”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68: 55-63, (2009).
- [25] Yılmaz I. and Yüksek G., “Prediction of the strength and elasticity modulus of gypsum using multiple regression”, ANN, and ANFIS models. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(4): 803-810, (2009).
- [26] Dehghan S., Sattari G.H., Chehreh C.S. and Aliabadi M., “Prediction of unconfined compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks” *Mining Science and Technology*, 20: 41-46, (2010).
- [27] Sharma P.K., Khandelwal M. and Singh T.N., “A correlation between Schmidt hammer rebound numbers with impact strength index, slake durability index and P-wave velocity” *International Journal of Earth Sciences*, 100(1): 189-195, (2011).
- [28] Altındağ R., “Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112: 229-237, (2012).
- [29] Ersoy H. and Kanık D., “Multicriteria decision-making analysis based methodology for predicting carbonate rocks’ uniaxial compressive strength”, *Earth Sci Res SJ* 16(1): 65-74, (2012).
- [30] Ceryan N., Okkan U. and Kesimal A., "Prediction of unconfined compressive strength of carbonate rocks using artificial neural networks”, *Environmental Earth Sciences*, 68: 807-819, (2013).
- [31] Karakul H. and Ulusay R., “Empirical correlations for predicting strength properties of rocks from P-wave velocity under different degrees of saturation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46: 981-999, (2013).
- [32] Momeni E., Nazir R., Armaghani D.J. and Mohamad E.T., “Prediction of unconfined compressive strength of rocks: a review paper” *Jurnal Teknologi*, 77(11): 43-50, (2015).
- [33] Selçuk L. and Nar A., “Prediction of uniaxial compressive strength of intact rocks using ultrasonic pulse velocity and rebound-hammer number”, *Quarterly*

- Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 49(1): 67-75, (2015).
- [34] Parent T., Domede N., Sellier A. and Mouatt L., "Mechanical characterization of limestone from sound velocity measurement", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (79): 149-156, (2015).
- [35] Madhubabu N., Singh P.K., Kainthola A., Mahanta B., Tripathy A. and Singh T.N., "Prediction of compressive strength and elastic modulus of carbonate rocks", *Measurement*, 88: 202-213, (2016).
- [36] Azimian A., "Application of statistical methods for predicting uniaxial compressive strength of limestone rocks using nondestructive tests", *Acta Geotechnica*, 12: 321-333, (2017).
- [37] ASTM, "Standard practice for preparing rock core specimens and determining dimensional and shape tolerances (Designation: D 4543). *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, PA, USA, (1985).
- [38] Anon, "Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, (19): 364-371, (1979).
- [39] Proceq, Pundit lab/Pundit lab+ ultrasonic instrument operating instructions. Proceq SA, 31p, (2014).
- [40] Jeager J.C. and Cook N.G.W. "*Fundamentals of Rock Mechanics*" 3rd ed., Chapman and Hall, London, (1979).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Türkiye'deki illerin elektrik tüketim etkinliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi

Evaluation of effectiveness of electricity consumption of provinces in Turkey with data envelopment analysis

Yazar(lar) (Author(s)): İbrahim KOÇAK¹, Kurtuluş BORAN²

ORCID¹: 0000-0001-5650-3246

ORCID²: 0000-0003-0184-8233

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Koçak İ. ve Boran K., "Türkiye'deki illerin elektrik tüketim etkinliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 351-365, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.444371

Türkiye'deki İllerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İbrahim KOÇAK^{1*}, Kurtuluş BORAN²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 08.01.2018 ; Kabul/Accepted : 25.05.2018)

ÖZ

Enerji, günümüz dünyasındaki ülkelerin güçlerinin ve gelişmişliklerinin önemli bir göstergesidir. Enerji denildiğinde akla gelen en önemli bileşenlerden bir tanesi elektriktir. Ülkeler, insanların yaşam kalitesini düşürmeden, elektriğin etkin ve verimli kullanılmasını sağlamak için çalışma yapmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki illerin elektrik tüketimi bazındaki etkinlik değerleri ile etkin olmayan illerin etkin olması için gerçekleştirilmesi gereken potansiyel iyileştirmeleri belirlemektir. Bu çalışmada, veri zarflama analizi ile Türkiye'deki 81 ilin tüketici türü bazında 2016 yılı elektrik tüketimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada veri zarflama analizi modellerinden olan Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen girdiye yönelik CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) modeli ve Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilen girdiye yönelik BCC (Banker, Charnes, Cooper) modeli uygulanmıştır. Modellerin çözümünde EMS paket programı kullanılarak 81 ile ait etkinlik değerleri ölçülmüştür. Böylece etkin olan ve etkin olmayan iller tespit edilmiştir. Etkin olmayan illerin etkin olabilmesi için potansiyel iyileştirmeler belirlenerek genel değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışma, elektriğin etkin kullanımı konusunda etkin olmayan iller ve bu illere ait potansiyel iyileştirmelerin belirlenmesi ile elektriğin etkin kullanımına yönelik alınacak olan karar ve aksiyonlarda hangi illere ve hangi tüketici türüne öncelik verileceği hususunda karar vericilere fayda sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Veri zarflama analizi, elektrik tüketimi, etkinlik.

Evaluation of Effectiveness of Electricity Consumption of Provinces in Turkey with Data Envelopment Analysis

ABSTRACT

Energy is an important indicator of the strengths and developments of the countries of today's world. One of the most important components that come to mind when energy is mentioned is electricity. Countries are doing a lot of work to reduce electricity consumption without lowering people's quality of life in order to ensure productive and effectiveness use of electricity. The aim of this study is to determine the electricity consumption of provinces in Turkey effectiveness value for the effective use of electricity and the potential improvements that must be made in order for the non-effective provinces to be effective. In this study, data envelopment analysis was used to compare the consumption of electricity in the year 2016 with the consumer type of 81 provinces in Turkey. In the comparison made, CCR (Charnes, Cooper and Rhodes model - developed by Charnes, Cooper and Rhodes) and BCC (Banker, Charnes and Cooper model - developed by Banker, Charnes and Cooper) models for input were applied. Effectiveness values of 81 provinces were measured by using EMS package program in the solution of the models. Thus, effective and non-effective provinces have been identified. For non-effective provinces to be effective, potential improvements have been determined and general evaluation has been made. This study will provide the following benefits for the decisions and actions to be taken for the effective use of electricity: which province and consumer type will be given priority.

Keywords: Data envelopment analysis, electricity consumption, effectiveness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan hayatının vazgeçilmezlerinden olan enerji, günümüz dünyasındaki ülkelerin güçlerinin ve gelişmişliklerinin önemli bir göstergesidir. Enerji denildiğinde akla gelen en önemli bileşenlerden bir tanesi elektriktir.

Elektrik, ikincil bir enerji kaynağı olduğu için temel enerji kaynaklarından farklıdır. Elektrik üretmek için enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Bu enerji kaynaklarına kömür, doğalgaz, fuel oil, biokütle vb örnek verilebilir. Elektrik, enerjiyi bir yerden diğerine taşımının etkin ve güvenli bir yolu olduğu için bir enerji taşıyıcı olarak adlandırılmakta ve pek çok amaç için kullanılmaktadır. Teknolojinin daha fazla kullanılmasıyla elektriğe olan talep de artmaktadır. Bu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : kocak_ibrahim@hotmail.com

noktada elektriğin etkin bir şekilde kullanılması oldukça önem kazanmaktadır [1].

Hayatı rahat, üretken ve keyifli hale getirmek için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ulaşım, yemek, sağlık, ısıtma, soğutma, imalat, aydınlatma ve eğlence vb. için her gün elektrik kullanılmaktadır [1].

Elektriğin kullanım etkinliği, elektriğin kaliteden ve üretimden taviz vermeden en verimli şekilde kullanılması olarak ifade edilebilir [2]. Elektriği daha az ve daha akıllıca kullanmak için birçok faaliyet yapılmaktadır. Bu faaliyetler elektriğin daha etkin kullanılmasını sağlayacak olan enerji tasarrufu ve enerji verimliliği faaliyetleridir [1].

Ülkeler, elektriğin etkin ve verimli kullanılmasını sağlamak için insanların yaşam kalitesini düşürmeden elektriğin daha az tüketilmesi yönünde birçok çalışma yapmaktadır. Türkiye’de de bu konuda çeşitli faaliyetler gerçekleştirilmekte ve gerekli mevzuat düzenlemeleri yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki illerin elektrik tüketimi bazında etkinlik değerleri ile etkin olmayan illerin etkin olması için gerçekleştirmesi gereken potansiyel iyileştirmeleri belirlemektir. Bu çalışma, elektriğin etkin kullanımı konusunda etkin olmayan iller ve bu illere ait potansiyel iyileştirmelerin belirlenmesi ile elektriğin etkin kullanımına yönelik alınacak olan karar ve aksiyonlarda hangi illere ve bu ildeki hangi tüketici türüne öncelik verileceği hususunda karar vericilere fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Türkiye’deki 81 ilin tüketici türü bazında 2016 yılı elektrik tüketimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada; 1978 senesinde ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından birbirlerine benzeyen karar verme birimlerinin (KVB) birbirlerine göre etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilen bir teknik olan veri zarflama analizi kullanılmıştır [3].

Farrell (1957)’in önerdiği göreceli etkinlik ölçüm yönteminin Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilmesi ile veri zarflama analizi yöntemi kısa bir sürede hem teorik hem de pratik alanda çok hızlı bir gelişim gösterme şansı bulmuştur. Yöntemin birçok alanda uygulanabilirliği hiç kuşkusuz teorik alandaki başarısından kaynaklanmaktadır [7]. Bir doğrusal programlama uygulaması olan Veri Zarflama Analizi; askeri, sağlık, tekstil, enerji, perakende, eğitim ve bankacılık sektörleri gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir.

Son yıllarda enerjide etkinlik ve verimliliğin önem kazanmasıyla birlikte enerji alanında veri zarflama analizi uygulamaları hız kazanmıştır. Enerji verimliliği, yalıtım, elektrik dağıtımı ve elektrik üretimi gibi konularda veri zarflama analizi uygulamaları yapılmıştır. Bu kapsamda; Türkiye’de Termik Santrallerin İşletme ve Çevre Performansının Değerlendirilmesi (Sözen, Alp, ve Özdemir, 2010), İmalat Sektöründe Enerji Etkinliği (Özgür, 2011), Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik ve Verimlilik Analizi, (Düzgün, 2011), Japonya’daki Fosil Yakıtlı Güç Santrallerinin Değerlendirilmesi (Sueyoshi

ve Goto, 2011), Kuzey Afrika’da Yenilenebilir Enerjide 2025 Ufkuna Karşı Şimdiki Zaman Perspektif Optimizasyonu (Boubaker, 2012), Hidroelektrik Santrallerde Verimlilik Değerlendirmesi (Sözen, Alp ve Kılınc, 2012), Çin’deki Büyük Kömürlü Elektrik Santrallerin Deregülasyon, Dikey Ayrıştırma ve Performansı (Zhao ve Ma, 2013), Kömürlü Elektrik Santrallerinde Enerji Verimliliği (Song, Li, Zhang, He ve Tao, 2014), İran Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Performans Değerlendirmesi (Omranı, Beiragh ve Kalebari, 2015), Türkiye’deki Rüzgar Enerji Santrallerinin Göreceli Etkinliklerinin Ölçülmesi (Ömürgönülşen, Emre ve Atıcı, 2016), Çin Termik Santralleri İçin Enerjinin Kısa Dönem Verimliliğinin Kısa Dönem Dinamiklerinin Açıklayan Melez Bir Model (Li, Song ve Tao, 2016), İspanya’da Elektrik Dağıtımında Bir DEA Analizi: Endüstriyel Bir Politika Önerisi (Vargas, Hernandez ve Caro, 2017), ABD’de Büyük Rüzgar Santrallerinin Verimliliğinin Değerlendirilmesi: İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi Uygulaması (Sağlam, 2017), Parametrik ve Parametrik Olmayan Verimlilik Değerlendirmesi ve Karşılaştırılması: Türkiye Elektrik Santralleri Örneği (Sarica, 2017), Çin’de Karmaşık Kampüs Binaları İçin Elektrik Tüketiminin Karşılaştırmalı Analizi (Ding, Zhang, Zhang, Lv, Yang ve Zhu, 2018), Doğru Kıstasın Bulunması: Elektrik Şebekelerinin Heterojen Ortamlar Altında Düzenlenmesi (Bjorndal, Bjorndal, Cullmann ve Nieswand, 2018), Elektrik Sektöründe Ekonomik Büyümenin Çevresel Verimliliğe Etkisi (Halkos ve Polemis, 2018) gibi çalışmalar yapılmıştır.

Literatürde elektrik tüketim etkinliği ile ilgili çalışmalar da yer almaktadır. Bu alanda; Çin’de Elektrik Kullanımı Etkinliğinin Dinamik Değişimi (Ding ve Li, 2010), Veri Zarflama Analizine Dayalı Toplam Faktör Verimliliği, Elektrik Tüketim Etkinliği ve Etki Faktör Analizi (Shu, Zhong ve Zhang, 2011), Çin Evlerinde Elektrik Tüketim Etkinliğine Yönelik Bir Sınır Talep Analizi (Broadstock, Li ve Zhang, 2016) gibi çalışmalar yapılmıştır. Deliktaş ve Günal (2017) tarafından yapılan Alt-Orta, Üst-Orta ve Yüksek Gelir Gruplarında Yer Alan Ülkelerin Enerji Kullanım Etkinliklerinin Ölçülmesi: Veri Zarflama Analizi çalışmasında ise gelir gruplarına göre ülkelerin enerji tüketimi etkinlikleri belirlenmiş ve bu çalışmanın enerji tüketimine yönelik geliştirilecek politikalara katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Bu çalışmada veri zarflama analizi ile karşılaştırmaların yapılabilmesi için kullanılacak olan girdi ve çıktı değişkenleri tespit edilerek uygulanması gereken veri zarflama analizi modelleri belirlenmiştir. Modellerin çözümünde EMS paket programı kullanılarak 81 ile ait etkinlik değerleri ölçülmüştür. Böylece etkin olan ve etkin olmayan iller tespit edilmiştir. Etkin olmayan illerin etkin olabilmesi için çözüm önerilerinde bulunulmuş ve genel değerlendirme yapılmıştır.

Türkiye’deki illerin 2016 yılı için tüketici türü bazında elektrik tüketimi ve tüketici sayısı ile ilgili girdi ve çıktı değişkenlerine yönelik veriler Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’nun (EPDK) Elektrik Piyasası 2016 Yılı

Gelişim Raporu ve bilgi edinme sistemi aracılığı ile elde edilmiştir [4,5]. Teknik ve teknik olmayan kayıplar ile satış kabul edilmeyen tüketimler faturaya konu edilmeyen tüketimler olduğu için çalışmaya dahil edilmemiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Karar vericiler açısından birden fazla karar noktası söz konusu olduğunda bu karar noktalarının etkinliklerini belirlemek ve alınacak olan kararı bu etkinlikler çerçevesinde şekillendirmek önem arz etmektedir. Bu bağlamda karar vericiler için karar noktalarına ait etkinlik sıralaması önemlidir. Karar vericiler, diğerlerine göre daha az etkin olan karar noktalarının etkinliklerinin artırılmasını sağlayacak kararların etkinliğini nasıl değiştireceğini de bilmek isterler [17].

Veri zarflama analizi, benzer girdi ve çıktıları sahip karar noktalarının etkinliklerini belirlemek için kullanılan ve doğrusal programlamaya dayalı olan bir analiz yöntemi şeklinde tanımlanabilir [17].

Veri zarflama analizi 1978 senesinde ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından birbirlerine benzeyen karar verme birimlerinin birbirlerine göre etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilen bir tekniktir. Bu tekniğin kullanıldığı ilk dönemler kar amacı taşımayan organizasyonların etkinliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Daha sonralarda ise kar amacı taşıyan organizasyonlar arasında da organizasyonların birbirlerine göre etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Birden fazla girdi ve birden fazla çıktının yer aldığı sistemlerde bir üretim fonksiyonu öngörüsü olmaksızın kullanılabilmesi veri zarflama analizinin ile ortaya çıkan bir yeniliktir [3].

Veri zarflama analizi; çoklu girdiyi çoklu çıktıya dönüştüren, esnek ve kapsamlı olan eş ve benzer kuruluşların (karar verme birimlerinin) etkinliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan veriye dayalı bir yöntemdir. Veri zarflama analizi çok çeşitli faaliyetlerde çok çeşitli kuruluşlar tarafından kullanılmaktadır. Veri zarflama analizi diğer yaklaşımlara nazaran daha az varsayım gerektirmekle birlikte farklı durumlar için yapılabilecek varsayımlara da olanak tanımaktadır [6].

3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELLERİ (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS MODELS)

Veri zarflama analizi, çıktıların ağırlıklı toplamalarının girdilerin ağırlıklı toplamalarına bölümü temeline dayanır. Charnes, Cooper ve Rhodes'in 1978 senesinde geliştirdiği çıktıları sabit tutarak girdiler bazında etkinliğin ölçülmesinde kullanılan girdiye yönelik CCR (Charnes, Cooper ve Rhodes) modeli ve girdileri sabit tutarak çıktılar bazında etkinliğin ölçülmesinde kullanılan çıktıya yönelik CCR modeli ile yönelimsiz olan CRS (Constant Return to Scale- Ölçeğe Göre Sabit Getiri) modeli ölçeğe göre sabit getiri durumlarında uygulanmaktadır. Banker, Charnes ve Cooper'ın 1984

senesinde geliştirdiği çıktıları sabit tutarak girdiler bazında etkinliğin ölçülmesinde kullanılan girdiye yönelik BCC (Banker, Charnes ve Cooper) modeli ve girdileri sabit tutarak çıktılar bazında etkinliğin ölçülmesinde kullanılan çıktıya yönelik BCC modeli ile yönelimsiz VRS (Variable Return to Scale-Ölçeğe Göre Değişken Getiri) modeli ölçeğe göre değişken getiri durumlarında uygulanmaktadır [9].

Veri zarflama analizinin uygulanması, karar verme birimlerinin seçimi, girdi ve çıktıların seçimi, veri zarflama analizi modelinin seçimi ve uygulanması, etkinliklerin belirlenmesi, etkin olmayan sınırlar için potansiyel iyileştirmeler ve sonuçların değerlendirilmesi adımlarından oluşmaktadır [18]. Adımların uygulanmasına yönelik işlemler 4. Bölümde yer almaktadır.

3.1. Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) Modeli (Charnes, Cooper ve Rhodes Model)

CCR modeli girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olarak kullanılabilen ve ölçeğe göre sabit getiri söz konusu olduğu durumlarda toplam etkinliğin hesaplanmasına yarayan bir veri zarflama analizi modelidir [9].

Karar verme birimlerinin girdi miktarlarında olabilecek fazlalıkları belirlemede kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir [10].

Amaç fonksiyonu:

$$Enk\theta_k - \varepsilon \sum_{i=1}^m S_i^- - \varepsilon \sum_{r=1}^s S_r^+ \quad 3.1$$

Kısıtlar:

$$S_i^- = \theta_k X_{ik} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j \quad 3.2$$

$$S_r^+ = \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_{jk} - Y_{rk} \quad 3.3$$

$$\lambda_{jk}, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \quad 3.4$$

Parametreler:

Enk : En küçükleme

u_r : k . karar verme birimi tarafından r . çıktıya verilen ağırlık

v_i : k . karar verme birimi tarafından i . girdiye verilen ağırlık

Y_{rk} : k . karar verme birimi tarafından üretilen r . çıktı

X_{ik} : k . karar verme birimi tarafından kullanılan i . Girdi

Y_{rj} : j . karar verme birimi tarafından üretilen r . çıktı

X_{ij} : j . karar verme birimi tarafından kullanılan i . Girdi

n : karar verme birimi sayısı

m : karar verme birimi sayısı

Veri zarflama analizi tekniğinde herhangi bir karar verme biriminin görece etkin olabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir.

- $\theta = 1$
- $S_i^- = 0$ ve $S_r^+ = 0$

Burada θ etkinlik skorunu ifade ederken λ_j ise girdiye yönelik modeller için j . karar verme biriminin aldığı yoğunluk değerini göstermekte ve aynı zamanda etkin olmayan karar verme biriminin etkin olabilmek için referans alması gereken veya taklit etmesi gereken karar verme birimini ifade etmektedir. ε değeri 10^{-6} gibi pozitif çok küçük bir değer olarak ifade edilmektedir. Ayrıca dual forma çevrilen modelde S_i^- girdi miktarı için aylak değişkeni belirtirken S_r^+ çıktı miktarı için aylak değişkeni belirlemektedir. Diğer bir deyişle S_i^- fazla miktarda kullanılan girdileri ifade ederken S_r^+ ise eksik olan çıktıları ifade etmektedir [11].

Burada amaç girdi miktarlarını en küçükleyerek etkinlikleri belirlemektir. Denklem 3.2'de karar verme birimlerinin girdilerinin etkinlik skoru ile çarpımından, karar verme birimlerinin yoğunlukları ile çarpılmış girdilerinin toplamının çıkarılması ile girdilerdeki fazlalıklar belirlenmektedir. Amaç fonksiyonu ise girdi miktarları minimize ederek belirlenecek etkinlik skorunu ifade etmektedir. Böylece hem etkinlik skorları belirlenmekte hem de girdilerdeki fazlalıklar tespit edilebilmektedir.

3.2. Banker, Charnes ve Cooper (BCC) Modeli

(Banker, Charnes ve Cooper Model)

BCC modelleri ile CCR modelleri arasındaki farklılık konvekslik kısıtından kaynaklanmaktadır. Bu konvekslik kısıtı CCR modellerinin dual formlarına eklenmektedir. Aşağıda verilmiş olan konvekslik kısıtı, etkinlik sınırının yani BCC modellerinin ölçeğe göre değişken getiri varsayımının gerçekleştirilmesini sağlamaktadır [12]. BCC modeline eklenen konvekslik kısıtı ile etkinlik sınırının daha kapsayıcı olması sağlanmaktadır.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} = 1 \quad 3.5$$

4. TÜRKİYE'DEKİ İLLERİN ELEKTRİK TÜKETİMLERİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

(EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF PROVINCES IN TURKEY WITH DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

Elektrik tüketimi gün geçtikçe artmakta ve bunun neticesinde elektriğin etkin ve verimli kullanılması önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, yapılan çalışmada Türkiye'deki illerin elektrik tüketimlerinin karşılaştırılması ile elektrik tüketimi bazında etkin ve verimli olan iller tespit edilmiş ve etkin olmayan illerin ise etkin olabilmesi için gerçekleştirilecek potansiyel iyileştirmeler belirlenmiştir. Bu çalışma Türkiye'de bulunan 81 ili kapsamaktadır.

4.1. Karar Verme Birimlerinin Seçilmesi (Selection of Decision Making Units)

Karar verme birimleri veri zarflama analizi ile karşılaştırılacak olan, aynı girdiler ile aynı çıktıları elde edecek birimleri ifade etmektedir ve KVB kısaltması ile

gösterilmektedir [13]. Karar verme birimlerinin birbirlerine benzer yapıya sahip olması, ulaşılabilecek sonuçların doğruluğunun daha kuvvetli olması açısından son derece önemlidir [7]. Bu kapsamda Türkiye'deki tüm iller karar verme birimi olarak belirlenmiştir.

4.2. Girdi ve Çıktıların Seçilmesi (Selection of Inputs and Outputs)

Veri zarflama analizi ile gerçekleştirilen etkinlik ölçümünün, anlamlı olması ve karar verme birimlerinin durumunu en iyi şekilde ortaya koyabilmesi için seçilecek olan girdilerin ve çıktıların sistemi en iyi şekilde tanımlayabilecek girdilerden ve çıktılarından meydana gelmesi gerekmektedir [14].

Çizelge 2. Girdi ve çıktı değişkenleri (Input and output variables)

Girdiler : (Tüketici bazında elektrik tüketimleri)	Aydınlatma Mesken Sanayi Ticarethane
Çıktılar :	Tüketici Sayısı

4.3. Veri Zarflama Analizi Modelinin Seçilmesi (Selection of Data Envelopment Analysis Model)

Bu çalışmada illerin hem teknik, hem toplam ve hem de ölçek etkinliklerini belirlemek amacıyla CCR ve BCC modellerinin her ikisi de kullanılmıştır. Bu çalışmada amaç, elektrik tüketimlerini minimize ederek karar verme birimlerinin etkinliklerini belirlemek olduğu için girdiye yönelik modeller kullanılmıştır.

Çalışmada CCR ve BCC modelleri ile elde edilen sonuçlarda bazı farklılıklar vardır. Bunun nedeni BCC modelinin konveks bir yapıya sahip olması ve etkinlik sınırının karar verme birimlerini CCR modeline göre daha sıkı sarmasıdır. Bu nedenle CCR modeli ile elde edilen etkinlik skoru, BCC modeli ile elde edilen etkinlik skorundan daha küçük veya bu değerlere eşit olacaktır [15].

4.4. Uygulama (Application)

Veri zarflama analizinin çözümünde kullanılmak üzere çeşitli programlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada Holger Scheel tarafından geliştirilen Efficiency Measurement System - EMS v1.3 paket programından yararlanılmıştır [16].

Türkiye'deki illerin 2016 yılı için elektrik tüketimi ve tüketici sayısı ile ilgili girdi ve çıktı değişkenlerine yönelik veriler, EPDK'nın Elektrik Piyasası 2016 Yılı Gelişim Raporu ve bilgi edinme sistemi aracılığı ile elde edilmiştir [4,5]. Modelin uygulanmasında kullanılacak olan karar verme birimlerine ait girdi ve çıktı değişkenleri ile ilgili verileri Çizelge 3.'de verilmiştir.

Çizelge 3. Girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler (Data of input and output variables)

İLLER	GİRDİLER (Tüketici bazında tüketimler) (MWh)				TOPLAM TÜKETİM (MWh)	ÇIKTILAR (Adet) Tüketici Sayısı
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane		
ADANA	92.968,09	1.622.527,89	2.794.993,28	1.521.749,49	6.032.238,75	1.050.298
ADYAMAN	24.053,21	245.164,21	505.674,53	268.364,26	1.043.256,21	208.954
AFYONKARAHİSAR	52.005,48	359.914,47	470.858,76	608.714,65	1.491.493,36	405.887
AĞRI	16.875,67	160.516,80	12.158,93	137.904,58	327.455,98	162.986
AKSARAY	22.742,10	189.860,42	182.929,62	278.697,85	674.229,99	200.886
AMASYA	29.344,27	189.893,95	149.624,77	169.630,99	538.493,98	195.371
ANKARA	252.528,13	3.768.377,18	2.967.998,57	5.156.008,14	12.144.912,02	2.876.574
ANTALYA	160.918,94	2.303.248,91	1.055.857,50	3.541.572,67	7.061.598,02	1.563.034
ARDAHAN	8.897,20	46.014,94	2.816,99	57.291,03	115.020,16	52.572
ARTVİN	26.283,95	115.131,25	125.939,68	98.547,20	365.902,08	117.363
AYDIN	72.846,95	866.813,35	519.065,13	893.747,47	2.352.472,90	653.578
BALIKESİR	94.426,72	817.609,75	1.183.967,28	864.255,23	2.960.258,98	905.058
BARTIN	22.298,56	121.084,78	212.581,59	92.793,27	448.758,20	133.420
BATMAN	19.574,74	229.801,62	215.687,90	216.941,90	682.006,16	168.277
BAYBURT	8.268,20	41.030,62	3.060,94	38.770,05	91.129,81	46.570
BİLECİK	18.820,07	103.094,49	1.277.820,37	202.480,55	1.602.215,48	127.948
BİNGÖL	10.284,64	103.487,47	45.745,41	103.054,19	262.571,71	112.405
BİTLİS	17.722,16	125.326,25	22.512,22	125.166,72	290.727,35	103.576
BOLU	27.437,97	172.754,36	488.793,60	307.371,67	996.357,60	167.153
BURDUR	22.692,57	156.107,71	542.856,53	156.338,41	877.995,22	167.593
BURSA	109.717,53	1.781.249,42	5.868.638,27	2.015.941,74	9.775.546,96	1.519.338
ÇANAKKALE	41.956,48	324.829,74	2.697.231,81	429.822,93	3.493.840,96	364.936
ÇANKIRI	18.995,09	98.004,54	190.750,29	102.354,62	410.104,54	124.149
ÇORUM	37.959,53	275.436,99	232.127,57	219.042,39	764.566,48	331.243
DENİZLİ	70.655,63	630.531,22	1.817.624,62	677.551,85	3.196.363,32	545.315
DİYARBAKIR	38.390,31	635.580,51	421.132,68	714.375,93	1.809.479,43	501.446
DÜZCE	28.680,30	212.835,39	546.771,99	216.216,64	1.004.504,32	175.288
EDİRNE	30.779,48	274.899,77	409.348,01	334.628,62	1.049.655,88	236.417
ELAZIĞ	33.883,32	270.787,23	633.660,72	371.355,14	1.309.686,41	313.851
ERZİNCAN	19.073,46	108.756,86	100.857,47	143.493,41	372.181,20	144.790
ERZURUM	41.133,79	349.175,43	178.518,22	380.123,45	948.950,89	343.994
ESKİŞEHİR	44.635,76	538.485,83	1.338.353,18	637.873,96	2.559.348,73	544.714
GAZİANTEP	71.571,71	1.026.467,29	4.461.694,17	1.107.444,55	6.667.177,72	677.672
GİRESUN	54.290,84	279.644,28	65.140,17	200.673,76	599.749,05	303.835
GÜMÜŞHANE	15.066,75	64.470,80	246.809,75	62.930,44	389.277,74	87.316
HAKKARİ	11.712,82	71.456,45	754,53	86.102,91	170.026,71	66.554
HATAY	72.198,68	1.007.483,70	2.249.426,81	822.210,28	4.151.319,47	706.243
İĞDIR	11.213,06	82.218,95	5.862,26	82.262,18	181.556,45	71.051
ISPARTA	36.884,29	282.530,22	464.556,27	327.980,52	1.111.951,30	269.770

Çizelge 3.(devam) Girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler (Data of input and output variables)

İLLER	GİRDİLER (Tüketici bazında tüketimler) (MWh)				TOPLAM TÜKETİM (MWh)	ÇIKTILAR (Adet) Tüketici Sayısı
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane		
İSTANBUL	464.571,25	10.901.218,58	9.769.836,44	15.790.952,65	36.926.578,92	7.624.278
İZMİR	206.892,06	4.047.017,48	7.891.361,56	3.716.871,25	15.862.142,35	2.295.461
KAHRAMANMARAŞ	55.904,43	458.895,74	2.855.639,37	595.990,05	3.966.429,59	426.680
KARABÜK	22.540,90	144.165,13	220.527,50	150.112,83	537.346,36	158.458
KARAMAN	15.348,15	123.387,50	217.060,77	166.539,84	522.336,26	143.610
KARS	13.571,08	116.341,08	71.517,97	118.414,59	319.844,72	113.858
KASTAMONU	40.238,34	201.368,32	362.133,27	179.978,86	783.718,79	275.467
KAYSERİ	102.809,25	722.649,13	1.863.727,43	710.816,49	3.400.002,30	668.736
KIRIKKALE	20.175,47	158.739,60	167.724,95	159.420,05	506.060,07	150.966
KIRKLARELİ	25.392,93	231.364,58	1.378.069,98	314.389,60	1.949.217,09	198.095
KİRŞEHİR	20.601,16	122.865,28	205.776,59	138.318,66	487.561,69	141.110
KİLİS	7.511,81	74.321,21	39.034,29	116.797,79	237.665,10	61.300
KOCAELİ	93.106,48	1.158.311,99	6.346.153,20	1.356.497,37	8.954.069,04	844.701
KONYA	141.307,24	1.138.372,83	1.813.013,87	1.436.013,92	4.528.707,86	1.102.562
KÜTAHYA	41.565,08	275.115,65	797.186,96	364.394,98	1.478.262,67	372.831
MALATYA	45.761,83	377.528,60	558.242,81	443.360,70	1.424.893,94	406.430
MANİSA	72.043,95	861.327,03	2.116.944,87	940.255,79	3.990.571,64	765.686
MARDİN	25.805,10	292.156,89	288.805,60	366.729,77	973.497,36	249.631
MERSİN	88.831,49	1.382.852,86	1.618.756,13	1.252.508,07	4.342.948,55	953.969
MUĞLA	71.124,77	896.202,34	712.927,79	1.487.917,53	3.168.172,43	588.683
MUŞ	7.834,67	146.225,37	116.936,50	116.771,43	387.767,97	119.669
NEVŞEHİR	31.620,06	168.112,09	149.057,42	206.050,71	554.840,28	181.556
NİĞDE	31.709,02	165.821,12	502.392,07	182.388,98	882.311,19	194.602
ORDU	68.937,22	445.229,86	352.155,54	320.725,11	1.187.047,73	492.664
OSMANİYE	24.003,45	331.788,95	3.030.571,04	257.241,18	3.643.604,62	220.501
RİZE	42.408,43	229.004,47	226.280,63	208.076,97	705.770,50	232.904
SAKARYA	59.530,68	611.816,05	2.379.468,95	668.126,61	3.718.942,29	467.457
SAMSUN	96.423,07	799.843,97	848.836,69	718.549,99	2.463.653,72	760.104
SİİRT	15.364,14	117.095,11	132.899,30	107.761,59	373.120,14	89.426
SİNOP	21.616,89	146.463,59	72.846,38	92.328,13	333.254,99	158.681
SİVAS	49.993,17	318.070,88	396.653,72	305.423,52	1.070.141,29	357.487
ŞANLIURFA	54.045,14	841.145,27	740.524,49	876.445,51	2.512.160,41	565.157
ŞIRNAK	11.647,21	96.575,21	103.960,80	143.180,71	355.363,93	101.770
TEKİRDAĞ	48.491,24	589.859,94	4.693.001,76	800.665,21	6.132.018,15	556.531
TOKAT	39.795,31	307.556,69	222.746,08	230.030,53	800.128,61	316.980
TRABZON	78.993,06	595.471,77	203.622,73	491.777,13	1.369.864,69	527.861
TUNCELİ	9.327,72	38.176,30	8.789,68	54.935,36	111.229,06	55.815
UŞAK	21.687,27	195.075,55	826.647,22	405.486,77	1.448.896,81	210.071
VAN	18.099,80	410.753,93	102.969,09	366.098,47	897.921,29	333.685
YALOVA	16.166,35	180.320,60	148.856,93	192.712,27	538.056,15	194.517
YOZGAT	33.245,59	209.178,31	165.168,59	203.674,12	611.266,61	248.164
ZONGULDAK	72.384,41	405.236,06	493.495,50	308.390,63	1.279.506,60	380.806
GENEL TOPLAM	4.218.215,12	51.085.628	89.922.525	60.834.907,36	206.061.275,3	41.056.345

4.5. Uygulama sonuçları (Application results)

EMS paket programı yardımıyla CCR ve BCC modellerinin çözümü sonucu elde edilen etkinlik değerleri Çizelge 4.'te verilmiştir. Çizelge 4.'te verilen

sonuçlar ile etkin olmayan illerin elektriği etkin kullanmadığı diğer bir ifadeyle elektriği Çizelge 4.'te verilen etkinlik değeri oranında etkin kullandığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. CCR ve BCC modeli ile elde edilen etkinlik değerleri (Efficiency values obtained with CCR and BCC model)

No	KVB (İller)	CCR ETKİNLİK DEĞERİ	ETKİNLİK	BCC ETKİNLİK DEĞERİ	ETKİNLİK
1	ADANA	72,90%	Etkin Değil	89,11%	Etkin Değil
2	ADYAMAN	76,44%	Etkin Değil	76,45%	Etkin Değil
3	AFYONKARAHİSAR	89,48%	Etkin Değil	93,83%	Etkin Değil
4	AĞRI	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
5	AKSARAY	90,25%	Etkin Değil	90,49%	Etkin Değil
6	AMASYA	82,68%	Etkin Değil	83,09%	Etkin Değil
7	ANKARA	80,65%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
8	ANTALYA	71,31%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
9	ARDAHAN	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
10	ARTVİN	80,46%	Etkin Değil	81,63%	Etkin Değil
11	AYDIN	73,15%	Etkin Değil	90,86%	Etkin Değil
12	BALIKESİR	94,48%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
13	BARTIN	89,56%	Etkin Değil	91,72%	Etkin Değil
14	BATMAN	72,08%	Etkin Değil	72,26%	Etkin Değil
15	BAYBURT	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
16	BİLECİK	89,21%	Etkin Değil	89,31%	Etkin Değil
17	BİNGÖL	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
18	BİTLİS	72,50%	Etkin Değil	72,51%	Etkin Değil
19	BOLU	70,93%	Etkin Değil	72,43%	Etkin Değil
20	BURDUR	84,70%	Etkin Değil	86,72%	Etkin Değil
21	BURSA	93,24%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
22	ÇANAKKALE	89,41%	Etkin Değil	90,01%	Etkin Değil
23	ÇANKIRI	92,13%	Etkin Değil	93,91%	Etkin Değil
24	ÇORUM	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
25	DENİZLİ	74,40%	Etkin Değil	77,60%	Etkin Değil
26	DİYARBAKIR	86,91%	Etkin Değil	91,73%	Etkin Değil
27	DÜZCE	66,71%	Etkin Değil	67,81%	Etkin Değil
28	EDİRNE	73,20%	Etkin Değil	73,22%	Etkin Değil
29	ELAZIĞ	93,59%	Etkin Değil	93,96%	Etkin Değil
30	ERZİNCAN	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
31	ERZURUM	86,29%	Etkin Değil	95,79%	Etkin Değil
32	ESKİŞEHİR	97,34%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
33	GAZİANTEP	68,61%	Etkin Değil	72,31%	Etkin Değil
34	GİRESUN	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
35	GÜMÜŞHANE	97,99%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
36	HAKKARİ	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
37	HATAY	77,18%	Etkin Değil	88,49%	Etkin Değil
38	İĞDIR	81,42%	Etkin Değil	89,52%	Etkin Değil
39	ISPARTA	77,36%	Etkin Değil	77,50%	Etkin Değil
40	İSTANBUL	89,02%	Etkin Değil	100,00%	Etkin

Çizelge 4.(devam) CCR ve BCC modeli ile elde edilen etkinlik değerleri (Efficiency values obtained with CCR and BCC model)

No	KVB (İller)	CCR ETKİNLİK DEĞERİ	ETKİNLİK	BCC ETKİNLİK DEĞERİ	ETKİNLİK
41	İZMİR	66,46%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
42	KAHRAMANMARAŞ	75,99%	Etkin Değil	77,12%	Etkin Değil
43	KARABÜK	85,27%	Etkin Değil	86,35%	Etkin Değil
44	KARAMAN	95,11%	Etkin Değil	97,13%	Etkin Değil
45	KARS	85,65%	Etkin Değil	86,02%	Etkin Değil
46	KASTAMONU	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
47	KAYSERİ	73,68%	Etkin Değil	82,19%	Etkin Değil
48	KIRIKKALE	79,83%	Etkin Değil	80,42%	Etkin Değil
49	KIRKLARELİ	73,23%	Etkin Değil	73,72%	Etkin Değil
50	KİRŞEHİR	86,66%	Etkin Değil	87,46%	Etkin Değil
51	KİLİS	75,29%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
52	KOCAELİ	71,18%	Etkin Değil	75,89%	Etkin Değil
53	KONYA	79,72%	Etkin Değil	97,79%	Etkin Değil
54	KÜTAHYA	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
55	MALATYA	89,65%	Etkin Değil	92,57%	Etkin Değil
56	MANİSA	85,18%	Etkin Değil	91,29%	Etkin Değil
57	MARDİN	79,78%	Etkin Değil	81,32%	Etkin Değil
58	MERSİN	75,95%	Etkin Değil	93,29%	Etkin Değil
59	MUĞLA	64,49%	Etkin Değil	71,59%	Etkin Değil
60	MUŞ	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
61	NEVŞEHİR	80,07%	Etkin Değil	84,36%	Etkin Değil
62	NİĞDE	85,22%	Etkin Değil	85,33%	Etkin Değil
63	ORDU	95,22%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
64	OSMANIYE	74,85%	Etkin Değil	75,66%	Etkin Değil
65	RİZE	79,40%	Etkin Değil	80,95%	Etkin Değil
66	SAKARYA	68,74%	Etkin Değil	71,90%	Etkin Değil
67	SAMSUN	81,98%	Etkin Değil	98,25%	Etkin Değil
68	SİİRT	63,50%	Etkin Değil	69,37%	Etkin Değil
69	SİNOP	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
70	SİVAS	88,34%	Etkin Değil	91,73%	Etkin Değil
71	ŞANLIURFA	72,22%	Etkin Değil	77,48%	Etkin Değil
72	ŞIRNAK	89,29%	Etkin Değil	91,63%	Etkin Değil
73	TEKİRDAĞ	91,14%	Etkin Değil	93,78%	Etkin Değil
74	TOKAT	91,93%	Etkin Değil	92,68%	Etkin Değil
75	TRABZON	80,60%	Etkin Değil	100,00%	Etkin
76	TUNCELİ	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
77	UŞAK	91,60%	Etkin Değil	92,05%	Etkin Değil
78	VAN	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
79	YALOVA	100,00%	Etkin	100,00%	Etkin
80	YOZGAT	94,08%	Etkin Değil	97,36%	Etkin Değil
81	ZONGULDAK	76,74%	Etkin Değil	80,22%	Etkin Değil

CCR modeli ve BCC modeline ilişkin sonuçların kısa bir özeti Çizelge 5.'de verilmiştir. Etkin olmayan illerin etkin olabilmesi için tüketmesi gereken elektrik miktarı yani gerçekleştirmesi gereken hedef değerleri Çizelge

6.'da verilmiştir. Etkin olmayan illerin etkin olabilmesi için girdilerinde gerçekleştirilmesi gereken potansiyel iyileştirmeler Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelge 5. CCR ve BCC modeli istatistiksel verileri (CCR and BCC model statistical data)

	CCR	BCC
İl (KVB) Sayısı	81	81
Etkin Olan İl Sayısı	15	26
Etkin Olmayan İl Sayısı	66	55
En Düşük Etkinlik	63,50%	67,81%
En Yüksek Etkinlik	100,00%	100,00%
Ortalama Etkinlik	84,98%	89,61%
Etkin Olan İller	Ağrı, Ardahan, Bayburt, Bingöl, Çorum, Erzincan Giresun, Hakkari, Kastamonu, Kütahya, Muş, Sinop, Tunceli, Van, Yalova	Ağrı, Ardahan, Bayburt, Bingöl, Çorum, Erzincan Giresun, Hakkari, Kastamonu, Kütahya, Muş, Sinop, Tunceli, Van, Yalova Ankara, Antalya, Balıkesir, Bursa, Eskişehir, Gümüşhane, İstanbul, İzmir, Kilis, Ordu, Trabzon
En Düşük Etkiliğe Sahip İl	Siirt (BCC'ye göre 80. sırada)	Düzce (CCR'ye göre 78. sırada)

Çizelge 6. Hedef değerler (Target values)

İller	CCR Modeli				BCC Modeli			
	Hedef Değerler (MWh)				Hedef Değerler (MWh)			
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane
ADANA	92.968,09	1.622.527,89	1.243.999,89	1.521.749,49	92.968,09	1.363.448,18	2.794.993,28	1.521.749,49
ADIYAMAN	24.053,21	245.164,21	321.384,87	268.364,26	24.053,21	245.164,21	320.531,48	268.364,26
AFYON	52.005,48	359.914,47	470.858,76	464.982,51	51.509,72	359.914,47	470.858,76	349.640,94
AKSARAY	22.742,10	189.860,42	182.929,62	226.061,64	22.742,10	189.860,42	182.929,62	212.350,46
AMASYA	29.344,27	189.893,95	149.624,77	169.630,99	28.871,60	189.893,95	149.624,77	169.630,99
ANKARA	252.528,13	3.768.377,18	2.215.532,66	3.977.863,67	BCC modeline göre etkin			
ANTALYA	160.918,94	2.303.248,91	1.055.857,50	2.602.626,25	BCC modeline göre etkin			
ARTVİN	22.236,01	115.131,25	125.939,68	98.547,20	22.703,59	115.131,25	125.939,58	98.547,20
AYDIN	72.846,95	866.813,35	519.065,13	882.129,36	72.846,95	844.916,32	519.065,13	893.747,47
BALIKESİR	94.426,72	817.609,75	1.063.918,07	864.255,23	BCC modeline göre etkin			
BARTIN	21.257,31	121.084,78	148.957,91	92.793,27	21.781,82	121.084,78	198.263,64	92.793,27
BATMAN	19.574,74	229.801,62	164.872,89	216.941,90	19.574,74	229.801,62	191.082,18	216.941,90
BİLECİK	18.820,07	103.094,49	321.623,30	147.219,37	18.820,07	103.094,49	321.532,10	145.485,08
BİTLİS	17.722,16	125.326,25	22.512,22	125.166,72	17.722,16	125.326,25	22.512,22	125.166,72

Çizelge 6.(devam) Hedef değerler (Target values)

İller	CCR Modeli				BCC Modeli			
	Hedef Değerler (MWh)				Hedef Değerler (MWh)			
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane
BOLU	27.437,97	172.754,36	470.008,74	252.813,96	27.437,97	172.754,36	403.642,92	247.218,79
BURDUR	22.692,57	156.107,71	303.392,02	156.338,41	22.692,57	156.107,71	215.656,57	156.338,41
BURSA	109.717,53	1.781.249,42	1.180.172,96	1.729.877,67	BCC modeline göre etkin			
ÇANAKKALE	41.956,48	324.829,74	912.485,03	403.691,04	41.956,48	324.829,74	1.027.349,65	413.196,83
ÇANKIRI	18.995,09	98.004,54	184.324,24	102.354,62	18.995,09	98.004,54	113.097,22	102.354,62
DENİZLİ	70.655,63	630.531,22	1.067.999,15	677.551,85	70.655,63	630.531,22	1.155.086,53	677.551,85
DİYARBAKIR	38.390,31	635.580,51	307.392,82	620.969,72	38.390,31	635.580,51	421.132,68	662.926,30
DÜZCE	28.680,30	212.835,39	399.372,62	216.216,64	28.680,30	212.835,39	339.466,72	216.216,64
EDİRNE	30.779,48	274.899,77	409.348,00	322.748,43	30.779,48	274.899,77	409.348,01	321.000,94
ELAZIĞ	33.883,32	270.787,23	553.096,61	332.085,88	33.883,32	270.787,23	615.830,40	336.741,46
ERZURUM	41.133,79	349.175,43	178.518,22	373.558,66	41.133,79	349.175,43	178.518,22	284.715,71
ESKİŞEHİR	44.635,76	538.485,83	423.620,20	563.355,44	BCC modeline göre etkin			
GAZİANTEP	71.571,71	1.026.467,29	1.805.095,74	1.045.664,90	71.571,71	1.026.467,29	2.857.724,40	1.107.444,55
GÜMÜŞHANE	13.351,40	64.470,80	103.618,12	62.930,44	BCC modeline göre etkin			
HATAY	72.198,68	1.007.483,70	1.058.726,85	822.210,28	72.198,68	823.297,60	1.276.415,20	822.210,28
İĞDIR	11.213,06	82.218,95	5.862,26	81.939,46	11.213,06	75.038,61	5.862,26	68.530,40
ISPARTA	36.884,29	282.530,22	464.556,27	327.980,52	36.884,29	282.530,22	464.556,27	318.670,72
İSTANBUL	464.571,25	10.582.250,10	3.425.523,16	10.098.863,42	BCC modeline göre etkin			
İZMİR	206.892,06	4.047.017,48	3.559.468,72	3.716.871,25	BCC modeline göre etkin			
MARAŞ	55.904,43	458.895,74	1.351.837,77	562.488,00	55.904,43	458.895,74	1.602.479,20	581.699,63
KARABÜK	22.540,90	144.165,13	220.527,50	150.112,83	22.540,90	144.165,13	174.987,94	150.112,83
KARAMAN	15.348,15	123.387,50	217.060,77	149.471,86	15.348,15	123.387,50	160.945,40	140.440,67
KARS	13.571,08	116.341,08	71.517,97	118.414,59	13.571,08	116.341,08	66.154,42	118.414,59
KAYSERİ	102.809,25	722.649,13	1.325.828,51	710.816,49	94.838,22	722.649,13	1.136.006,15	710.816,49
KIRIKKALE	20.175,47	158.739,60	167.724,95	159.420,05	20.175,47	158.739,60	148.543,20	159.420,05
KIRKLARELİ	25.392,93	231.364,58	623.638,34	279.413,63	25.392,93	231.364,58	592.722,46	275.055,17
KIRŞEHİR	20.601,16	122.865,28	205.776,59	138.318,66	20.601,16	122.865,28	169.537,10	138.318,66
KİLİS	7.511,81	74.321,21	39.034,29	86.025,39	BCC modeline göre etkin			
KOCAELİ	93.106,48	1.158.311,99	2.413.333,53	1.242.337,55	93.106,48	1.158.311,99	3.837.103,09	1.323.210,30
KONYA	141.307,24	1.138.372,83	1.813.013,87	1.377.703,53	113.388,11	1.138.372,83	1.402.758,27	1.325.934,70
MALATYA	45.761,83	377.528,60	558.242,81	443.360,67	45.761,83	377.528,60	558.242,81	402.560,67
MANİSA	72.043,95	861.327,03	863.772,76	906.279,26	72.043,95	861.327,03	1.871.175,22	940.255,79
MARDİN	25.805,10	292.156,89	246.907,78	322.048,05	25.805,10	292.156,89	288.805,60	319.378,64
MERSİN	88.831,49	1.382.852,84	833.672,30	1.252.508,06	88.831,49	1.113.459,43	1.618.756,11	1.252.508,07
MUĞLA	71.124,77	896.202,34	655.281,79	1.122.906,69	71.124,77	896.202,34	712.927,79	1.088.466,30
NEVŞEHİR	31.620,06	168.112,09	149.057,42	206.050,71	27.872,35	168.112,09	149.057,42	190.569,52
NİĞDE	31.709,02	165.821,12	344.741,20	182.388,98	31.709,01	165.821,12	346.284,60	179.478,60
ORDU	68.937,22	445.229,86	352.155,54	320.725,11	BCC modeline göre etkin			
OSMANIYE	24.003,45	324.804,66	957.677,32	257.241,18	24.003,45	315.278,80	883.585,48	257.241,18
RİZE	42.408,43	229.004,47	226.280,63	208.076,97	37.129,58	229.004,47	226.280,63	208.076,97
SAKARYA	59.530,68	611.816,05	1.187.309,31	668.126,61	59.530,68	611.816,05	1.373.747,31	668.126,61
SAMSUN	96.423,07	799.843,97	712.826,37	718.549,99	89.228,35	731.860,23	848.836,69	718.549,99
SİİRT	15.364,14	117.095,11	132.899,30	107.761,59	15.364,14	117.095,11	71.769,71	107.761,59

Çizelge 6.(devam) Hedef değerler (Target values)

İller	CCR Modeli Hedef Değerler (MWh)				BCC Modeli Hedef Değerler (MWh)			
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane
SİVAS	49.993,17	318.070,88	396.653,71	305.423,52	47.755,02	318.070,88	396.653,72	283.184,92
ŞANLIURFA	54.045,14	841.145,27	512.623,65	832.638,06	54.045,14	833.599,04	740.524,49	876.445,51
ŞIRNAK	11.647,21	96.575,21	103.960,80	115.999,49	11.647,21	96.575,21	59.777,28	106.838,69
TEKİRDAĞ	48.491,24	589.859,94	809.168,04	629.904,49	48.491,24	589.859,94	1.681.341,77	703.786,48
TOKAT	39.795,31	293.367,34	222.746,08	230.030,53	39.795,31	290.386,85	222.746,08	230.030,53
TRABZON	78.993,06	595.471,77	203.622,73	491.777,13	BCC modeline göre etkin			
UŞAK	21.687,27	195.075,55	346.645,77	241.036,19	21.687,27	195.075,55	324.282,61	237.043,90
YOZGAT	33.245,59	209.178,31	165.168,59	203.674,12	32.080,38	209.178,31	165.168,59	190.120,83
ZONGULDAK	70.790,38	405.236,06	470.110,28	308.390,63	68.248,39	405.236,04	433.905,76	308.390,63

Çizelge 7. Potansiyel iyileştirmeler (Potential improvements)

İller	CCR Modeli Potansiyel İyileştirme Miktarı (MWh)				BCC Modeli Potansiyel İyileştirmeler Miktarı (MWh)			
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane
ADANA	0	0	1.550.993,39	0	0	259.079,71	0	0
ADYAMAN	0	0	184.289,66	0	0	0	185.143,05	0
AFYON	0	0	0	143.732,14	495,76	0	0	259.073,71
AKSARAY	0	0	0	52.636,21	0	0	0	66.347,39
AMASYA	0	0	0	0	472,67	0	0	0
ANKARA	0	0	752.465,91	1.178.144,47	BCC modeline göre etkin			
ANTALYA	0	0	0	938.946,42	BCC modeline göre etkin			
ARTVİN	4.047,94	0	0	0	3.580,36	0	0,1	0
AYDIN	0	0	0	11.618,11	0	21.897,03	0	0
BALIKESİR	0	0	120.049,21	0	BCC modeline göre etkin			
BARTIN	1.041,25	0	63.623,68	0	516,74	0	14.317,95	0
BATMAN	0	0	50.815,01	0	0	0	24.605,72	0
BİLECİK	0	0	956.197,07	55.261,18	0	0	956.288,27	56.995,47
BİTLİS	0	0	0	0	0	0	0	0
BOLU	0	0	18.784,86	54.557,71	0	0	85.150,68	60.152,88
BURDUR	0	0	239.464,51	0	0	0	327.199,96	0
BURSA	0	0	4.688.465,31	286.064,07	BCC modeline göre etkin			
ÇANAKKALE	0	0	1.784.746,78	26.131,89	0	0	1.669.882,16	16.626,1
ÇANKIRI	0	0	6.426,05	0	0	0	77.653,07	0
DENİZLİ	0	0	749.625,47	0	0	0	662.538,09	0
DİYARBAKIR	0	0	113.739,86	93.406,21	0	0	0	51.449,63
DÜZCE	0	0	147.399,37	0	0	0	207.305,27	0
EDİRNE	0	0	0,01	11.880,19	0	0	0	13.627,68
ELAZIĞ	0	0	80.564,11	39.269,26	0	0	17.830,32	34.613,68
ERZURUM	0	0	0	6.564,79	0	0	0	95.407,74
ESKİŞEHİR	0	0	914.732,98	74.518,52	BCC modeline göre etkin			
GAZİANTEP	0	0	2.656.598,43	61.779,65	0	0	1.603.969,77	0
GÜMÜŞHANE	1715,35	0	143.191,63	0	BCC modeline göre etkin			

Çizelge 7.(devam) Potansiyel iyileştirmeler (Potential improvements)

İller	CCR Modeli				BCC Modeli			
	Potansiyel İyileştirme Miktarı (MWh)				Potansiyel İyileştirmeler Miktarı (MWh)			
	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane	Aydınlatma	Mesken	Sanayi	Ticarethane
HATAY	0	0	1.190.699,96	0	0	184.186,1	973.011,61	0
İĞDIR	0	0	0	322,72	0	7.180,34	0	13.731,78
ISPARTA	0	0	0	0	0	0	0	9.309,8
İSTANBUL	0	318.968,48	6.344.313,28	5.692.089,23	BCC modeline göre etkin			
İZMİR	0	0	4.331.892,84	0	BCC modeline göre etkin			
MARAŞ	0	0	1.503.801,6	33.502,05	0	0	1.253.160,17	14.290,42
KARABÜK	0	0	0	0	0	0	45.539,56	0
KARAMAN	0	0	0	17.067,98	0	0	56.115,37	26.099,17
KARS	0	0	0	0	0	0	5.363,55	0
KAYSERİ	0	0	537.898,92	0	7.971,03	0	727.721,28	0
KIRIKKALE	0	0	0	0	0	0	19.181,75	0
KIRKLARELİ	0	0	754.431,64	34.975,97	0	0	785.347,52	39.334,43
KIRŞEHİR	0	0	0	0	0	0	36.239,49	0
KİLİS	0	0	0	30.772,4	BCC modeline göre etkin			
KOCAELİ	0	0	3.932.819,67	114.159,82	0	0	2.509.050,11	33.287,07
KONYA	0	0	0	58.310,39	27.919,13	0	410.255,6	110.079,22
MALATYA	0	0	0	0,03	0	0	0	40.800,03
MANİSA	0	0	1.253.172,11	33.976,53	0	0	245.769,65	0
MARDİN	0	0	41.897,82	44.681,72	0	0	0	47.351,13
MERSİN	0	0,02	785.083,83	0,01	0	269.393,43	0,02	0
MUĞLA	0	0	57.646	365.010,84	0	0	0	399.451,23
NEVŞEHİR	0	0	0	0	3.747,71	0	0	15.481,19
NİĞDE	0	0	157.650,87	0	0,01	0	156.107,47	2.910,38
ORDU	0	0	0	0	BCC modeline göre etkin			
OSMANİYE	0	6.984,29	2.072.893,72	0	0	16.510,15	2.146.985,56	0
RİZE	0	0	0	0	5.278,85	0	0	0
SAKARYA	0	0	1.192.159,64	0	0	0	1.005.721,64	0
SAMSUN	0	0	136.010,32	0	7.194,72	67.983,74	0	0
SİİRT	0	0	0	0	0	0	61.129,59	0
SİVAS	0	0	0,01	0	2.238,15	0	0	22.238,6
ŞANLIURFA	0	0	227.900,84	43.807,45	0	7.546,23	0	0
ŞIRNAK	0	0	0	27.181,22	0	0	44.183,52	36.342,02
TEKİRDAĞ	0	0	3.883.833,72	170.760,72	0	0	3.011.659,99	96.878,73
TOKAT	0	14.189,35	0	0	0	17.169,84	0	0
TRABZON	0	0	0	0	BCC modeline göre etkin			
UŞAK	0	0	480.001,45	164.450,58	0	0	502.364,61	168.442,87
YOZGAT	0	0	0	0	1.165,21	0	0	13.553,29
ZONGULDAK	1.594,03	0	23.385,22	0	4.136,02	0,02	59.589,74	0

CCR modeline ait potansiyel iyileştirmelerin değerlendirilmesini bir örnek ile açıklayacak olursak; Adana'nın etkin olabilmesi için sanayideki elektrik tüketimi 1550993,39 MWh, Adıyaman'nın etkin olabilmesi için sanayideki elektrik tüketimi 184289,66 MWh, Afyonkarahisar'ın etkin olabilmesi için ise

ticarethanedeki elektrik tüketimi 143732,14 MWh azaltılmalıdır.

Aynı örnek ile BCC modeline ait potansiyel iyileştirmeler değerlendirildiğinde ise Adana'nın etkin olabilmesi için meskendeki elektrik tüketimi 259079,71 MWh, Adıyaman'nın etkin olabilmesi için sanayideki elektrik tüketimi 185143,05 MWh, Afyonkarahisar'ın etkin olabilmesi için ise ticarethanedeki elektrik tüketimi 259073,71 MWh ve aydınlatmadaki elektrik tüketimi 495,76 MWh azaltılmalıdır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Etkinlik ölçme tekniklerinden olan veri zarflama analizi kullanılarak yapılan bu çalışmada elektrik tüketimi konusunda il bazında etkinlik değerleri belirlenmiş ve iyileştirme konusunda tespitlerde bulunulmuştur. Yapılan bu tespitlerin dikkate alınması enerji verimliliği konusunda daha etkin bir yöntem izlenmesine olanak sağlayacaktır.

CCR ve BBC modellerinin her ikisinin de kullanılması ile bu iki model arasındaki farklılıklar görülmüştür. CCR modelinde etkin çıkan iller BCC modelinde de etkin çıkmıştır. CCR modelinde 15 il etkin çıkarken BCC modelinde 26 il etkin çıkmıştır. Bu da BCC modelinin daha iyimser bir model olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 1.'de görüldüğü üzere özellikle CCR modelinin çözümüne göre Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz gibi sanayinin az olduğu bölgelerdeki etkin il sayısının diğer bölgelere göre oldukça fazla olduğu dikkat çekmektedir.

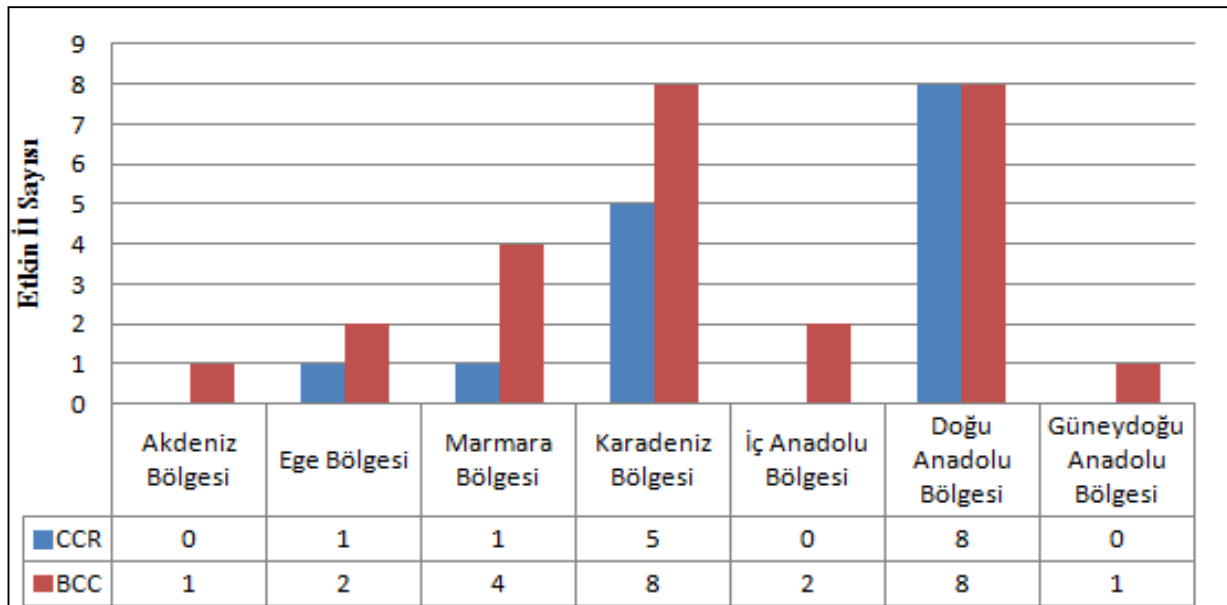
Marmara ve İç Anadolu Bölgesi gibi sanayisi çok olan bölgelerde de etkin il sayısının arttığı görülmektedir.

Yapılan çalışma neticesinde ağırlıklı olarak sanayi bazında elektrik tüketimleri az olan illerin etkin çıktıkları görülmektedir. Bu da sanayinin elektrik tüketimindeki payının önemli olduğunu göstermektedir. Genel olarak küçük sanayilere küçük şehirlerin sahip olduğu düşüncesi ile hareket edilirse etkin çıkan illerin çoğunluğunu küçük şehirlerin oluşturduğu görülmektedir.

CCR modeli dikkate alındığında elektrik tüketim etkililiğini artırma faaliyetlerine en az etkin olan Siirt ve Muğla gibi illerden başlanabilir. Ayrıca yine CCR modeli dikkate alındığında potansiyel iyileştirme değeri en yüksek olan İstanbul, Bursa ve İzmir gibi illerde söz konusu iyileştirmeyi gerçekleştirmek, elektrik tüketiminin miktarsal olarak daha çok azaltılmasına kısa vadede önemli katkı sağlayacak ve ekonomik katkısı daha büyük olacaktır.

BCC modeli dikkate alındığında ise elektrik tüketim etkililiğini artırma faaliyetlerine en az etkin olan Düzce ve Siirt gibi illerden başlanabilir. Ayrıca yine BCC modeli dikkate alındığında potansiyel iyileştirme değeri en yüksek olan Tekirdağ, Kocaeli ve Osmaniye gibi illerde söz konusu iyileştirmeyi gerçekleştirmek, elektrik tüketiminin miktarsal olarak daha çok azaltılmasına kısa vadede önemli katkı sağlayacak ve ekonomik katkısı daha büyük olacaktır.

Aydınlatma konusunda potansiyel iyileştirmeye sahip olan illerde sokak lambalarının çalışma saatlerinin revize edilmesi, lambaların daha tasarruflu olanlarla



CCR: Charnes, Cooper, Rhodes Modeli; BCC: Banker, Charnes, Cooper Modeli

Şekil 1. Bölgelere göre etkin il sayısı (Effective province count according to the region)

Daha iyimser sonuçlar sunan BCC modeli çözümünde ise yine sanayisi az olan Güneydoğu ve Karadeniz Bölgesi'nin etkin il sayısının fazla olması ile birlikte Ege,

değiştirilmesi, yansıtma yöntemi ile daha az lamba kullanılması ve akıllı aydınlatma sistemlerinin kullanılması gibi yöntemlerle iyileştirmeler konusunda ciddi ve sonuç verici adımlar atılabilir.

Mesken, ticarethane ve sanayide tespit edilen potansiyel iyileştirmeler için ise gereksiz lamba, makine ve cihaz kullanımının azaltılması, yüksek enerji verimliliği sınıfına sahip lamba, makine ve cihaz kullanımının artırılması, doğal aydınlatmadan maksimum seviyede yararlanılmaya çalışılması, akıllı teknolojilerin kullanılması ve elektriğin daha az tüketilmesi ile enerji verimliliği konularında insanların bilinçlendirilmesi gibi çeşitli çalışmalar hayata geçirilerek söz konusu iyileştirmeler gerçekleştirilebilir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Türkiye’de mevcut bulunan 81 ili kapsayan ve söz konusu illerin tüketici bazındaki (aydınlatma, mesken, sanayi ve ticarethane) 2016 yılı elektrik tüketim miktarları ile tüketici sayılarını kullanarak yapılan bu çalışmada illerin göreceli (birbirlerine göre) etkinlikleri belirlenmiştir.

Çalışmada çıktı değişkenlerini (tüketici sayısı) sabit tutarak girdi değişkenlerinde (aydınlatma, mesken, sanayi ve ticarethane) meydana gelecek değişiklikler tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle girdilerini minimize ederek etkin olan ve etkin olmayan iller belirlenmiş ve girdilerde azaltılması gereken miktarlar tespit edilmiştir. Veri zarflama analizi modellerinden olan girdiye yönelik CCR modeli ve girdiye yönelik BCC modeli kullanılarak EMS programı aracılığıyla etkinlikler belirlenmiştir. Her iki veri zarflama analizi modeli kullanılarak modellerin sonuçlardaki etkisi görülmüştür.

CCR modeli ile yapılan analiz sonuçlarına göre Türkiye’deki 81 ilden 15 tanesi etkin çıkarken 66 tanesi etkin çıkmamıştır. En düşük etkinlik değerine sahip il 63,50 % etkinlik değeri ile Siirt ili olmuştur. Ortalama etkinlik değeri ise 84,98 %’dir.

BCC modeli ile yapılan analiz sonuçlarına göre Türkiye’deki 81 ilden 26 tanesi etkin çıkarken 55 tanesi etkin çıkmamıştır. En düşük etkinlik değerine sahip il 67,81 % etkinlik değeri ile Düzce ili olmuştur. Ortalama etkinlik değeri ise 89,61 %’dir.

CCR ve BCC modellerine ilişkin etkin ve etkin olmayan iller Tablo 4’te, istatistikî veriler Tablo 5’te, hedef değerler Tablo 6’da ve potansiyel iyileştirmeler ise Tablo 7’de ayrıntılı olarak yer almaktadır.

Elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere BCC modeli CCR modeline göre daha iyimser bir tablo çizmektedir. Bu iyimser tablonun sebebi Denklem 3.5’teki konvekslik kısıtıdır. BCC modeline eklenen konvekslik kısıtı ile etkinlik sınırı daha kapsayıcı hale gelmiş ve daha fazla il etkinlik sınırına dahil olmuştur. CCR modelinde etkin çıkan tüm iller BCC modelinde de etkin çıkmıştır. Literatür incelendiğinde de bu durumun beklenen bir sonuç olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, elektriğin etkin kullanımı konusunda etkin olmayan iller ve bu illere ait potansiyel iyileştirmelerin belirlenmesi ile elektriğin etkin kullanımına yönelik alınacak olan karar ve aksiyonlarda hangi illere ve bu ildeki hangi tüketici türüne öncelik verileceği hususunda

karar vericilere fayda sağlayacaktır. Böylece elektrik tüketim etkinliğinin artırılması ve potansiyel iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi konusunda daha doğru ve etkili adımlar atılabilecektir. Bu yönüyle bu çalışma, elektrik tüketim etkinliğinin artırılması faaliyetlerine önemli bir girdi teşkil etmektedir.

Enerji talebinin hızlı bir şekilde artması ile birlikte enerji verimliliği giderek önem kazanmaktadır. Türkiye’deki iller üzerinde yapılan bu çalışma; enerji verimliliği konusunda belirlenecek politika ve stratejiler açısından önemli bir yol gösterici olacaktır.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda şu önerilerde bulunulabilir:

- İllerin elektrik tüketimleri ile tüketici sayılarının yıllar içerisindeki değişimleri Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi ile analiz edilebilir.
- Yıllar içerisindeki etkinlik değerleri ve etkinlik değişimleri elde edilebilir.
- Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile illerin geleceğe yönelik elektrik tüketimleri, tüketici sayıları ve etkinliklerine ilişkin tahminler yapılabilir.
- Olası etkisizlikler için proaktif bir yaklaşım benimsenerek eylem planları hazırlanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] U.S. Department of Energy’s Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Power to the Plug: *An Introduction to Energy, Electricity, Consumption, and Efficiency*, Washington, D.C, (2011).
- [2] Çakmanus Ö. F., *Sanayi ve Konutlarda Enerji Verimi*, Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, (2007).
- [3] Yolalan R. ve Bear J., “*İşletmeler Arası Göreceli Etkinlik Ölçümü*”, Milli Produktivite Merkezi Yayınları, No 483, Ankara, (1993).
- [4] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, “*Elektrik Piyasası 2016 Yılı Piyasa Gelişim Raporu*”, Ankara, (2017).
- [5] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, “*2016 Yılına İlişkin İl Bazında Tüketici Sayısı*”, Ankara, (2017).
- [6] Cooper W. W., Seiford L. M. and Zhu J., “Handbook on data envelopment analysis”, *Springer Science & Business Media*, (2011).
- [7] Tarım A., “*Veri Zarflama Analizi Matematiksel Programlama Tabanlı Göreceli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı*”, Sayıştay Yayınları, No 15, Ankara, (2001).
- [8] Gattoufi S., Oral M. and Reisman A., “Data envelopment analysis literature: a bibliography update”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 38(2-3): (2004).
- [9] Charnes A., Cooper W. W., Lewin A. Y. and Seiford L. M., “Data envelopment analysis: theory, methodology and applications”, *Kluwer Academic Publishers*, 66, (1994).
- [10] Dinçer S. E., “*Stratejik Planlama ve Veri Zarflama Analizinde Etkinlik Ölçümü*”, Der Yayınları, İstanbul, 42-82, (2011).
- [11] Erpolat S., “*Veri Zarflama Analizi: Ağırlık Kısıtlamasız, Ağırlık Kısıtlı, Şans Kısıtlı, Bulanık*”, Evrim Yayınevi, İstanbul, 22-82, (2011).

- [12] Cooper W. W., Seiford L. M. and Zhu J., "Handbook on data envelopment analysis", *Kluwer Academic Publishers*, 13: (2004).
- [13] Cooper W. W., Seiford L. M. and Tone K., "Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and dea-solver software", *Springer Science & Business Media*, 22-152, (2007).
- [14] Güçlü A., "Türk Silahlı Kuvvetleri Hastanelerinde Teknik Verimlilik Ölçümü: Veri Zarflama Analizi Uygulaması", *Doktora Tezi*, GATA Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 31, (1999).
- [15] Deliktaş E., "Türkiye özel sektör imalat sanayinde etkinlik ve toplam faktör verimliliği analizi", *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 29(3-4): 247, (2002).
- [16] Scheel H., "*EMS: Efficiency Measurement System User's Manuel - 1.3*", 1-12, (2000).
- [17] Karakoç İ. D., "Veri zarflama analizindeki ağırlık kısıtlamalarının belirlenmesinde analitik hiyerarşi sisteminin kullanımı", *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 1-12, (2013).
- [18] Bakırcı F., "sektörel bazda bir etkinlik ölçümü: vza ile bir analiz", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2): 202-206, (2006).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Benzilamin ince filmleri ile kovalent bir şekilde modifiye edilmiş silisyum yüzeyleri üzerinde sitrat-kaplı altın nanopartiküllerin üretimi ve karakterizasyonu

Synthesis and characterization of citrate-capped gold nanoparticles on covalently modified silicon surfaces by benzylamine thin films

Yazar(lar) (Author(s)): Ali YEŞİLDAĞ

ORCID: 0000-0002-7217-0899

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yeşildağ A., “Benzilamin ince filmleri ile kovalent bir şekilde modifiye edilmiş silisyum yüzeyleri üzerinde sitrat-kaplı altın nanopartiküllerin üretimi ve karakterizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 367-373, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.498477

Benzilamin İnce Filmleri İle Kovalent Bir Şekilde Modifiye Edilmiş Silisyum Yüzeyleri Üzerinde Sitrat-Kaplı Altın Nanopartiküllerin Üretimi ve Karakterizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Ali YEŞİLDAĞ*

Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 36100, Kars, Türkiye
(Geliş/Received : 10.01.2018 ; Kabul/Accepted : 20.05.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, benzilamin ince filmleri ile kovalent bir şekilde modifiye edilmiş yüzeyler üzerinde sitrat-kaplı altın nanopartiküllerin üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak, p-tipi Si (100) elektrotlar aril diazoniyum tuzlarının elektrokimyasal indirgenmesi (+N₂-benzilamin) ile benzilamin tabakaları ile modifiye edilmiştir. Daha sonra, modifiye edilmiş elektrotlar altın nanopartikül içeren bir çözelti içine daldırılmıştır. Son olarak, Au nanopartiküller elektrostatik olarak pozitif yüklü benzilamin tabakaları ile birleştirilmiştir. Benzilamin filmlerin özellikleri voltametrik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Modifiye edilmiş p-tipi Si (100) yüzeylerinin bariyer özellikleri redoks problemlerin varlığında (Fe(CN)₆³⁻ ve Ru(NH₃)₆³⁺) dönüşümlü voltametri kullanılarak çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuç filmlerin karakterizasyonu ve morfolojik analizi taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Benzilamin, sitrat-kaplı altın nanopartikül, kovalent modifikasyon.

Synthesis and Characterization of Citrate-Capped Gold Nanoparticles on Covalently Modified Silicon Surfaces by Benzylamine Thin Films

ABSTRACT

In this study, we aimed to assembly of citrate-capped gold nanoparticles on benzylamine thin films that covalently modified surfaces. For this purpose, firstly, p-type Si (100) electrodes were modified with benzylamine layers by electrochemical reduction of aryl diazonium salts (+N₂-benzylamine). Then, the modified electrodes were submerged in a solution containing Au nanoparticles. Finally, Au nanoparticles were electrostatically assembled on positively charged benzylamine layers. The properties of the benzylamine films were investigated using voltammetric methods. The barrier properties of modified p-type Si (100) surfaces were studied by cyclic voltammetry in the presence of redox probes (Fe(CN)₆³⁻ and Ru(NH₃)₆³⁺). Also the final films generated for characterization and morphological analysis were examined by scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: Benzylamine, citrate-capped gold nanoparticles, covalent modification.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Organik filmlerle kimyasal yada elektrokimyasal olarak modifiye edilmiş yüzeyler, elektronik ve fotonik aygıtlarda moleküler komponent olarak potansiyel uygulama alanı bulmaları nedeniyle yakın zamanlarda oldukça cazip materyaller olmuşlardır. Diğer yandan metal nanopartiküller; eşsiz elektriksel, optiksel ve manyetik özelliklerinden dolayı; elektrik, optik ve manyetik malzeme uygulamalarında ilgi odağı haline gelmişlerdir [1,2]. Böylesine geniş uygulama alanlarına sahip ve ilginç özellikler sergileyen bu iki önemli yapının

ortak bir noktada birleştirilmesi, yeni materyalleri üretmek için şüphesiz büyük bir katkı sağlayacaktır.

Son zamanlarda sensör uygulama amaçlı çalışmalarda metal nanopartiküllerin kullanımını içeren çalışmalar hızla artmaktadır. Özellikle altın nanopartiküller ile modifiye edilmiş katı elektrot yüzeyleri elektroanaliz için kullanıldıklarında normal modifiye edilmeyen elektrotlara göre önemli avantajlar sağlamaktadırlar. Bunlar geniş yüzey alanı, etkin olarak kütle taşınımı ve kolay kontrol edilebilir olmalarından kaynaklanmaktadır [1]. Dahası altın nanopartikül sonlu filmlerin, biyomateryallere karşı oldukça uyumlu olmaları ve biyolojik molekül ile elektrot yüzeyi arasında doğrudan elektron transferine izin vermeleri nedeniyle, biyosensör uygulamaları için çok önemli olmuşlardır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : aliyesildag@yahoo.com

Katı elektrot yüzeylerde direkt altın nanopartikül sentezinde ortaya çıkan en önemli engellerden biri, katı yüzeylerin oldukça hidrofobik olması ve bu yüzeyin kimyasal olarak kararlı olmasıdır. Katı elektrot yüzeylerinin bu hidrofobik özelliklerinden dolayı altın nanopartiküllerin çoğu katı yüzeyine tutunamayabilirler.

Bundan dolayı, katı yüzeylere altın nanopartikül modifikasyonunu gerçekleştirmek için yüzeylerin fonksiyonelleştirilmesi işleminin herhangi bir uygulama yapılmadan önce yapılması gerekir. Bu fonksiyonelleştirme işlemi katı yüzeylere organik moleküller modifiye edilerek gerçekleştirilebilir. Yapılan bu modifikasyon sonrasında yüzey filmlerinin karboksil (-COOH), amin (-NH₂), hidroksil (-OH) veya karbonil (-C=O) gibi fonksiyonel gruplar içermesi, altın nanopartiküllerin katı elektrot yüzeyine modifikasyonu sırasında önemli bir rol oynamaktadır [2].

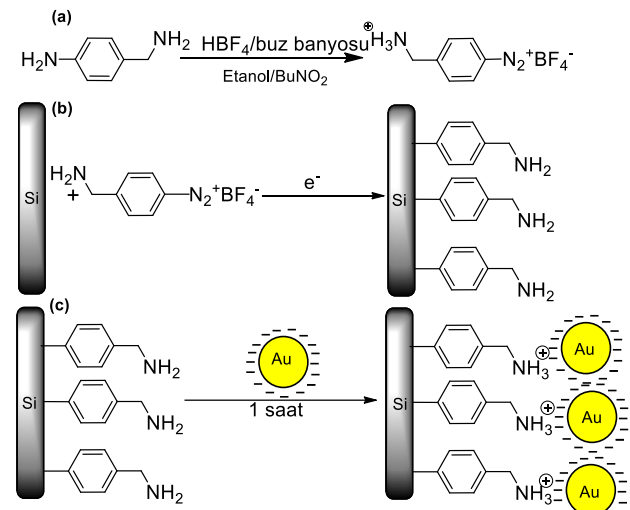
Organik moleküller ile katı yüzeylerin modifikasyonu için literatürde birçok yöntem geliştirilmiş olup en çok bilinen ve çalışılan iki yöntem vardır. İlk yöntem, su-hava ara yüzeyine serilmiş hidrofobik baş gruba sahip moleküllerin katı substratlara aktarılmasını içeren Langmuir-Blodgett (LB) yöntemidir. Diğer yöntem ise, genellikle altın substratın organik tiyol çözeltisine daldırılmasıyla kendiliğinden biriken moleküler tek tabakaların (SAM) sentezlenmesine dayanan kendi kendine birikme metodudur.

Bu metodlar moleküler tek tabaka filminin kalınlığının kontrol edilebilmesi ve kolayca hazırlanabilme gibi bazı avantajlara sahiptirler [3-7]. Bununla birlikte, her iki yöntem için molekül ile substrat arasındaki elektron transfer enerji bariyerinin oldukça yüksek olması, bu filmlerin elektron transfer özelliklerini negatif yönde etkilemektedir. SAM' de Au-S bağının enerjisi ortalama 20-40 kcal/mol arasında değişirken; LB filmlerde molekül ile substrat arasındaki etkileşimin Au/tiyol bağından çok daha zayıf bir elektrostatik etkileşime (≤ 10 kcal/mol) olduğu bilinmektedir [8-10]. Bunun yanısıra LB film tekniğinde filmlerin büyük ölçekte substrata transferi imalat süresinde bir problemdir. Filmlerin düzenlenmesi çözelti ortamında olmasına rağmen, filmler büyük bir substrata transfer edildiğinde, filmlerin görünür bir şekilde kusurlar içerdiği ve ortalama transfer oranının ise sadece % 17 olduğu gözlenmiştir. Böyle düşük verimli bir metod ticari uygulamalar için kabul edilemez [11]. LB filmlerine benzer olarak SAM yapıları da büyük ölçekli substrat uygulamalarında çok düşük verimli olup bu verim % 20' nin altındadır. Dahası SAM filmlerinin oksidasyondan dolayı zamanla yapılarının değiştiği tesbit edilmiştir. Bütün bu dezavantajlar SAM filmlerini de LB filmlerinde olduğu gibi ticari uygulamalar için kullanışsız yapmaktadır [12,13].

Bu sorunlar başka bir alternatif modifikasyon metodu gerektirmiştir. Böyle bir modifikasyon metodu, elektrot yüzeyi ile tek tabakayı oluşturan moleküller arasında, sıcaklık değişimlerine karşı kararlı, geniş potansiyel penceresine sahip olan (-2,0 V' dan 1,8 V' a kadar) ve uzun süre değişmeyen bir kovalent bağ oluşumunu

sağlayacak nitelikte olmalıdır. Böylesine bir bağ kuvvetli (yaklaşık 80-100 kcal/mol) ve kovalent karaktere sahip olmalıdır. Aril diazonium tuzlarının elektrokimyasal redüksiyonu ile yüzeylerin modifikasyonu yöntemi, kovalent karakterde bir bağın oluşumuna izin veren en iyi yöntemdir [14].

Çizelge 1. 4-Aminobenzilamin'in 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzuna dönüştürülmesi (a), 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzunun Si (100) yüzeylerine modifikasyonu (b) ve Benzilamin modifiye Si (100) yüzeyleri üzerinde Sitrat kaplı Altın nanopartiküllerin etkileşmesinin şematik gösterimi (c). Conversion of 4-Amino Benzylamine to 4-(Aminomethyl) benzenediazonium tetrafluoroborate salt (a), Modification of 4-(Aminomethyl) benzenediazonium tetrafluoroborate salt to Si (100) surfaces (b), and schematic representation of the interaction of Citrate coated Gold nanoparticles on the surfaces of benzylamine-modified Si (100) (c).



Belirtilen bu bilgilere dayanarak, bu çalışma kapsamında, söz konusu metodu kullanarak yüzeylerde kararlı filmler oluşturmak için, öncelikle 4-aminobenzilamin molekülünün diazonium tuzları sentezlendi (Çizelge 1.a). Diazonyum modifikasyon metodu ile sentezlenen 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzu, p-tipi Si (100) yüzeylere dönüşümsüz bağlanması sağlandı (Çizelge 1.b). Daha sonra bu modifiye yüzeyler üzerinde sitrat-kaplı altın nanopartiküllerinin immobilizasyonu (Çizelge 1.c) ve karakterizasyonu gerçekleştirildi.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Materyaller (Materials)

4-aminobenzilamin, hidrofloroborik asit (HBF₄), butilnitrit (BuNO₂), sodyum sitrat dihidrat (Na₃C₆O₇·2H₂O), altın(III) klorit trihidrat (HAuCl₄·3H₂O), tetrabutylamonyum tetrafloroborat (TBABF₄), asetonitril (CH₃CN), etanol, Si (100) sigma-aldrich den alınmıştır. Bütün kimyasallar ilave bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanılmıştır.

Cihazlar (Instruments)

Elektrokimyasal deneyler için Epsilon potansiyostat cihazı kullanılmıştır. Uv ölçümleri için Perkin-Elmer Lamda 35 model spektrofotometre kullanılmıştır. Yüze morfolojik karakterizasyonlar için, Zeiss EV040 marka taramalı elektron mikroskopu (SEM) cihazı kullanılmıştır.

4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzlarının sentezi ve modifikasyonu (Synthesis and modification of the 4-(Aminomethyl)benzenediazonium tetrafluoroborate salt)

Çalışmamızda p-tipi Si (100) elektrot yüzeylerini modifiye etmek için 4-aminobenzilamin molekülü kullanılmıştır. Bu molekül tercih edilirken, öncelikle diazonyum tuz sentezi metodunda yüzeye bağlanması için NH₂ grubu içermesi gerekmektedir. Diğer taraftan da altın nanopartiküllerle etkileşmesi için NH₂ grubunun varlığı iki önemli faktör olarak göz önüne alınmıştır.

Benzilamin diazonyum tuzlarının sentezi amaca uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Özetle 4-aminobenzilamin, % 48' lik floroborik asit içerisinde çözüldü ve elde edilen bu karışım üzerine, sıcaklığın 0 °C' yi geçmemesine dikkat edilerek damla damla butilnitrit/etanol ilavesi yapıldı. Reaksiyonun bitişi reaksiyon karışımından bağıtla alınan bir damla, potasyum iyodürlü nişasta kağıdı üzerine damlatılarak kontrol edildi. Mavi bir renk nitroz asidin aşırısını, yani reaksiyonun tamamlandığını gösterir. Oluşan çökelek ayrıldı ve kullanılıncaya kadar +4 °C' de bekletildi [14,15] (Çizelge 1.a).

Silisyum elektrot yüzeyleri üzerinde ince filmler oluşturabilmek için sentezlenen diazonyum tuzlarının elektrokimyasal yöntemlerle indirgenme reaksiyonundan faydalanıldı. Kullanılan elektrokimyasal yöntem, çalışma elektrotunun polarize olduğu şartlar altında elektrot-çözelti ara yüzeyine uygulanan potansiyelin sürekli değişimi sonucu akımın ölçümüne dayanan dönüşümlü voltametri tekniğidir. Dönüşümlü voltametride, potansiyel zamanın fonksiyonu olarak doğrusal bir şekilde belirli bir potansiyel değerine kadar artırılıp, tekrar başlangıç potansiyeline geri dönmektedir. Bu esnada hücrede oluşan akım, zamanın ve uygulanan potansiyelin bir fonksiyonu olarak kaydedilir.

Kimyasal dönüşümlerin elektrik enerjisi kullanarak gerçekleştirildiği elektrokimyasal işlemler, elektroliz hücresinde yapılmıştır. Analiz edilecek madde, çözücü, destekleyici elektrolit, elektrotlar ve bu elektrotları birbirine bağlayan potansiyostat olarak adlandırılan bir dış devre elektrokimyasal hücreyi oluşturan kısımlardır. Çalışmalarımızda voltametrik incelemeler tetrabutylamonyumtetrafloroborat (TBABF₄) içeren asetonitril (CH₃CN) çözeltisinde, düşük akım modülüne sahip epsilon elektrokimyasal analizör ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma elektrodu olarak p-tipi Si (100) kullanılmıştır. Voltametrik cevaplar oda sıcaklığında kapalı grup tip bölünmemiş hücrede platin karşıt ve doygun kalomel (SCE) referans elektrotlara karşı kaydedilmiştir.

Öncelikle 1 mM 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzu içeren elektrolit çözeltilerinde geniş bir potansiyel aralığında tarama yapılarak 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzunun indirgenme potansiyeli belirlenmiştir. Uygun potansiyel aralıkları belirlendikten sonra farklı tarama hızlarında taramaya devam edilerek elektrot yüzeylerinin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1.b).

Modifiye edilen filmlerin redoks moleküllerine karşı blokasyon davranışı, 1 mM K₃Fe(CN)₆ ve 1 mM Ru(NH₃)₆Cl₃ içeren çözeltileri kullanılarak araştırılmıştır.

Sitrat-kaplı altın nanopartiküllerin sentezi ve benzilamin modifiye Si (100) yüzeyleri ile etkileşimi (Synthesis of Citrate-capped gold nanoparticles and their immobilization on covalently modified benzylamine Si (100) surfaces)

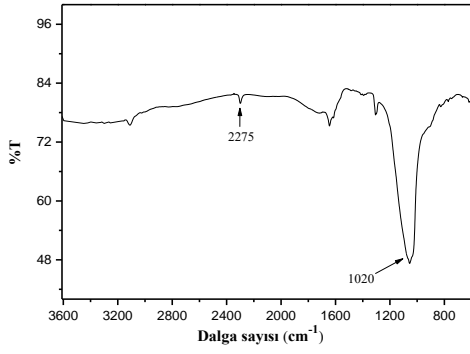
Sitrat kaplı altın nanopartiküllerin sentezi literatürde verilen prosedüre göre gerçekleştirilmiştir [16]. Özetle altın nanopartikül çözeltilerinin hazırlanması için, bir litrelik cam balona 500 mL' lik 1 mM HAuCl₄' ün saf sudaki çözeltisi alınır ve ısıtılarak kaynatılınca kadar karıştırılır. Bu çözelti üzerine 50 mL' lik 38,8 mM sodyumsitratın (Na₃C₆O₇.2H₂O) saf su içerisindeki çözeltisi hızlı bir şekilde ilave edilir ve kaynar halde 10 dk karıştırmaya devam edilir. Daha sonra ısıtıcıdan alınarak ısıtılmaksızın 15 dk süreyle karıştırılır. Sarı renkten açık kırmızı rengine dönüşen sonuç çözelti, oda sıcaklığında küçük porlu süzgeç kağıdı (0,22 µm) ile süzülükten sonra kullanıma hazır halde karanlıkta muhafaza edilir. Sitrat kaplı altın nanopartiküllerin karakterizasyonu için UV spektroskopisinden faydalanılmıştır. UV analizlerinde, sitrat kaplı altın nanopartikül çözeltilerinin 520 nm de absorpsiyon verdiği gözlenmiştir.

Benzilamin molekülü ile modifiye edilmiş p-tipi Si (100) elektrotlar, sentezlenen sitrat-kaplı altın nanopartikül içeren çözeltiye daldırılarak kararlı sitrat-kaplı altın nanopartiküllü filmlerin üretimi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1.c).

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzunun karakterizasyonu (Characterization of the 4-(Aminomethyl)benzene diazonium tetrafluoroborate salt)

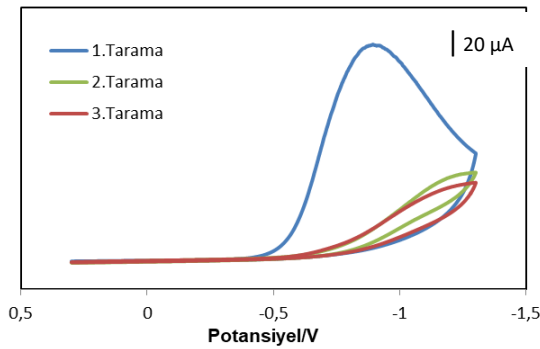
4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzunun karakterizasyonu için FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzu için FTIR spektrumu şekil 1' de görülmektedir. Yaklaşık 2275 cm⁻¹' de -N≡N gerilme moduna karşılık gelen pikin varlığı benzilamin için diazonyum tuzunun oluşumunu göstermektedir [17]. Ayrıca yaklaşık 1020 cm⁻¹' deki şiddetli band karakteristik BF₄⁻ anyonunu göstermektedir.



Şekil 1. 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzu için FTIR spektrumu (FTIR spectrum for 4-(aminomethyl) benzenediazonium tetrafluoroborate salt)

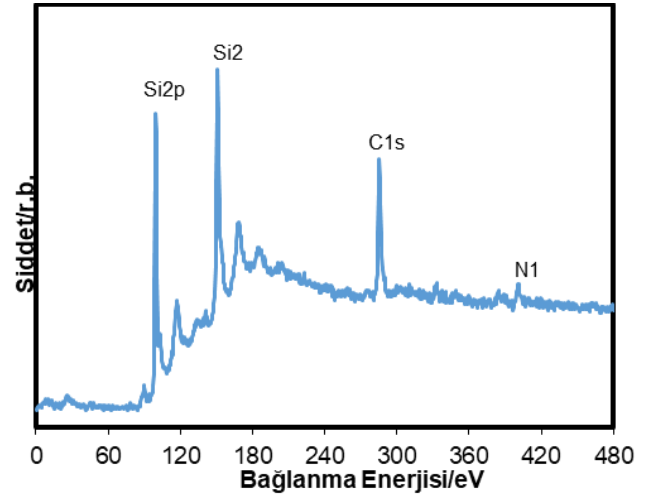
Si (100) yüzeylerinin kovalent bir şekilde benzilamin ile modifikasyonu ve karakterizasyonu (Characterization and modification of Si (100) surfaces that covalently modified by benzylamine films)

Diazonyum tuzları ile katı yüzeylerin kovalent modifikasyonu, onların karakteristik redoks davranışları sayesinde dönüşümlü voltametri tekniğinden faydalanılarak gerçekleştirilebilir. 1,0 mM 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzunun 0,1 M TBABF₄ içeren asetonitril çözeltisinde Si (100) elektrotta +0,3 ve -1,3 V potansiyel aralığında kaydedilen dönüşümlü voltamogramı şekil 2’ de görülmektedir. İlk taramada SCE referans elektrota karşın yaklaşık -0,87 V’ da diazonyum tuzunun indirgenmesine karşılık gelen geniş ve dönüşümsüz bir katodik pik belirlendi. Arildiazonyum tuzlarının indirgenmesine karşılık gelen bu pikin şiddeti devam eden taramalarda hızla azalmaktadır. Pik akımının azalması, benzilamin radikallerinin Si yüzeyine bağlanarak elektron transferini engelleyen bir yüzey filmi oluşturmasıyla açıklanabilir.



Şekil 2. 1,0 mM 4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzu içeren 0,1 M TBABF₄+CH₃CN çözeltisinde 0,2 V.s⁻¹ tarama hızında Si (100) elektrotta kaydedilen voltamogram (Voltamogram recorded at Si (100) electrode at 0,2 V.s⁻¹ scanning rate in 0,1 M TBABF₄ + CH₃CN solution containing 1,0 mM 4- (Aminomethyl) benzenediazonium tetrafluoro-roborate salt)

4-(Aminometil)benzendiazonyum tetrafloroborat tuzu için voltametik tarama yapılarak Si (100) elektrotların modifikasyonu gerçekleştirildikten sonra, bu yüzeylerin karakterizasyonu, XPS spektroskopisi ile araştırıldı. Şekil 3, benzilamin modifiye Si (100) yüzeyleri için kaydedilen XPS spektrumlarını göstermektedir. Spektrumda yaklaşık (98,4), (149,6), (284) ve (400,0) eV’ da görülen Si2p, Si2s, C1s ve N1s pikleri açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca spektrumların Si2p bölgesinde SiO₂’den kaynaklanan (103,0) ve (154,0) eV’ daki piklerin gözlenmemesi yüzeyde oksit filminin olmadığını göstermektedir. Bu XPS sonuçlarına göre silisyum elektrot yüzeylerinin, amin sonlu benzilamin molekülü ile kaplandığı söylenebilir.

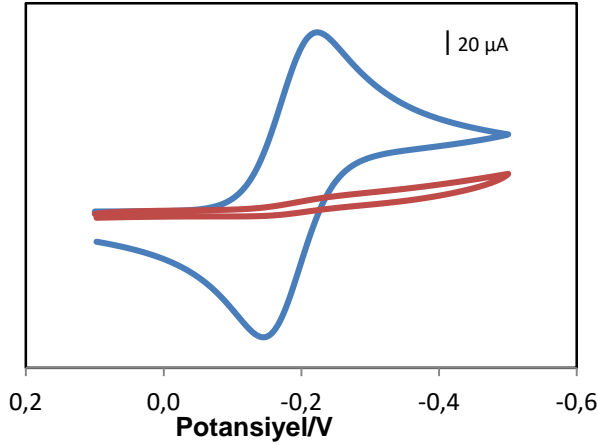


Şekil 3. Benzilamin modifiye Si (100) yüzeyleri için kaydedilen XPS spektrumu (XPS spectrum recorded for benzylamine-modified Si (100) surfaces)

Elektroaktif redoks problemlerinin varlığında Benzilamin modifiye filmlerin bariyer etkisi (Barrier effect of benzylamine modified films in the presence of electroactive redox probes)

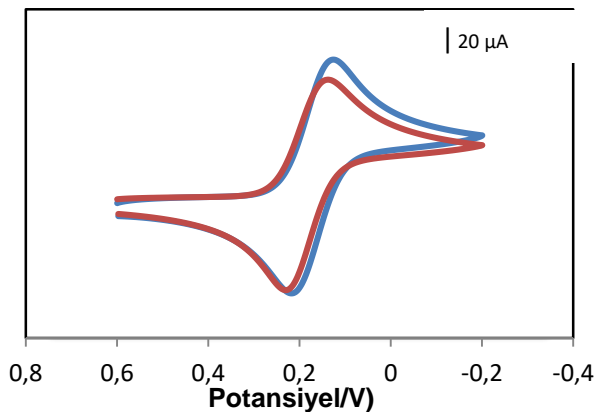
İnce filmler ile kaplı elektrotlarda elektroaktif türlerin dönüşümlü voltamogramının incelenmesi, filmlerin varlığını ve onların blokasyon davranışını incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Benzilamin modifiye Si (100) elektrotların elektron transfer blokasyon analizi, sıklıkla araştırılan negatif yüklü Fe(CN)₆³⁻ ve pozitif yüklü Ru(NH₃)₆³⁺ gibi iki farklı elektroaktif redoks türünün varlığında sulu ortamlarda araştırılmıştır.

Şekil 4’ de boş ve benzilamin ile modifiye edilen Si (100) elektrotlar için 1,0 mM Ru(NH₃)₆³⁺ içeren sulu çözeltisinde kaydedilen dönüşümlü voltamogramları gösterilmektedir. Redoks sistemi boş Si (100) elektrotta, yaklaşık -0,22 V’ da dönüşümlü bir redoks davranışı sergiler. Ancak aynı şartlar altında benzilamin ile zmodifiye Si (100) yüzeyi redoks sisteminin oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonu için önemli bir bloke davranışı ortaya çıkarmaktadır. Buda yüzeye modifiye edilmiş amin sonlu benzilamin filminin sulu ortamda protonlanması sonucu, pozitif yüklü redoks türlerin elektrot yüzeyleri ile elektron transferini engellediğini göstermektedir.



Şekil 4. Boş (—) ve benzilamin (—) modifiye Si (100) elektrot için 1,0 mM $\text{Ru}(\text{NH}_3)_6^{3+}$, 0,10 M KCl içeren sulu çözeltide, 200 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ tarama hızında kaydedilen voltamogramlar (Voltamograms recorded at a scanning rate of 200 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ in an aqueous solution containing 1.0 mM $\text{Ru}(\text{NH}_3)_6^{3+}$, 0.10 M KCl for the empty (—) and benzylamine (—) modified Si (100) electrodes)

Diğer taraftan negatif yüklü $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ redoks sistemi için benzilamin modifiye GC elektrotlar için herhangi bir bloke etkisi gözlenmedi (Şekil 5). Hatta boş GC elektrot ile karşılaştırıldığında film modifiye yüzeylerde elde edilen pik akımlarının neredeyse aynı olduğu gözlemlendi.



Şekil 5. Boş (—) ve benzilamin (—) modifiye Si (100) elektrot için 1,0 mM $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$, 0,10 M KCl içeren sulu çözeltide, 200 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ tarama hızında kaydedilen voltamogramlar (Voltamograms recorded at a scanning rate of 200 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ in an aqueous solution containing 1.0 mM $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$, 0.10 M KCl for the modified Si (100) electrode for empty (—) and benzylamine (—)

Benzilamin ile kaplı elektrotların farklı redoks sistemi varlığında sergiledikleri farklı bloke etme davranışları

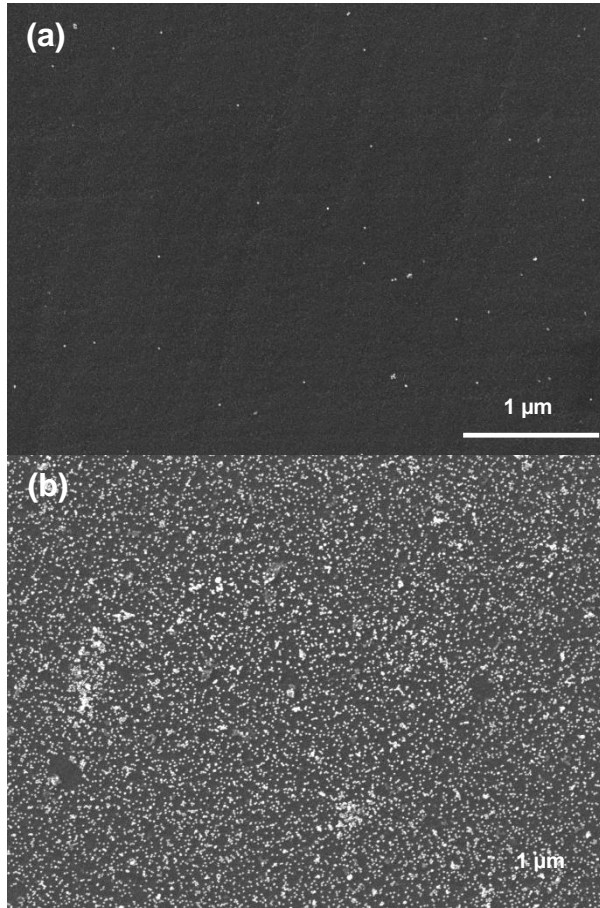
modifiye yüzey ve elektroaktif türler arasındaki elektrostatik etkileşmelerle açıklanabilir. Si (100) elektrot yüzeyinin modifikasyon şartlarından amin sonlu benzilamin yüzey filmlerinin protonasyonu meydana gelmektedir. Bu nedenle oluşan sonuç yüzey filmleri pozitif yüklüdür. Pozitif yüklü bu filmler $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ gibi negatif yüklü bir türün Si elektrot yüzeyine ulaşmasını engellemeyecek, hatta güçlü elektrostatik etki ile onun yüzeye ulaşmasını sağlayacaktır. Bu nedenle $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ ün modifiye elektrot için voltametrik cevapları boş elektrotta belirlenen voltamogramlara benzemektedir [18].

Sitrat-kaplı altın nanopartiküllerin, benzilamin ile kovalent bir şekilde modifiye Si (100) yüzeylerine immobilizasyonu ve karakterizasyonu (Immobilization and characterization of citrate-capped gold nanoparticles on covalently modified benzylamine Si (100) surfaces)

Modifiye benzilamin ince filmlerinin Si (100) elektrotlar üzerindeki morfolojisini belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskopundan (SEM) faydalandı.

Sitrat kaplı altın nanopartiküllerin Si (100) gibi elektrot yüzeyleri üzerindeki protonlanmış olan amin sonlu filmlere ilgisi olduğu ve yüzeyde elektrostatik etkileşmeler sonucu N-Au bağı oluşturması ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [19,20]. Bu çalışmalar ışığında öncelikle benzilamin ile Si (100) yüzeylerinin farklı voltametrik tarama yapılarak kaplandıktan sonra, filmlerin karakterizasyonu için modifiye elektrotlar sırasıyla su, asetonitril ve aseton içerisinde ultrasonik banyoda yıkandı ve azot atmosferinde kurutuldu. Daha sonra hem boş Si (100) hem de 20 voltametrik tarama ile benzilamin modifiye Si (100) elektrotlar bir saat süre ile negatif yüklü olan sitrat kaplı altın nanopartiküllerden oluşan çözeltiye daldırıldı. Bu işlemin amacı modifiye Si (100) üzerinde protonlanmış pozitif yüklü amin ile negatif yüklü sitrat kaplı altın nanopartiküller arasında elektrostatik etkileşme sonucu S-Au bağına benzer N-Au bağının oluşmasıdır. Bunun sonucunda da yüzeydeki filmin altın nanopartikül sonlu olması nedeni ile film bölgesinin SEM deki görüntüsü alınarak Si (100) yüzeyindeki filmin morfolojik oluşumu hakkında bilgi almaktır.

Şekil 6' da boş temiz Si (100) elektrotunun sitrat kaplı altın nanopartikül içeren çözeltiye 1 saat süreyle daldırılması sonucu ve benzilamin modifiye Si(100) elektrotun bir saatlik sitrat kaplı altın nanopartikül içeren çözeltiye daldırılması sonucu SEM görüntüleri görülmektedir. Görüntülerden boş Si (100)' de altın nanopartikül gözlenmezken benzilamin modifiye Si (100) elektrotlar üzerinde altın nanopartiküller görülmektedir. Bu durum da Si (100) yüzeylerinin benzilamin filmleriyle istenilen modifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 6. Si (100) elektrotlar üzerinde, bir saat süre ile sitrat kaplı altın nanopartikül çözeltisinde bekletilmesi sonucu, (a) Boş Si (100) ve Si (100) elektrotlar üzerinde 20 voltametrik tarama ile modifiye edilmiş, (b) benzilamin filmleri için alınan SEM görüntüleri (Resulting from sitting on Si (100) electrodes for one hour in a solution of citrate-coated gold nanoparticle, (a) Empty Si (100) and Si (100) modified by 20 voltammetric scanning on electrodes, (b) SEM images taken for benzylamine films

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada öncelikle 4-aminobenzilamin çıkış molekülü ile 4-(Aminometil)benzediazonyum tetraflorborat tuzu sentezlenmiştir. Daha sonra diazonyum modifikasyon metodu kullanılarak amin sonlu olan benzilamin molekülü ile Si (100) yüzeylerinin kovalent modifikasyonu ile Si yüzeylerinde amin sonlu kararlı filmler elde edilmiştir. Son aşamada ise benzilamin filmleri ile kovalent bir şekilde modifiye yüzeyleri, sentezlediğimiz altın nanopartikülle etkileştirilerek kararlı altın nanopartiküllü filmlerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Si yüzeylerine modifiye edilmiş benzilamin filmlerinin varlığı ve bloke etme davranışlarını incelemek için, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ gibi negatif yüklü ve $\text{Ru}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ pozitif yüklü redoks problemleri varlığında sulu ortamda dönüşümlü voltametri tekniği ile elektrokimyasal davranışları incelenmiştir. Modifiye filmlerinde, amin grubunun sulu ortamda protonlanması sonucu pozitif yüklü $\text{Ru}(\text{NH}_3)_6^{3+}$

için önemli bir bloke davranışı sergilerken negatif yüklü $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ için öyle bir davranışın olmadığı belirlenmiştir. Diğer taraftan elektrot yüzeylerine kovalent bir şekilde bağlanmış benzilamin filmleri üzerinde altın nanopartikül filmlerinin oluşumu SEM ile karakterize edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 116Z085.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Katz, E., Willner, I., Wang, J., "Electroanalytical and Bioelectroanalytical Systems Based on Metal and Semiconductor Nanoparticles", *Electroanal.*, 16: 19-26, (2004).
- [2] Dobrzanski, L.A., Pawlyta, M., Krzton, A., Lizzka, B., Labizz, K., "Synthesis and Characterization of Carbon Nanotubes Decorated with Platinum Nanoparticles", *J. Achiev. Mater. and Manuf. Eng.*, 39: 2, (2010).
- [3] Honciuc, A., Jaiswal, A., Gong, A., Ashworth, K., Spangler, C.W., Peterson, R., Dalton, L., Metzger, R.M., "Current Rectification in a Langmuir-Schaefer Monolayer of Fullerene-bis-[4-diphenylamino-4-(N-ethyl-N 2-ethyl)amino-1,4-diphenyl-1,3-butadiene] Malonate between Au Electrodes", *J. Phys. Chem. B*, 109: 857-871, (2005).
- [4] Metzger, R.M., Chen, B., Holpfner, U., Lakshmikantham, M.V., Vuillaume, D., Kawai, T., Wu, X., Tachibana, H., Hughes, T.V., Sakurai, H., Baldwin, J.W., Hosch, C., Cava, M.P., Brehmer, L., Ashwell, G.J., 1997. "Unimolecular Electrical Rectification in Hexadecylquinolinium Tricyanoquinodimethane", *J. Am. Chem. Soc.*, 119: 10455-10466, (1997).
- [5] Blum, A.S., Kushmerick, J.G., Long, D.P., Patterson, C.H., Yang, J. C., Henderson, J.C., Yao, Y.X., Tour, J.M., Shashidhar, R., Ratna, B.R., "Molecularly Inherent Voltage-Controlled Conductance Switching", *Nature Materials*, 4: 167-172, (2005).
- [6] Collier, C.P., Jeppesen, J.O., Luo, Y., Perkins, J., Wong, E.W., Heath, J.R., Stoddart, J.F., "Molecular-Based Electronically Switchable Tunnel Junction Devices", *J. Am. Chem. Soc.*, 123: 12632-12641, (2001).
- [7] Moore, A. M., Dameron, A. A., Mantoosh, B. A., Smith, R. K., Fuchs, D. J. , Ciszek, J. W., Maya, F., Yao, Y., Tour, J.M., Weiss, P.S., "Molecular Engineering and Measurements to Test Hypothesized Mechanisms in Single Molecule Conductance Switching", *J. Am. Chem. Soc.*, 128, 1959-1967, (2006).
- [8] Bernard, M.C., Chausse, A., Cabert-Deliry, E., Chemimi, M.M., Pinson, J., Podvorica, F., Vautrin-U, C., "Organic Layers Bonded to Industrial, Coinage, and Noble Metals through Electrochemical Reduction of Aryldiazonium Salts", *Chem. Mater.*, 15: 3450-3462, (2003).
- [9] Delamarche, E., Michel, B., Kong, H., Gerber, C., "Thermal Stability of Self- Assembled Monolayers", *Langmuir*, 10: 4103-4108, (1994).

- [10] Yourdshahyan, Y. and Rappe, A. M., "Structure and Energetics of Alkanethiol Adsorption on The Au (111) Surface", *J. Chem. Phys.*, 117: 825-833, (2002).
- [11] Obeng, Y.S., Bard, A.J., "Langmuir Films of C60 at the Air-Water Interface", *J. Am. Chem. Soc.*, 113: 6279-6280, (1991).
- [12] Graves-Abe, T., Bao, Z., Sturm, J.C., "Self-Aligned, Insulating-Layer Structure for Integrated Fabrication of Organic Self-Assembled Multilayer Electronic Devices", *Nano Letters*, 4(12): 2489-2492, (2004).
- [13] Green, J.E., Choi, J.W., Boukai, A., Bunimovich, Y., Halperin, E.J., DeIonno, E., Luo, Y., Sheriff, B.E., Xu, K., Shin, Y.S., Tseng, H.R., Heath, J., "160-Kilobit Molecular Electronic Memory Patterned at 10⁹ Bits Per Square Centimeter", *Nature*, 445: 414-417, (2007).
- [14] Delamar, M., Hitmi, R., Pinson, J., Saveant, J.M., "Covalent Modification of Carbon Surfaces by Grafting of Functionalized Aryl Radicals Produced from Electrochemical Reduction of Diazonium Salts", *J. Am. Chem. Soc.*, 114: 5883-5884, (1992).
- [15] Dunker, M. F. W., Starkey, E. B., Jenkins, G. L., "The Preparation of Some Organic Mercurials from Diazonium Borofluorides", *J. Am. Chem. Soc.*, 58: 2308-2309, (1936).
- [16] Graber, K.C., Freman, R.G., Hommer, M.B., Natan, M.C., "Preparation and Characterisation of Au Colloid Monolayers", *Anal. Chem.*, 69(4): 735-743, (1995).
- [17] Swalen, J.D., Rabolt, J.F., "In Fourier Transform Infrared Spectroscopy" *Academic Press, New York*, 4: (1997).
- [18] Saby, C., Ortiz, B., Champagne, G.Y., Belanger, D., "Electrochemical Modification of Glassy Carbon Electrode Using Aromatic Diazonium Salts. 1. Blocking Effect of 4-Nitrophenyl and 4-Carboxyphenyl Groups", *Langmuir*, 13: 6805-6813, (1997).
- [19] Kim, K., Lee, I., "Chemical Lithography by Ag-Nanoparticle-Mediated Photoreduction of Aromatic Nitro Monolayers on Au", *Langmuir*, 20: 7351-7354, (2004).
- [20] Mendes, P. M., Jacke, S., Critchley, K., Plaza, J., Chen, Y., Nikitin, K., Palmer, R. E., Preece, J. A., Evans, S. D., Fitzmaurice, D., "Gold Nanoparticle Patterning of Silicon Wafers using Chemical e-Beam Lithography", *Langmuir*, 20: 3766-3768, (2004).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Taguchi metoduyla belirlenen kaynak parametrelerinin API 5L X65 boru birleştirmelerinde radyografik ve makrografik incelemeleri

Radiographic and macrographic investigations of welding parameters determined by Taguchi method in API 5L X65 pipe joints

Yazar(lar) (Author(s)): Hakan ADA¹, Cemil ÇETİNKAYA², Ahmet DURGUTLU³

ORCID¹: 0000-0002-0412-5789

ORCID²: 0000-0002-0298-1143

ORCID³: 0000-0003-3839-2903

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ada H., Çetinkaya C. ve Durgutlu A., "Taguchi metoduyla belirlenen kaynak parametrelerinin API 5L X65 boru birleştirmelerinde radyografik ve makrografik incelemeleri", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 375-384, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.404001

Taguchi Metoduyla Belirlenen Kaynak Parametrelerinin API 5L X65 Boru Birleştirmelerinde Radyografik ve Makrografik İncelemeleri

Araştırma Makalesi / Research Article

Hakan ADA^{1*}, Cemil ÇETİNKAYA², Ahmet DURGUTLU³

¹Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.01.2018 ; Kabul/Accepted : 29.01.2018)

ÖZ

Bu çalışmada Taguchi metoduyla belirlenen parametreler dâhilinde kaynak işlemine tabi tutulan API 5L X65 boru birleştirmelerinin floroskopik incelemelerinden elde edilen radyografi görüntüleri ve optik mikroskop ile görüntülenen birleştirmelerin kaynak bölgesi makroyapıları incelenmiştir. Elde edilen radyografi ve makrografik görüntülerinden yukarıdan aşağı yönde bazik elektrodla düşük amper değerlerinde birleştirilen malzemelerde yetersiz ergime, birleşme noksanlığı gibi hataların oluştuğu görülürken, bu birleştirmeler haricindeki tüm birleştirmelerin genel olarak kusursuz bir şekilde gerçekleştiği, makro düzeyde ve hata boyutunda değerlendirilebilecek süreksizliklere rastlanılmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: API 5L X65 boru, kaynak, taguchi, makrografi, radyografi.

Radiographic and Macrographic Investigations of Welding Parameters Determined by Taguchi Method in API 5L X65 Pipe Joints

ABSTRACT

In this study, radiographic images obtained from fluoroscopic examinations and macrographic images of API 5L X65 pipe joints welded within the parameters determined by Taguchi method were examined in detail. In the obtained radiographs and macrographs, defects such as inadequate penetration and fusion deficiencies were observed in the joints 2 and 4, which were connected with the basic electrode from top to bottom direction. It has been found that all joints except joints 2 and 4 are generally performed perfectly. There are also no discontinuities that can be evaluated at the macro level in terms of defect size

Keywords: API 5L X65 pipe, welding, taguchi, macrography, radiography

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Uzak mesafelere petrol ve gaz ürünlerini taşımak için kullanılacak en kolay ve ekonomik yolun doğalgaz ve petrol boru hatlarını kullanmak olduğu bilinmektedir. Modern tasarımı boru hattı sistemleri dünyanın her yerinde çıkarıldığı üretim bölgelerinden tüketicilere, petrol, doğalgaz ve ürünlerini taşımaktadır. Dünyada enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artması da yüksek taşıma kapasitesine sahip yüksek basınçlı boru hatlarının inşa edilmesi gerçeğini ortaya koymaktadır [1-6]. Hem ekonomik, hem de stratejik önemi bulunan petrol ve doğalgazın buldukları kaynaklardan çıkarılarak ayırma istasyonlarına, ayırma işleminden çıkan ürünlerinse kullanım yerlerine taşınmaları önemli bir işlemdir. Yüksek basınçlarla gerçekleştirilen bu taşıma işlemi ise ancak büyük çaplı çelik borular ile yapılmaktadır [7-12].

Boru hattı ile taşıma sistemleri; gaz, petrol gibi akışkanların taşınmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Plastik deformasyona neden olabilecek doğa olaylarının (deprem, toprak kayması, göçük, v.b.) oluşabilme ihtimali, boru hatlarının tasarımının ve seçilecek malzemenin önemini ortaya koymaktadır. Boru hattı malzemesi ve bağlantı sistemleri, dışarıdan meydana gelebilecek olumsuz etkilere karşı koyabilecek mekanik özelliklere sahip olmalıdır [13-16].

Günümüzde doğalgaz ve petrol hat borularının imalatında kullanılan çelikler; API (American Petroleum Institute) 5L standardına göre üretilmektedir [17]. API 5L X65 çelikleri, özellikle doğalgaz ve petrol iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan yüksek mukavemetli ve düşük alaşımli çelik serilerinden biridir [18-20]. Yüksek mekanik özellikleri, düşük maliyetleri ve kolay elde edilebilirliği nedeniyle boru hattı taşımacılığında yaygın olarak kullanılmaktadır [21,22]. API 5L standardında, "X65"

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hakanada@kastamonu.edu.tr

kalitesinde değerlendirilen bu malzemeler; ince taneli yapının hâkim olduğu, kontrollü termomekanik haddeleme yöntemi ile üretilen malzemelerdendir [18-20]. API çeliklerinde genel olarak ana mikroalaşım elementi, titanyum ve vanadyum ile kombinasyonu olan niyobyumdur (Nb/V, Nb/Ti, Nb/V/Ti). Bu kombinasyonlar çeliklerin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [23-25]. Kolay elde edilmesi ve yüksek dayanım özelliklerine sahip olması nedeniyle X65 çelikleri boru hattı ile doğalgaz ve petrol taşımacılığında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1,2,21, 22].

Boruların birleştirildiği yapım işlerinde genel olarak, kaynak parametreleri ile malzemenin mekanik-kimyasal özellikleri ve kaynak dikişinde istenilen performans özellikleri (mukavemet ve tokluk gibi) arasında bir ilişkinin kurulmadığı, kaynak parametrelerinin çoğu zaman dene yanılma yöntemi ile belirlendiği görülmektedir. Kaynak tekniğinin doğru seçilememesi kalite kontrol işlemlerinde alışılmışın dışına çıkılmasını engelleyerek, ya gereksiz yönde fire verilmesine, ya da belirli hataların farkına varılamamasına yol açmaktadır. Benzeri nedenlerden dolayı, kaynak güvenilirliği kaynak hızının düşük tutulması ile sağlanmaya çalışılmakta, bu ise hem verimliliğin düşmesine hem de maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Buradaki temel eksiklik, kaynak parametrelerinin seçimine yönelik sistematik bir yöntemin oluşturulamamasıdır.

Taguchi metodu, yukarıda bahsedilen eksikliklerin bertaraf edilmesi için kullanılabilecek uygun ve güçlü bir yöntemdir. Taguchi metodu, kullanıcılarına, maliyet, ekonomiklik, kalite ve performans tasarımlarını optimize edebilmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Taguchi metodu; bir ürün, işlem ya da sistemin mühendislik optimizasyonunu; sistem, parametre ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [26, 27]. Klasik deney tasarımı yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında zaman zaman verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça, yapılması gereken deneylerin sayısı da artmakta, bu nedenle fireler ve maliyetler yükselmekte, uygulamalar ise bir hayli zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli faktöriyel tasarım olan Taguchi Metodu sistemi hem daha verimli, hem de kolay bir hale getirmektedir. Karar vermeyi gerektiren birçok durumda da Taguchi Metodu başarı ile uygulanabilmektedir [28].

Taguchi metodunun tercih edilme nedenlerini ortaya koyan bu hususlar, çalışmamızda kaynak parametrelerini belirlemedeki temel amacı da genel olarak ifade etmek-

tedir. Bu çalışmada doğalgaz ve petrol borularının kaynak işlemlerinden elde edilen birleştirmelerin ptimum mekanik özelliklere sahip olması amacıyla Taguchi metodu kullanımı tercih edilmiştir. Taguchi metoduyla belirlenen parametreler dâhilinde kaynak işlemleri gerçekleştirilen API 5L X65 boru birleştirmeleri daha sonra tahribatsız muayene yöntemlerinden radyografik teste tabi tutulmuştur. Radyografi testleri EN 1435 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Muayene ve değerlendirme işlemleri EN 473 standardına uygun olarak vasıflandırılmış RT (Radyografik Test) Seviye 2 sertifikasına sahip kalifiye bir personel tarafından yapılmıştır. Radyografi işlemlerinden sonra da numunelerin makrografik incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Makroyapı incelemelerinde; akım şiddeti, kaynak yönü ve elektrot türünün etkilerine bağlı olarak oluşan kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) detaylı olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiş olup, ilk aşama boruların kaynaklı birleştirme aşaması, ikinci aşama birleştirmelerin radyografik muayenesi, üçüncü aşama ise birleştirmelerin makro yapılarının incelendiği makrografik inceleme aşamasıdır. İlk aşama olan birleştirmelerin kaynak işlemlerinde Taguchi metodu kullanılarak, gerçek ve akılcı çözümler üretebilmek ve en uygun değişkenler belirlenerek endüstriyel uygulamalara katkılar sunmak amaçlanmıştır. İkinci aşamada, Taguchi metoduyla belirlenen parametrelerle gerçekleştirilen birleştirmelerin radyografik incelemeleri yapılarak, metalurjik ve mekanik özellikler açısından kalite kontrol işlemlerinin bir ön çalışması planlanmıştır. Üçüncü aşamada ise, makrografik incelemeler yapılarak, birleştirmelerin makro düzeyde metalurjik özellikleri araştırılmaya çalışılmıştır.

Kaynak işlemlerinde akım şiddeti değeri, elektrot türü ve kaynak yönü gibi parametreler dikkate alınmıştır. Deneylerde 110-140, 120-150, 130-160, 140-170, 150-180, 160-190, 170-200 ve 180-210 A aralığında akım şiddeti değerleri kullanılmış, borular iki farklı yönde olmak üzere, (aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı) iki farklı elektrot türü (selülozik ve bazik) ile birleştirilmiştir. Belirlenen faktör ve seviyeler neticesinde Taguchi L16 deney düzeneği (8*2*2) ile kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Taguchi metodu ile belirlenen faktör ve seviyeler Çizelge 1’de, Taguchi L16 deney düzeneği ise Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney faktörleri ve seviyeleri (Factors and levelsof experiments)

Sembol	Faktörler (Kaynak Parametreleri)	Seviyeler							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	Akım Şiddeti Değerleri (A)	110-140	120-150	130-160	140-170	150-180	160-190	170-200	180-210
B	Kaynak Yönü	Aşağıdan yukarı ↑	Yukarıdan Aşağı ↓						
C	Elektrot Türü	Selülozik	Bazik						

Çizelge 2. Taguchi L_{16} deney düzeneği (Taguchi L_{16} experiment setup)

Deney No	-A- (Akım Şiddeti) (Amper)	-B- (Kaynak Yönü)	-C- (Elektrod Türü)
1	1 (110 – 140)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	1 (Selülozik)
2	1 (110 – 140)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	2 (Bazik)
3	2 (120 – 150)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	1 (Selülozik)
4	2 (120 – 150)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	2 (Bazik)
5	3 (130 – 160)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	1 (Selülozik)
6	3 (130 – 160)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	2 (Bazik)
7	4 (140 – 170)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	1 (Selülozik)
8	4 (140 – 170)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	2 (Bazik)
9	5 (150 – 180)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	2 (Bazik)
10	5 (150 – 180)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	1 (Selülozik)
11	6 (160 – 190)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	2 (Bazik)
12	6 (160 – 190)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	1 (Selülozik)
13	7 (170 – 200)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	2 (Bazik)
14	7 (170 – 200)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	1 (Selülozik)
15	8 (180 – 210)	1 (Aşağıdan yukarı ↑)	2 (Bazik)
16	8 (180 – 210)	2 (Yukarıdan aşağı ↓)	1 (Selülozik)

Deneylerde Çizelge 3'te kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri verilen API 5L X65 kalitesinde, 12,7 mm kesit kalınlığında ince taneli yapı çeliği kullanılmıştır. İlave tel (elektrod) olarak ise selülozik ve bazik elektrodlar kullanılmıştır. Selülozik elektrod ile yapılan birleştirmelerde kök pasoda 3,25 mm çapında E6010 AWS kodlu elektrod kullanılmış olup, sıcak paso, ara paso ve kapak pasolarda ise 4,00 mm çapında E8010 AWS kodlu elektrod kullanılmıştır. E6010 ve E8010

kodlu selülozik elektrodların kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Çizelge 4 ve 5'te verilmektedir. Bazik elektrod ile yapılan birleştirmelerde ise E9018-D1-H4 AWS kodlu elektrod kullanılmış olup, kök pasoda 3,25 mm, diğer pasolarda ise 4,00 mm çapında elektrodlar tercih edilmiştir. E9018-D1-H4 AWS kodlu elektrodun kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri ise Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan X65 malzeme kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of X65 material)

Element (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
		0,064	0,29	1,61	0,008	0,0018	0,021	0,001
Mekanik Özellikler	Cu	Al	Ti	V	Nb	N	Fe	C _{EŞ}
		0,008	0,035	0,023	0,051	0,052	0,0028	97,83
Mekanik Özellikler	Akma Muk. (MPa)		Çekme Muk. (MPa)		Uzama (%) (min.)		Darbe Enerjisi (0°C) (Joule)	
	566		650		34		209	

Çizelge 4. AWS/ASME FA.5.1. E6010 kodlu selülozik elektrod kimyasal analiz ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS/ASME FA.5.1. E6010 coded celulosic electrode)

Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi			Kaynak Metalinin Tipik Mekanik Özellikleri (%)			
C	Si	Mn	Akma Muk. (min) (N/mm ²)	Çekme Muk. (min) (N/mm ²)	Uzama (%)	Çentik Darbe Enerjisi (0 °C) (min) (Joule)
0,10	0,20	0,50	470	530	26	60

Çizelge 5. AWS/ASME FA.5.1. E8010 kodlu selülozik elektrod kimyasal analiz ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS/ASME FA.5.1. E8010 coded celulosic electrode)

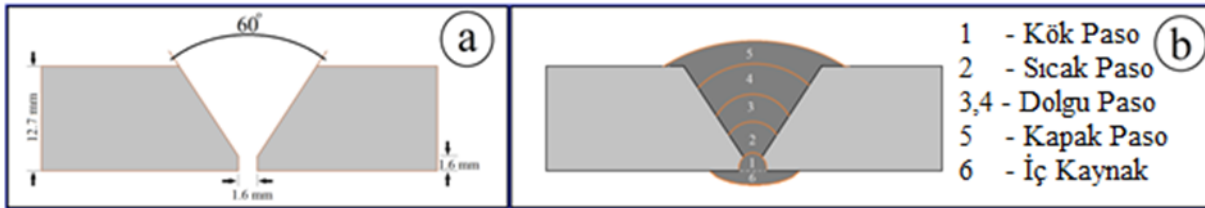
Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi				Kaynak Metalinin Tipik Mekanik Özellikleri (%)			
C	Si	Mn	Ni	Akma Muk. (min) (N/mm ²)	Çekme Muk. (min) (N/mm ²)	Uzama (%)	Çentik Darbe Enerjisi (-20 °C) (min) (Joule)
0,10	0,20	0,80	0,90	500	570	24	60

Çizelge 6. AWS A5.5. E9018-D1-H4 kodlu bazik elektrod kimyasal analiz ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS A5.5. E9018-D1-H4 coded alkaline electrode)

Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi				Kaynak Metalinin Tipik Mekanik Özellikleri (%)		
C	Si	Mn	Mo	Akma Muk. (min) (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	Çentik Darbe Enerjisi (-50 °C) (min) (Joule)
0,075	0,40	1,60	0,45	550	610-780	47

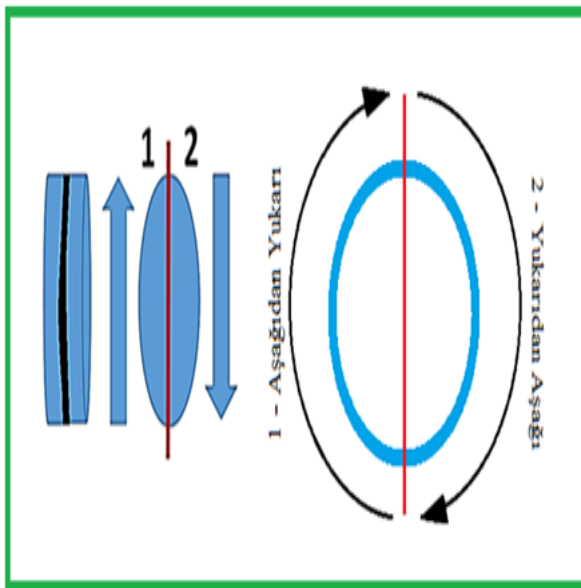
Saha birleştirmelerinde yoğunlukla kullanılan, örtülü elektrodla elektrik ark kaynak yöntemi birleştirme metodu olarak tercih edilmiş, kaynak işlemleri Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Kaynak Teknolojisi Programı laboratuvarlarında,

Taguchi metodu yardımıyla en uygun kaynak parametreleri Çizelge 2’de verildiği gibi L16 (8*2*2) düzeninde belirlenmiş ve kaynak işlemleri bu düzenlemeye uygun olarak Çizelge 7’de belirtildiği gibi seçilerek gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kök pasolar

**Şekil 1.** a. Kaynak ağız geometrisi, b. Paso sıralaması (a. Weld groove geometry, b. Pass sequence)

redresör tipi kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan kaynak ağız geometrisi ve paso sıralaması Şekil 1’de verilmektedir.

Kaynaklı birleştirmelerde parçalar öncelikle kaynak işlemine hazırlanmıştır. Tozaltı kaynak yöntemiyle spiral olarak üretilmiş olan 1.066,8 mm (42” çapında), 12,7 mm et kalınlığındaki API 5L X65 kalitesindeki çelik borular otomatik plazma kesme makinesi ile 300 mm genişliğinde kesilmiştir. Kesilen borulara 30° kaynak ağız açılarak, kaynak işlemine hazırlanmıştır. Her bir deney yarım boru birleştirmesi olacak şekilde, yani tam bir boru çevresi ikiye bölünerek, bir çevreden iki deney elde edilecek şekilde aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı yönlerde kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Kaynak işlemi için hazırlanmış boru şekilleri Şekil 3’te görülmektedir.

**Şekil 2.** Birleştirme işlemlerinin şematik görüntüsü (Schematic illustration of welding processes)

sabit bir akım şiddeti değerinde (100 Amper) birleştirilmiş olup, elektrodun ergime gücü ve metal yığıma kapasitesi düşünülerek, sıcak paso ile birlikte akım şiddeti değeri her pasoda 10 Amper arttırılmıştır. Kaynak işleminin sonunda borular kapak pasoda (5. paso) kullanılan akım şiddeti değerinde, içeriden de ayrıca iç kaynak (6. paso) işlemine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda belirlenen deney düzeneğinin son hali, paso geçişlerinde akım şiddeti değerlerinin yükseltilmesi ihtiyacına karşın ve Çizelge 2’de belirtilen akım şiddeti değerlerinin sabit oranda (10 A) arttırılması neticesinde Çizelge 7’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kaynak hızı sabit tutulmuş olup, birleştirme-

**Şekil 3.** Kaynak işlemi için hazırlanan borular (Pipes prepared for welding process)

ler kök pasoda 120 mm/dak, diğer pasolarda ise 150 mm/dak kaynak hızında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde

kullanılan bazik elektrodlar 250 – 300 °C’de 1 saat süre ile kurutulmuş, hiç bekletmeden, selülozik elektrodlar ise özelliği gereği kurutulmadan kaynak işleminde kullanılmıştır.

Kaynaklı birleştirme işlemlerinden sonra yapılan makrografik incelemeler ise; birleştirme işlemini makro boyutta detaylı olarak incelemek ve kaynak bölgesinde oluşabilecek makro düzeydeki hata ve süreksizliklerin

Çizelge 7. Taguchi L_{16} deney düzeneği ile oluşturulan ve deneylerde kullanılan parametreler (Parameters set by Taguchi L_{16} experiment setup and used in experiments)

Deney No	Kaynak Yönü	Elektrod Türü	Akım Şiddeti (Amper)					
			Kök Paso	Sıcak Paso	Dolgu Pasoları		Kapak Paso	İç Kay. Pas.
			Ø 3,25 mm	Ø 4,0 mm				
			-Paso 1-	-Paso 2-	-Paso 3-	-Paso 4-	-Paso 5-	-Paso 6-
1	Aşağıdan yukarı ↑	Selülozik						
2	Yukarıdan aşağı ↓	Bazik	100	110	120	130	140	140
3	Aşağıdan yukarı ↑	Selülozik						
4	Yukarıdan aşağı ↓	Bazik	100	120	130	140	150	150
5	Aşağıdan yukarı ↑	Selülozik						
6	Yukarıdan aşağı ↓	Bazik	100	130	140	150	160	160
7	Aşağıdan yukarı ↑	Selülozik						
8	Yukarıdan aşağı ↓	Bazik	100	140	150	160	170	170
9	Aşağıdan yukarı ↑	Bazik						
10	Yukarıdan aşağı ↓	Selülozik	100	150	160	170	180	180
11	Aşağıdan yukarı ↑	Bazik						
12	Yukarıdan aşağı ↓	Selülozik	100	160	170	180	190	190
13	Aşağıdan yukarı ↑	Bazik						
14	Yukarıdan aşağı ↓	Selülozik	100	170	180	190	200	200
15	Aşağıdan yukarı ↑	Bazik						
16	Yukarıdan aşağı ↓	Selülozik	100	180	190	200	210	210

Çizelge 7’de verilen parametrelere uygun olarak kaynaklı birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiş olup, kaynak işlemi tamamlanan boru birleştirmeleri sonraki aşama olan radyografik incelemeye hazır hale getirilmiştir.

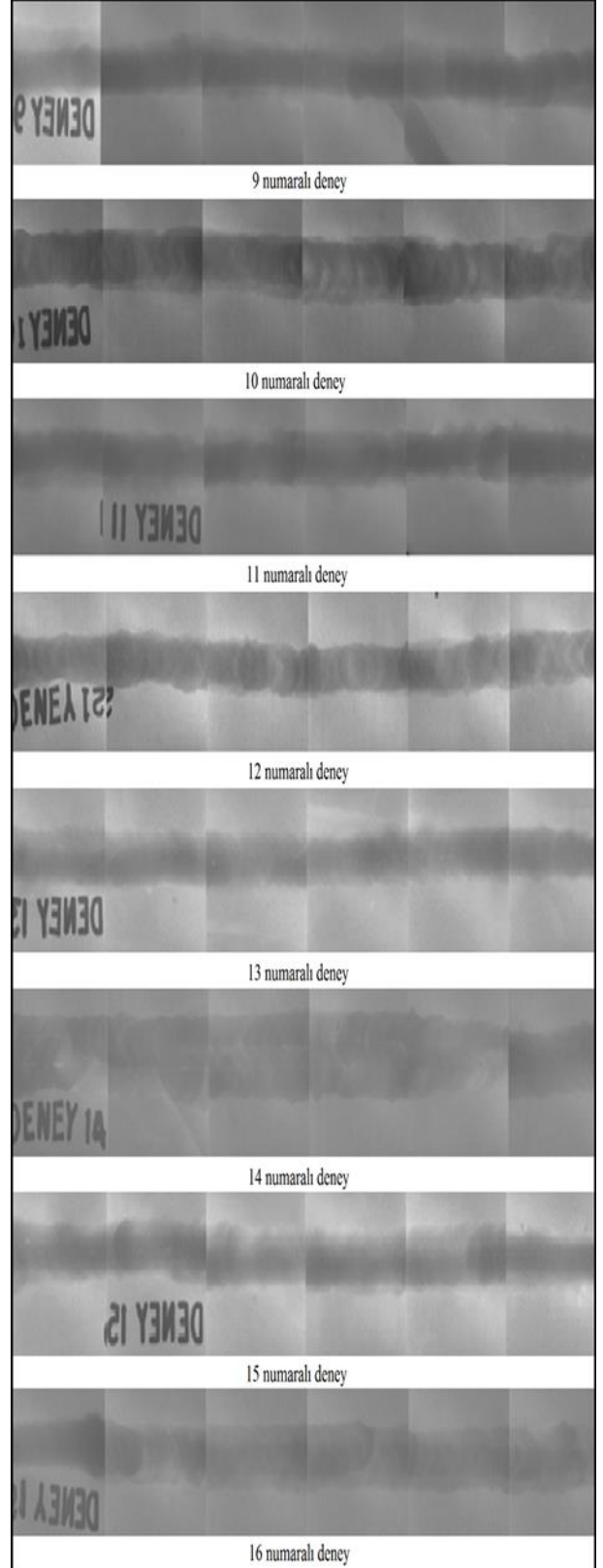
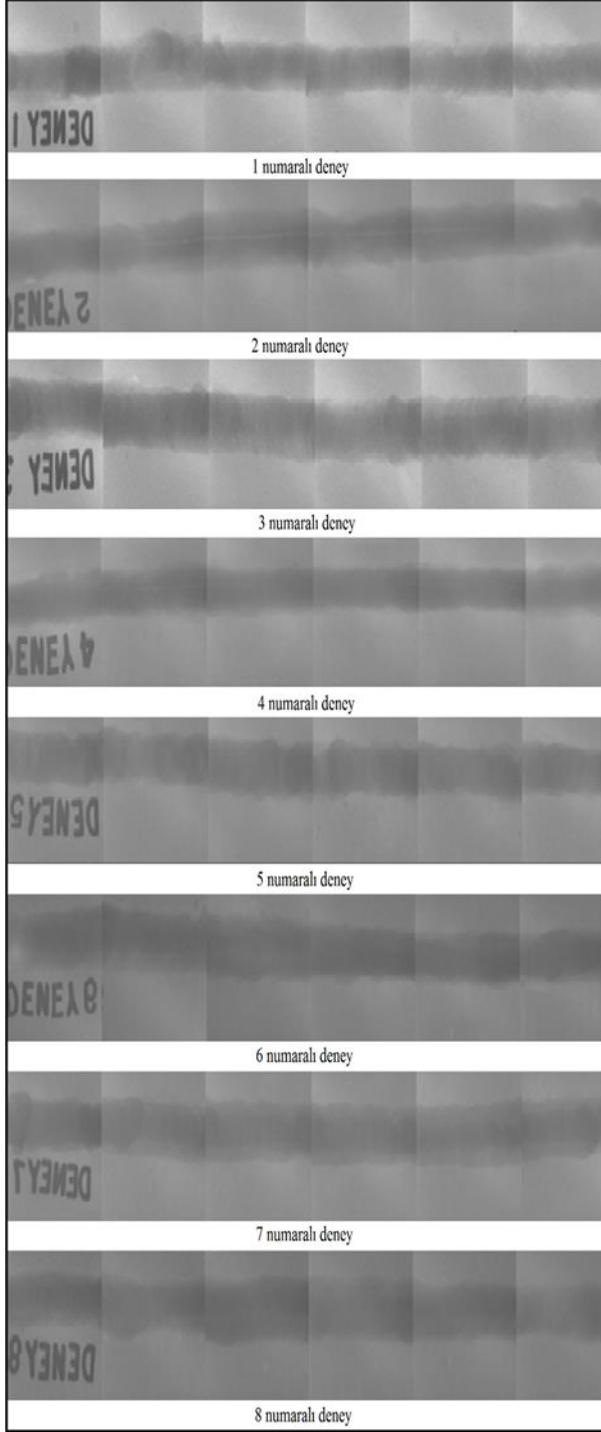
Radyografi ve Makrografi İşlemleri (Radiography and Macrography Processes)

Kaynaklı birleştirme işlemlerinden sonra yapılan radyografik incelemeler, kaynak bölgesinde gözenek, boşluk, çatlak, cüruf kalıntısı, yetersiz ergime, dikişte süreksizlik, yanma oluşu gibi hataların tespit edilmesi için yapılmaktadır. Radyografi testinde rastlanabilecek olası hatalar kaynaklı bağlantının kalitesizliğini göstermekte ve bu hatalar giderilmeden sonraki aşamalarda gerçekleştirilecek olan diğer test işlemlerinde sorunlar yaşanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bu çalışmada kaynak işlemleri gerçekleştirilen borular tahribatsız muayene işlemlerinden radyografik teste tabi tutulmuştur. Radyografi testleri EN 1435 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş, değerlendirme ise EN 473 standardına uygun olarak vasıflandırılmış Seviye 2 bir personel tarafından, ISO 5817 standardına uygun olarak Kabul Seviyesi C’de değerlendirilmiştir.

tespit edilmesi için yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bu çalışmada kaynak işlemleri gerçekleştirilen boru birleştirmelerinden alınan numuneler makro incelemeye tabi tutulmuştur. Çizelge 7’deki parametrelere bağlı kalınarak yapılan kaynak işlemlerinden sonra her bir deney kapsamında birleştirmelerin makro analizleri için metalografik test numuneleri alınmıştır. Boru kaynağının pozisyona bağlı etkilerini elemine etmek ve görüntüler hakkında doğru yorumlamalar yapabilmek için aşağıdan yukarı yönde gerçekleştirilen birleştirmelerde 10:30 – 12:00 saat pozisyonundan, yukarıdan aşağıya yapılan birleştirmelerde ise saat 12:00 – 01:30 saat pozisyonundan numuneler alınmıştır. Alınan numuneler, standart metalografik numune hazırlama kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gridlik zımparalarla zımparalanmış, daha sonra 6, 3 ve 1 µm’lik keçe ve uygun solüsyonlar ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler % 3 Nital (HNO₃) çözeltisiyle dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin makroyapı fotoğrafları Emek Boru Mak. San. A.Ş. Laboratuvarındaki Leica marka stereo mikroskop ile görüntülenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

EN 473 standardına uygun olarak vasıflandırılmış Seviye 2 bir personel tarafından, ISO 5817 standardına uygun olarak, Kabul Seviyesi C'de değerlendirilen radyografi test sonuçlarını ifade eden, radyografik muayene görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.



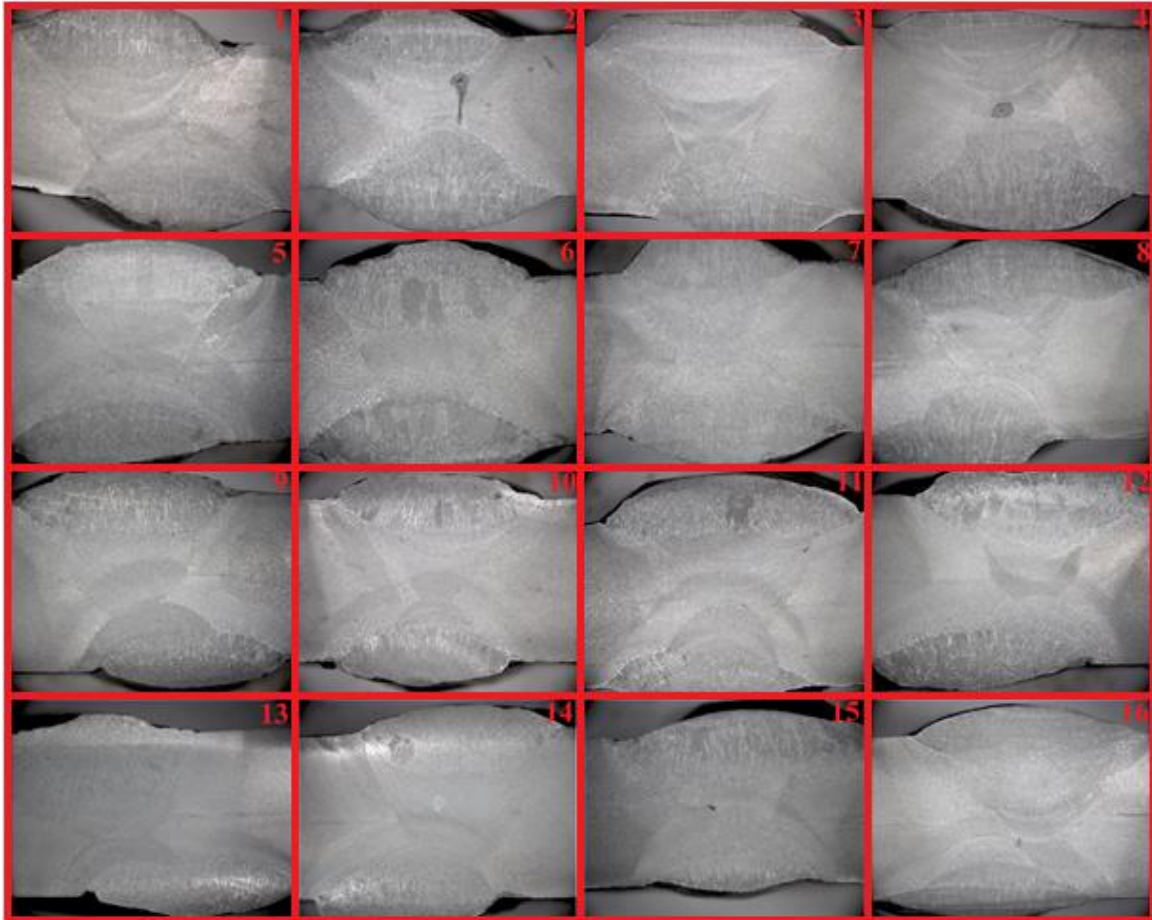
Şekil 4. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayene görüntüleri (Radiographic images of welded joints)

EN 473 standardına göre RT Seviye 2 bir personel tarafından ISO 5817 standardına uygun olarak kabul Seviyesi C' değerlendirilmelerine göre; 2 ve 4 numaralı deneylerde yetersiz ergime nedeniyle birleşme eksikliği hatası tespit edilmiş, bu nedenle söz konusu deneylerde kaynaklı birleştirmeler reddedilmiştir. Bu deneylerin haricinde 9, 11, 13, 14, 15 ve 16 numaralı deneylerde gözenek, 14 ve 15 numaralı deneylerde ise cüruf kalıntısına rastlanmış, fakat söz konusu süreksizlikler kabul kriterlerine göre hata boyutunda olmadığı için ilgili deneyler kabul edilmiştir. Genel olarak 2 ve 4 numaralı deneylerin haricinde kaynaklı birleştirmelerin kusursuz bir şekilde gerçekleştirildiği, kabul kriterlerinin üzerinde hata boyutunda süreksizliklere rastlanmadığı tespit edilmiştir. 2 ve 4 numaralı deneyler bazik elektrod ile yukarıdan aşağı pozisyonda gerçekleşen deneyler olup, söz konusu deneylerin radyografik incelemesinde yetersiz ergime, birleşme noksanlığı gibi hataların olduğu gözlemlenmiştir. Radyografi resimlerinde düz bir çizgi halinde beliren bu hata yetersiz ergime nedeniyle oluşan birleşme noksanlığı hatasını ifade etmektedir. Bazik elektrodlar, yukarıdan aşağı pozisyonda, deneylerdeki en düşük akım şiddeti değerlerinde (110 - 140 ve 120 - 150 A) gerçekleşen birleştirme işlemlerinde yeterli nüfuziyetin sağlanamadığı görülmüştür. Söz konusu belirtilen hatanın seçilen bu değerlerin bazik elektrod için

yukarıdan aşağı kaynağında yeterli nüfuziyeti sağlayamaması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

Radyografik muayenede temel prensip olarak; boşluklar veya hatalar farklı koyuluktaki bölgeler olarak görülmesi gerekirken yukarıda verilen radyografi görüntülerinde 2 ve 4 numaralı deneyler haricinde, kabul kriterleri dışında böylesi farklılıklar görülmemektedir. Dolayısıyla; bu da kaynaklı birleştirmelerin hata boyutunda herhangi bir çatlak, gözenek, kalıntı, boşluk ve süreksizlik içermediğini göstermekte olup, 2 ve 4 numaralı deneyler hariç diğer kaynaklı parçalarda sağlıklı birleştirmelerin gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır. Şekil 5'te verilen radyografi görüntülerinde farklı genişliklerde kaynak dikişlerinin elde edilmesinin nedeni ise deneylerin farklı parametrelerde gerçekleşmesindedir. Tüm birleştirmelerde borulara açılan kaynak ağız açısı 30° olup, birleştirmeler 6 pasoda gerçekleşmiştir. Buna karşın, akım şiddeti, kaynak yönü ve elektrod türü dikiş genişliğinin farklı oluşmasına etki etmektedir. Genel olarak görüntülerde, akım şiddetinin artması ile kaynak dikişi genişliğinin arttığı görülmüştür.

Çizelge 8'de verilen parametrelere uygun olarak birleştirilen API 5L X65 kalitesindeki borulardan alınan metalografik inceleme numunelerinin makroyapı görüntüleri Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Kaynaklı birleştirmelerin makrografi görüntüleri (Macrographic images of welded joints)

Şekil 5'te verilen makroyapı fotoğrafları incelendiğinde yukarıdan aşağı yönde bazik elektrod ile birleştirilen 2 ve 4 numaralı deneylerde yetersiz ergime sebebi ile birleşme eksikliği görülmekte olup diğer görüntülerde herhangi bir hata görülmemektedir. Radyografi deneylerinden elde edilen görüntüler ve radyografik test raporu da bu durumu desteklemektedir. Çalışmalarda uygulanan kaynak işlemi ve boru ağızlaşma işlemleri manuel olarak yapıldığı için bazı numunelerde iç-dış kaynaklarda aksenel kaçıklık hatası olmuştur. Bu durum makro görüntülere yansımış ancak kaynak kalitesini etkileyecek bir veri tespit edilmediği için hata olarak değerlendirilmemiştir.

Bazik elektrod ile yukarıdan aşağı yapılan birleştirmelerde en düşük akım şiddeti değerlerinde birleştirilen 2 ve 4 numaralı deneylerde yetersiz ergime sebebiyle birleşme eksikliği görülmüştür. Bu durum 2 ve 4 numaralı deneylerde ısı girdisinin yeterli miktarda olmadığını, bu nedenle yeterli ergime ve birleşmenin sağlanamadığını göstermektedir. 2 ve 4 numaralı deneyler haricindeki birleştirmelere bakıldığında; birleştirmelerde tam nüfuziyetin sağlandığı gözlenmiş ve makro düzeyde herhangi bir kaynak hatasına (yanma oluşu, çatlak, gözenek, kalıntı, nüfuziyet yetersizliği v.b.) rastlanılmamıştır. Makroyapı görüntülerinin tümünde ise ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), kaynak metali ve bölgesel sınırlar net olarak görülmektedir. Ayrıca fotoğraflardan, kaynak metali tanelerinin ısı akış yönüne ters yönde, ana metal sınırlarından kaynak metali merkezine doğru yönlendiği net bir şekilde gözlenmektedir. Birleştirme işlemlerinde önceki pasolar, daha sonra uygulanacak pasolara aynı zamanda ön tav ısıtma işlemi görevi de yapmaktadır.

6 pasoda gerçekleşen kaynaklı birleştirme işleminde, paso geçişleri makroyapı fotoğraflarından görülebilmektedir. Merkez bölgede yer alan ilk pasoların ince taneli, iç ve dış kapakları oluşturan son pasoların ise iri ve sütunsal taneli yönlenmiş yapıları belirgin olarak seçilebilmektedir. Her paso kendinden önceki pasolar üzerine yüksek sıcaklıklarda bir ısıtma işlemi uygulanmış, her yeni pasonun çekilişinde alttaki pasoların ısıtma işlemi tekrarlanmıştır. Bu ısıtma işlemleri taneler yapısını normalize ettiği için taneler küçülmüş, yönlendirme kaybolmuştur. Fakat son pasoda böyle bir durum söz konusu değildir [29].

Yine ilave metal ile birlikte ana malzeme de ergiyerek ve yoğun türbülansın etkisiyle birlikte katılarak, kaynak metali yapısını oluşturmuştur. Kaynak metalindeki katılaşmanın epitaksiyel olarak ana metalin tanelerinden başlayarak merkeze doğru ilerlediği bilinmektedir [30]. ITAB, katılaşmanın başladığı çizgiden ana metale kadar uzanan ve yapısal farklılıkların, geçiş bölgesi olarak net bir şekilde makro olarak görülebildiği bir yapıdır. Ana metal ve kaynak metali arasında ergime - katılaşma olmadan yüksek ısı etkisi ile yapısal olarak değişime uğrayan bu bölgeler makroyapı fotoğraflarında açıkça görülmektedir [30, 31]. Kaynak metali sınırında iri tanelerden oluşan ITAB makroyapısının, ana metale yaklaştıkça daha ince tanelerden oluştuğu görülmektedir.

Yine makroyapı görüntüleri detaylı olarak incelendiğinde; nüfuziyet derinliği ve ITAB genişliğinin malzemeye uygulanan kaynak yönü - elektrod türü - akım şiddetinin bir neticesi olan ısı girdisine bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür. Aynı elektrod türü ile aynı yönde yapılan birleştirmelerde uygulanan akım şiddetinin değiştirilmesi ile ısı girdisi miktarı değişiklik göstermiştir. Elektrik ark kaynağında ısı girdisi eşitliğine göre akım şiddeti ile ısı girdisi arasında doğru orantı bulunmaktadır. Diğer değişkenler sabit tutularak akım şiddeti arttırıldığında, ısı girdisi de aynı oranda artmaktadır. Akım şiddetinin yüksek olduğu deneylerde, ısı girdisi miktarı yükselmekte ve nüfuziyet derinliği - ITAB genişliği daha geniş bir alanda oluşmaktadır. Makroyapı fotoğrafları ayrıntılı olarak incelendiğinde bu durum net bir şekilde gözlemlenmektedir.

Diğer parametreler sabit tutularak elektrod türünde değişikliğe gidilmesi ısı girdisinde bariz bir değişikliğe neden olmamakla birlikte, kaynak yönünün değiştirilmesi birleştirmelere uygulanan ısı girdisini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Aşağıdan yukarı kaynak yönünde, pozisyon gereği ısı girdisi daha yoğun bir şekilde oluşmuştur. Makro fotoğraflar incelendiğinde, aşağıdan yukarı kaynak pozisyonlarında daha fazla nüfuziyet derinliği ve ITAB genişliğinin oluştuğu görülmüştür.

Makroyapı fotoğrafları genel olarak değerlendirildiğinde benzerlikler arz etmektedir. ısı girdisi miktarına bağlı olarak kaynaklı bölgenin ve tanelerin görüntüleri de değişmektedir. ısı girdisi miktarının yoğun olduğu birleştirmelerde sütunsal tanelerin daha belirgin ve kaba olduğu, ITAB'ların daha geniş olduğu yine fotoğraflardan görülebilmektedir. Kaynak metalinde ergime ve katılaşmanın etkisiyle asiküler ferrit oluşumunun artması sonucu tane yapısı da incelmektedir. $\Delta t_{8/5}$ soğuma süresinin artmasıyla asiküler ferrit miktarı da artış göstermektedir. ısı girdisinin artması $\Delta t_{8/5}$ soğuma süresini arttırmakta, buna bağlı olarak yapıdaki asiküler ferrit oranı da artış göstermektedir. Bu durum kaynak metali tane yapısının daha ince bir şekilde oluşmasına neden olmaktadır [32].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

API 5L X65 kalitesinde ince taneli yapı çeliğinin Taguchi metodundan faydalanılarak elde edilen parametreler ile birleştirilmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ ISO 5817 standardına uygun olarak Kabul Seviyesi C'de gerçekleştirilen değerlendirmelere göre; 2 ve 4 numaralı deneylerde düşük amper değerleri nedeniyle yetersiz ergime hatası tespit edilmiş, bu nedenle söz konusu deneylerde kaynaklı birleştirmeler reddedilmiştir.
- ✓ Düşük amper değerleri ile elde edilen numuneler haricindeki bazı birleştirmelerde ise gözenek ve cüruf kalıntısına rastlanmış, fakat söz konusu süreksizlikler kabul kriterlerine göre hata boyutunda olmadığı için ilgili deneyler kabul edilmiştir.

- ✓ Bazik elektrod ile yukarıdan aşağı pozisyonda en düşük amper değerleri ile gerçekleştirilen deneyler (2 ve 4 numaralı birleştirmeler) sonucu elde edilen numunelerin radyografik incelenmesinde yetersiz ergime, birleşme noksanlığı gibi hataların oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu birleştirmelerde yeterli nüfuziyetin sağlanamadığı görülmüştür.
- ✓ Bazik elektrod ile yukarıdan aşağı yapılan birleştirmelerde en düşük akım şiddeti değerlerinde birleştirilen numunelerde (2 ve 4 numaralı birleştirmeler) ısı girdisinin yeterli miktarda olmaması sonucu yeterli ergime oluşmamış ve birleşme eksikliği görülmüştür. Diğer birleştirmelerde tam nüfuziyet elde edilmiş ve herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır.
- ✓ Makroyapı görüntülerinin tümünde ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), kaynak metali ve bölgesel sınırlar net bir şekilde görüldüğü ve kaynak metali tanelerinin ısı akışı yönüne ters yönde, ana metal sınırlarından kaynak metali merkezine doğru yönlendiği tespit edilmiştir.
- ✓ Nüfuziyet derinliği ve ITAB genişliği, malzemeye uygulanan kaynak yönü - elektrod türü ve akım şiddetinin bir neticesi olan ısı girdisine bağlı olarak üzere değişiklik göstermiştir.
- ✓ Diğer parametreler sabit tutularak elektrod türünde değişikliğe gidilmesi ısı girdisinde bariz bir değişikliğe neden olmamakla birlikte kaynak yönünün değiştirilmesi kaynak hızı sebebiyle birleştirmelere uygulanan ısı girdisini önemli bir şekilde etkilemiştir. Aşağıdan yukarı kaynak yönünde, pozisyon gereği kaynak hızı çok az da olsa yavaşladığından daha geniş bir nüfuziyet derinliği ve ITAB genişliğinin oluştuğu görülmüştür.
- ✓ Isı girdisi miktarının artışıyla birlikte birleştirmelerde sütünsal tanelerin daha kaba ve belirgin, ITAB'ların daha geniş olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ada H., "Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2006).
- [2] Ada H., "API borularının kaynaklı birleştirmelerinde kaynak parametrelerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2017).
- [3] Ada H., Aksöz S., Fındık T., Çetinkaya C. ve Gülsün M., "Tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen petrol ve doğalgaz borularının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Politeknik*, 19 (3): 275-282, (2016).
- [4] Aksöz S., Ada H. ve Özer A., "Tozaltı kaynak yöntemiyle üretilen API 5L X70 kalite çelik boruların mikroyapı ve mekanik özellikleri", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part: C Tasarım Ve Teknoloji*, 5(1): 55-64, (2017).
- [5] Aksöz S., Ada H., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B. ve Candan İ., "API 5L X65 çeliklerinin elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4(1): 72-81, (2017).
- [6] Ada H., Aksöz S., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B. ve Candan İ., "API 5L X65 çeliklerinin mag kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1): 1-9, (2016).
- [7] Ada H., Fındık T. ve Çetinkaya C., "Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen API 5L X65 boruların birleştirilmesinde kaynak teli kompozisyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi", *ICWET Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi*, (2012).
- [8] Ada H., Aksöz S., Özer A. ve Candan İ., "Investigation of metallurgical and mechanical properties of weld region of API 5L X80 steel joints by submerged arc welding method", *3rd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16)*, (2016).
- [9] Özer A., Aksöz S., Ada H. ve Candan İ., "Elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen API 5L X80 çeliklerinin kaynak bölgesi metalurjik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *2. Uluslararası Disiplinlerarası Avrasya Kongresi*, Odessa, Ukrain, (2016).
- [10] Ada H., Aksöz S. ve Özer A., "MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen API 5L X80 çeliklerinin kaynak bölgesi mekanik ve metalurjik özelliklerinin incelenmesi", *2. Uluslararası Disiplinlerarası Avrasya Kongresi*, Odessa, Ukrain, (2016).
- [11] Aksöz S., Fındık T., Çetinkaya C. ve Ada H., "Tozaltı kaynağı ile API 5L X52 malzemenin üretilen boruların kaynak bölgesinin mekanik incelemesi", *2. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı*, Kapadokya, IMSTEC 2017, (2017).
- [12] Ada H., Çetinkaya C., Fındık T. ve Aksöz S., "Tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen API 5L X52 doğalgaz boru malzemesinin kaynak bölgesinin metalurjik araştırması", *2. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı*, Kapadokya, IMSTEC 2017, (2017).
- [13] Bai Y., "*Pipelines and Risers*", Elsevier, Oxford, UK, (2001).
- [14] Baek J. H., Kim Y. P., Kim K., Kim C.M., Kim W.S. and Seok C. S., "Effects of pre-strain on the mechanical properties of API 5L X65 pipe", *Materials Science and Engineering (A)*, 527: 1473-1479, (2010)
- [15] Baek J., Kima Y., Kima W., Koo J. and Seok C., "Load bearing capacity of API X65 pipe with dent defect under internal pressure and in-plane bending", *Materials Science and Engineering (A)*, 540: 70-82, (2012).
- [16] Cosham A. and Hopkins P., "The effect of dents in pipelines - guidance in the pipeline defect assessment manual", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 81: 127-139, (2004).
- [17] API Specifications 5L. "*Specifications For Line Pipe*", 45th Edition. American Petroleum Institute, USA, (2012).

- [18] Hashemi S.H., “Strength - hardness statistical correlation in API X65 steel”, *Material Science and Engineering (A)*, 528: 1648–1655, (2011).
- [19] Hashemi S.H. and Mohammadyani D., “Characterisation of weldment hardness, impact energy and microstructure in API X65 steel”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 98: 8–15, (2012).
- [20] Rakhshkhorshid M. and Hashemi S.H., “Experimental study of hot deformation behavior in API X65 steel”, *Materials Science and Engineering (A)*, 573: 37–44, (2013).
- [21] Migahed M.A., Al-Sabagh A.M., Khamis E.A. and Zaki E.G., “Quantum chemical calculations, synthesis and corrosion inhibition efficiency of ethoxylated-[2-(2-[2-(2-benzenesulfonylaminoethylamino)-ethylamino]-ethylamino)-ethylamino]-ethyl]-4-alkylbenzenesulfonamide on API X65 steel surface under H₂S environment”, *Journal of Molecular Liquids*, 212: 360–371, (2015).
- [22] Amitha Rani B.E. and Bharathi Bai J.B., “Green corrosion inhibitors - an overview”, *Technical Report, National Aerospace Laboratories*, Bangalore, India, (2009).
- [23] Radovic A., Bajic N. and Grabulov V., “Specific quality of the weld metal of welded joints of finegrained microalloyed steels”, *Zavarivanje* 96, 61–72, Belgrade, (1996).
- [24] Bajic N., Sijacki-Zeravcic V., Rakin M. and Kovacevic K., “Structure optimization of weld metal and HAZ in microalloyed high strength steel welded joints”, *Yucomat 2005*, Herceg Novi, (ISBN: 86- 80321-08-7), pp. 193–200, (2005).
- [25] Bajic and N.V. Šijacki-Žeravi, “The analysis of change of structural and mechanical properties of welded joints of microalloyed Nb/V steel grade by changing the composition of filler material”, *International Conference on Welding*, Belgrade, (2003).
- [26] Çakıroğlu R. and Acır A., “Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method”, *Measurement*, 46(3525-3531): (2013).
- [27] Davim J. P., A note the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments, *Journal of Materials Processing Technology*, 116: 305-308. (2003).
- [28] Şeker M., “Fren balatalarının üretim şartları ve içeriğinin performansa etkisinin Taguchi yöntemiyle araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, (2013).
- [29] Özden N., “*Kaynağın Isıl İşlemi*”, Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayii A.Ş., 1-22. İstanbul, (1985).
- [30] Keehan E., “Effect of microstructure on mechanical properties of high strength steel weld metals”, *PhD Thesis*, University of Gothenburg Department of Experimental Physics, Gothenburg, 1-72. (2004).
- [31] Aucott L.A., Wen S.W. and Dong H., “The role of ti carbonitrideprecipitates on fusionzonestrength-toughness in submerged arc welded pipeline joints”, *Materials Science and Engineering (A)*, 622: 194–203, (2015).
- [32] Yüklükler A.İ., “*Kaynak Metali*”, İstanbul: MÜTEF Matbaası, 2-60, (1994).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Performance evaluation of bridges under scour by UAS based measurements

Oyulma etkisindeki köprülerin İHS esaslı ölçümlerle performans değerlendirmesi

Yazar(lar) (Author(s)): Orkan ÖZCAN

ORCID: 0000-0002-7485-6157

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özcan O., “Performance evaluation of bridges under scour by UAS based measurements”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 385-391, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.450288

Performance Evaluation of Bridges Under Scour by UAS Based Measurements

Araştırma Makalesi / Research Article

Orkan ÖZCAN

Istanbul Technical University, Eurasia Institute of Earth Sciences, 34469, Maslak, Istanbul

(Received : 16.01.2018 ; Accepted : 22.06.2018)

ABSTRACT

Flood and stream induced scour occurring in bridge piers located on rivers is one of the mostly observed failure reasons in bridges. Scour induced failure risk in bridges and determination of the alterations in bridge safety under seismic effects has the ultimate importance. Thus, for the determination of bridge safety under the scour effects, the scour amount under bridge piers should be designated realistically and updated with continuous monitoring. In this study, in order to measure the amount of scour in bridge piers unmanned aerial system (UAS) based measurement methods were implemented. UAS based measurement systems provide new and practical approach and bring high precision and reliable solutions considering recent measurement systems. For this purpose, the reinforced concrete (RC) bridge that is located on Antalya Boğaçayı River, Turkey and that failed in 2003 due to flood-induced scour was selected as the case study. The amount of scour occurred in bridge piers was determined realistically, and the behavior of bridge under scour effects was investigated. In the light of the attained scour measurements and expected scour after a probable flood event, the behavior of scour induced RC bridge was determined by pushover analyses under seismic loadings. In the analyses, the load and displacement capacity of bridge was observed to diminish significantly under expected scour. Regarding the case study, UAS based and continuously updated bridge performance evaluation system was developed that could be used for bridges located on the riverbed.

Anahtar Kelimeler: UAS, scour, bridge, performance.

Oyulma Etkisindeki Köprülerin İHS Esaslı Ölçümlerle Performans Değerlendirmesi

ÖZ

Nehir üzerinde bulunan köprü ayaklarında oluşan taşkın ve akış kaynaklı oyulma köprülerde çokça gözlemlenen göçme nedenlerinden biridir. Köprülerde oyulma kaynaklı göçme riski ve sismik etkiler altında köprü güvenliğinin değişimlerinin belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, oyulma etkileri altında köprü güvenliğinin belirlenmesi için köprü ayakları altındaki oyulma miktarının gerçekçi olarak belirlenmesi ve sürekli olarak izlenip güncellenmesi gereklidir. Bu çalışmada, köprü ayaklarındaki oyulma miktarının ölçülmesi için insansız hava sistemi (İHS) tabanlı ölçüm yöntemleri uygulanmıştır. İHS tabanlı ölçüm sistemleri yeni ve pratik bir yaklaşım sağlamakta ve günümüz ölçüm sistemleri düşünüldüğünde yüksek doğrulukta ve gerçekçi çözümler getirmektedir. Bu amaçla, Antalya Boğaçayı Nehri üzerinde bulunan ve 2003 yılında taşkın kaynaklı oyulma nedeniyle göçmüş betonarme (BA) köprü durum çalışması olarak seçilmiştir. Köprü ayaklarında oluşan oyulma miktarı gerçekçi olarak belirlenmiş ve oyulma etkileri altında köprü davranışı incelenmiştir. Elde edilen oyulma ölçümleri ve olası taşkın sonucu beklenen oyulma ışığında, oyulma etkisi altındaki BA köprüünün davranışı sismik yüklemeler altında itme analizi ile belirlenmiştir. Analizlerde köprüünün yük ve yer değiştirme kapasitesinin beklenen oyulma altında belirgin olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Durum çalışmasına ilişkin olarak, İHS tabanlı ve sürekli olarak güncellenen ve nehir yatağında bulunan köprüler için kullanılacak performans belirleme sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHS, oyulma, köprü, performans.

1. INTRODUCTION

The vulnerability and consequent risk of RC bridges located on riverbeds under natural hazards such as stream/flood induced scour and earthquake has the ultimate importance for design and assessment. While scouring in bridge substructures constitutes a substantial part of major failure mechanisms observed in bridges [1, 2], pier scour measurements should be continuously implemented and updated accordingly. Thus, in

performance evaluation of RC bridges, scour depth at piers and piles should be accurately measured in order for more reliable bridge evaluation. There has been put much effort in developing methods for field scour measurements to assess current bridge condition or to forecast future behavior. In this respect, sonar [3] and ground-penetrating radar (GPR) [4] based measurement methods were implemented. In addition, pier scour depth was acquired by monitoring the change in bridge vibration characteristics by mounting accelerometers on bridges [5]. Radio frequency identification (RFID) method was utilized to measure instantaneous scour

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : ozcanorkan@itu.edu.tr

depth while locating sensors on bridge piers [6]. However, the aforementioned methods have drawbacks of either being impractical or having high installation costs as compared to direct field measurement methods. Unmanned aerial vehicles (UAVs) have been utilized for flood analysis [7, 8], to the contrary, no UAS based scour measurement techniques were encountered in previous studies.

In the previous studies conducted in scour monitoring research field, the need of special equipment such as sonar, GPR, accelerometer, RFID highly increased the measurement costs and thus impeded the continuous tracking of scouring at bridge piers. Thus, by using the UAS measurement methods, the implementation time and measurement costs were monitored to decrease substantially.

In former studies, three-dimensional (3D) dense point-cloud generation workflows were investigated by UAV derived aerial imagery and accuracy analyses were substantiated via independent digital surface models (DSMs) as well as dataset of verification points. Herein, the accuracies obtained by Structure from Motion (SfM) technique were demonstrated to be comparable to traditional high-resolution topographical survey methods. The accuracy of the implemented SfM technique via UAV derived images was investigated for the regions having different geomorphic properties [9, 10]. In vast terrains, regarding UAV imagery based on SfM point clouds, the results of the studies were directed towards redetermination of changing topography and applications were compared with the outputs of high-resolution data acquisition techniques (Table 1). Terrestrial laser scanning (TLS) was used to map 80 m height cliffs and the accuracy of the DSM was determined to be lower than 0.5 m for 86% of the area [11]. The erosion rate was investigated using the DSM time series while comparing SfM and TLS data and the root mean square (RMS) error was 0.07 [12] and maximum deviation was determined as 0.1 m in a similar study [13]. In riverbed system, SfM and aerial LIDAR data were compared and the average variation between the regenerated topography by two different methods was indicated as 0.6 m [14].

Cirque glaciers were investigated by evaluating UAV-SfM data with the measured points with tachometric survey and vertical RMS error was 0.52 m while the lands with low plant cover the error was 0.2 m [15]. Direct referencing the point clouds that were derived by the UAV on which global navigation satellite system (GNSS) sensor was located and referencing by ground control points (GCPs) were compared and the horizontal accuracy of GCP derived orthomosaic images were observed to enhance 5 to 10 times [16]. In addition, the collocation of UAV and SfM algorithm was proposed to designate sub-decimeter variations [17]. In addition to nadir photos, the DSM generated by adding the oblique images in SfM algorithm was compared with GCPs and accuracies were obtained in a range between 0.001-0.083 m, 0.04-0.06 m in horizontal and vertical directions,

respectively. The utilization of UAV and SfM derived orthomosaic images and DSMs were demonstrated in order to determine landslide induced relative surface displacements [18].

Table 1. UAV-SfM based researches and accuracies.

Ref.	Data set	Method	Accuracy	Geo. Ref.
[11]	UAV-TLS	SfM-DSM difference	86% of area, 0.3-0.5 m	Manual
[12]	UAV-TLS	SfM-DSM difference	Vertical RMSE 0.07 m	Manual
[13]	UAV-TLS	SfM-DSM difference	Max. standard dev. 0.1 m	N/A
[14]	UAV-ALS	SfM-DSM difference	Average difference 0.6 m	Manual
[15]	UAV-Total Station	SfM-Verification Points	Vertical RMSE 0.52 m	Manual
[16]	UAV-DGPS	SfM-Verification Points	Average absolute horizontal accuracy 0.10-0.13 m	GCP
[16]	UAV-Internal GPS	SfM-Verification Points	Average absolute horizontal accuracy 0.66-1.25 m	Direct
[17]	UAV-SfM	SfM-Verification Points	Horizontal RMSE 0.001-0.083 m, Vertical RMSE 0.04-0.06 m	GCP
[19]	RTK-GPS	SfM-DSM Difference-Verification Points	Average absolute difference 0.074 m	GCP
[20]	UAV-SfM-LIDAR	SfM-DSM Difference-Verification Points	Average absolute difference 0.04 m	Direct, GCP
[21]	UAV-TLS	SfM-DSM Difference-Verification Points	Standard deviation 0.61-1.26 cm	GCP

The accuracy of 3D topographical modeling was shown to be dependent on the used software to run SfM algorithm by comparing the reference real time kinematic (RTK) and GNSS data [19-21]. Along with the aforementioned studies, for modeling of river bathymetry by UAVs, the bathymetric data acquired from high-resolution images at shallow water were verified with real data and high correlation was obtained [22]. Since the complicated behavior of the bridges under scouring entailed that to be one of the most active research topics in engineering, most of the conducted research covered model generation studies related to local scour behavior. The recent researches revealed scour to be one of the main reasons responsible for the bridge failure. Within

this context, the behavior of scour influenced laterally loaded pile groups was determined by analytical studies and the lateral capacity of the pile groups were observed to increase and the maximum internal forces decrease with increasing scour depth. In addition, river bridges exposed to scour were modeled and the effect of bridge substructure capacity on bridge performance was assessed [23].

2. MATERIAL and METHOD

In order to acquire the lateral performance of bridges, many methods were implemented by means of basic beam and finite element modeling. Since most of the conducted research in this field focused on the column performances, the researches on scouring and earthquake performance of bridges with pile foundations gains currency in multi-disciplinary research fields. In this regard, although the use of UAS technology is increasing in many research fields, there were no research conducted in order to investigate the RC bridge substructures with UAS data. Herein, the scour depths at bridge piles was determined by UAS based measurements at shallow and clear water. The implemented UAS based scour monitoring method provided input data for performance assessment analyses of bridges while ensuring a fast, easy to implement and economic measurement method as compared to previous methods based on sonar, GPR, RFID and accelerometer sensors.

In this study, the DSM of the riverbed including the bridge and the scour depths at bridge substructures (piles and piers) were measured in 3Ds by UAS. In order to determine the variations in river topography, SfM technique was implemented while using the difference between DSMs that were obtained at different time intervals. The model of 3D structures such as bridges was generated using motion data integrated 2D image clusters in SfM technique. Herein, model geometry, position and orientation data were solved simultaneously and automatically. In order to find the relation between the images, the sensed features such as corners and sides was monitored from one image to another. Then, the feature trajectories were used for estimating the 3D location of the object and camera movement. Thus, the orthophotos and DSMs that were obtained by data acquisition methods were generated based on SfM algorithm.

The four fundamental steps in SfM can be specified as: (a) Bundle adjustment in which common nodes on overlapping photos were determined and matched in order to calculate camera parameters for the correction of each photo and camera calibration parameters. (b) For generation of dense point cloud, the node locations were calculated by specified camera locations and photos by using the stereo photogrammetric equations. (c) 3D polygon mesh model was generated while representing surface depending on the dense point cloud. (d) Regenerated mesh model was used for orthophoto generation in which DSM was calculated by interpolating

irregular polygon mesh model onto regular grids (Figure 1).

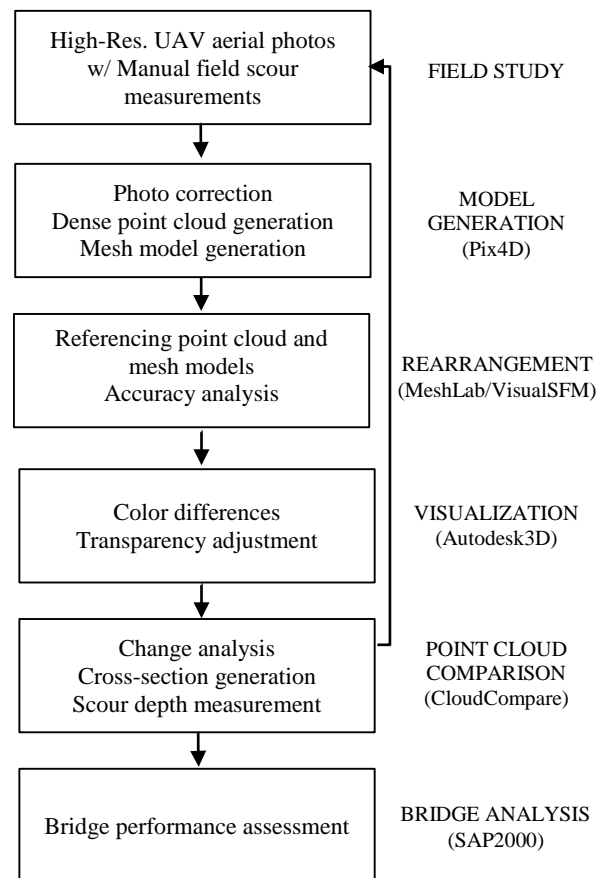


Figure 1. Workflow of UAS.

Therefore, the DSMs and orthophotos that were acquired using UAS based field measurements were calculated using SfM algorithm. Considering the UAS configuration, probable large-scale deformations in generated DSMs were reduced by manual field measurements. The frontal and lateral overlapping ratios in direction of motion and in between flight routes for aerial photos taken at surfaces covered with sand or having shallow water with low visual contents were determined as at least 85 and 70%, respectively. High-resolution aerial photos over the riverbed were obtained from nadir view at 70 m flight height. Moreover, for scour depth analysis, the scour depth under bridge piers was derived by oblique view (adjusting the camera angle to 45°) during the flight and the 3D model of the surface along bridge piers was obtained by manual designation of the flight heights such that photos could be taken at each view of the bridge with varying camera angles. The ground sampling distance (GSD) was used as 1 to 2 cm/pixel for the flights performed at these altitudes. In addition, the flight speed was reduced in order to provide more proper overlapping. Hereby, the acquired high-resolution orthophotos and dense point clouds were used to measure scour depths at bridge piers. The concordant

studies demonstrated that the measurements taken at shallow and clear water had a high correlation with the manual measurements [22].

As shown in the workflow (Figure 1), the images obtained from UAVs during the field study were processed, 3D dense point clouds were generated and high-resolution DSMs were constituted in model generation part. The rearrangement part constituted reorganization and referencing of the generated 3D dense point cloud and the mesh models. Herein, the subsisting artifacts were removed and the model was rearranged by open source software VisualSfM using SfM algorithm. In 3D data processing, volumetric calculations from closed mesh models or triangulated irregular network (TIN) for eroded geomorphology, which generally comprised open and hollow landforms, the generated mesh structure was transformed into closed mesh model by placing a plane on the mesh model [21]. The mesh models acquired at different dates were referenced to each other by applying 3D rotation matrix using open source software (MeshLab and VisualSfM). In order to minimize the resolution differences, the scale of SfM generated point clouds were reduced and resampled according to the data with the lowest resolution. After the visualization section in which color difference and transparency adjustments were considered, variation analysis was conducted by point cloud comparison using the CloudCompare software. Hereby, the diachronic generation of high-resolution DSMs for the same regions provided monitoring and mapping of erosion and accumulation, calculating the volumetric variation in time and designating sediment supply. The erosion and accumulation were acquired by calculating the difference between the DSMs that were obtained from the last and first measurements. The seasonal trend of morphological variation was monitored by the variation analysis in which the difference between DSMs obtained at different time intervals was taken into account. This difference in time intervals was shown as a backward arrow in the workflow. Afterwards, bridge performance assessment was conducted for measured scour depths at each bridge pier and pile. Herein, the 3D structural finite element model (FEM) of the bridge was generated by using design drawings and local soil conditions. The bridge performance under UAS-measured scour was determined by means of lateral pushover analysis.

2.1. Case Study – Antalya Boğaçayı Bridge

The UAS based assessment method was applied to Boğaçayı Bridge located on Boğaçayı River in Antalya Province, Turkey (Figure 2). The bridge spans were 20.3 m long between 14 piers including two abutments at the ends. Each pier had three 2.8 m tall columns with 1×2 m cross-section that were aligned such that the weak axis of the columns was parallel to the longitudinal axis of the bridge. The abutments had cross-section dimensions of 1.2×14 m having the same height as the piers. The piers and abutments were connected to a strong pile cap (3×15×1.5 m) that consisted 12 m long and 1 m diameter piles.

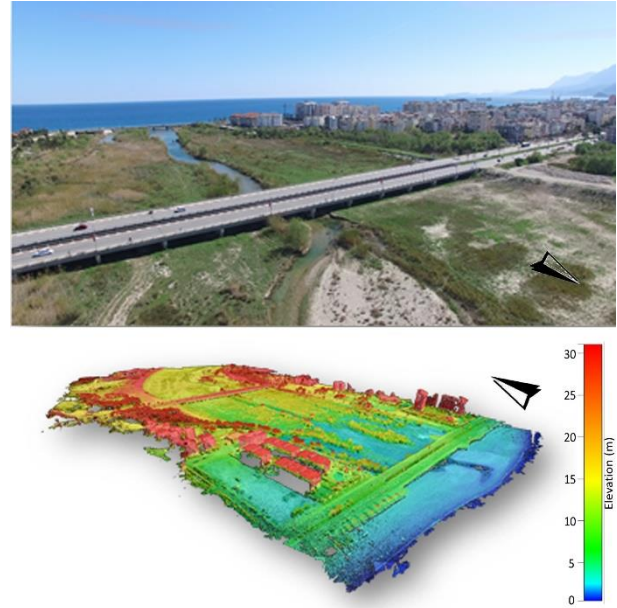


Figure 2. The Study Region – Boğaçayı Bridge.

Besides, there were pier caps and elastomeric bearings at the top of each pier cap that supported eight girders spanning through the bridge. As the current bridge condition, which was directly taken from the project drawings, the sand layer was present at the top of each pile cap and a limestone layer was found down to 5.5 m measured from the top of pile cap. Remaining layers beneath that level consisted sand layers. UAS based measurement method was directly applied to the bridge in a seasonal manner and the bridge cross-section data in longitudinal and transverse directions were used to monitor scour depths. Thus, scour depth and related parameters such as the bridge substructure condition related to the scour amount and consequent bridge performance was directly assessed.

3. RESULTS

In the first part of the study, a dense point cloud of the study region was acquired by using UAS derived high-resolution aerial photos as shown in Figure 2. Herein, it can be implied that during the summer season when the surface runoff was the minimum, clearest scour measurements were obtained. Since there was almost no stream in the river, the misleading results due to the refraction of light were minimized. The reliability of the acquired results was controlled via comparing with manual field measurements during which the field observations matched well with the UAV measurements (Figure 3). During the first measurements that were taken after the current condition in fall and spring seasons (Oct. and May), approximately 1.0 m of scouring relative to the current condition was monitored at the bottom of seventh and the eighth piers. The following seasonal measurements taken in summer season (July) denoted a scour depth of 2.2 m and the following measurements in

fall season indicated close scour depths (Figure 4). As can be observed from the transverse cross-sections were taken along all piers, the scour was concentrated on the seventh and the eighth piers through which the river was generally streaming.

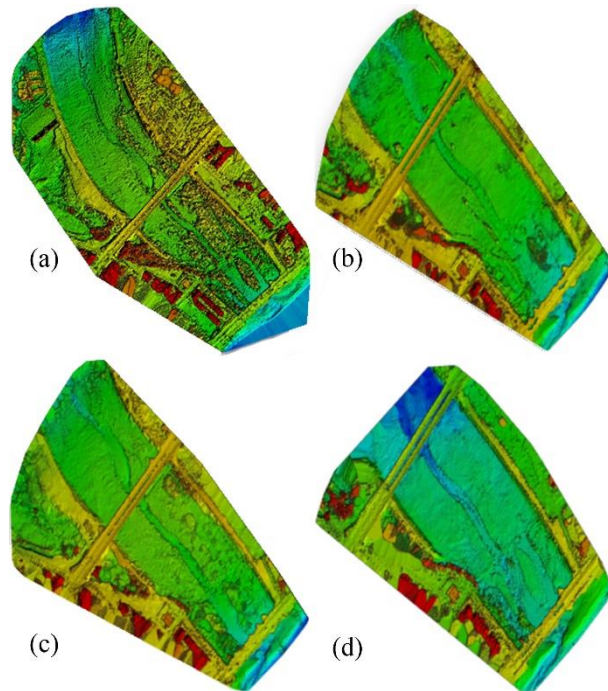


Figure 3. Seasonal changes of the study region in (a) fall, (b) winter, (c) spring and (d) summer.

At the other pier locations where the riverbed had almost no water flow during the year, the amount of scour was monitored to be approximately constant. Herein, for modeling of the bridge, SAP2000 program inputs were automatically generated with regard to the measured scour depths that were considered as an input for the following performance analysis.

obtained from the performance analyses implied that the increase in scour depths had almost no significant influence on the bridge lateral and longitudinal performance until the scouring reached the top of pile caps. Thus, the performance analysis was repeated for additional scour depths of 4.95 and 7.45 m below current soil altitude. As the scour reached the limestone layers, the bridge performance in lateral direction was observed to diminish drastically; however, no significant influence was recorded in the longitudinal direction (Figures 5a and 5b). This phenomenon was attributed to change of failure type in direction. Herein, there were no hinges formed in the piles in longitudinal direction whereas in the transverse direction the failure formed by hinging at the piles that were exposed to scour.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The UAS based bridge tracking system was generated and implemented at a bridge located at Boğaçayı River in Antalya Province, Turkey as a case study. The proposed method was observed to measure the scour depths realistically and very close to the manual measurements obtained in the field study. The transverse cross-sections along bridge piers were tracked seasonally by UAV flights. The measured scour depths were used automatically in the structural model generation and consequently in seasonal performance assessment of the bridge.

The SAP2000 input files were created in .s2k format by an algorithm that was generated in MatLab programming language. Herein, by using the scour measurements by means of the UAS, the output file was generated that included the scoured soil levels at pier locations (Figure 1). The locations of the pier and piles are fixed. Therefore, only the properties of the nonlinear link elements, which were assigned to the piles at several heights, were changed. Subsequently, the structural

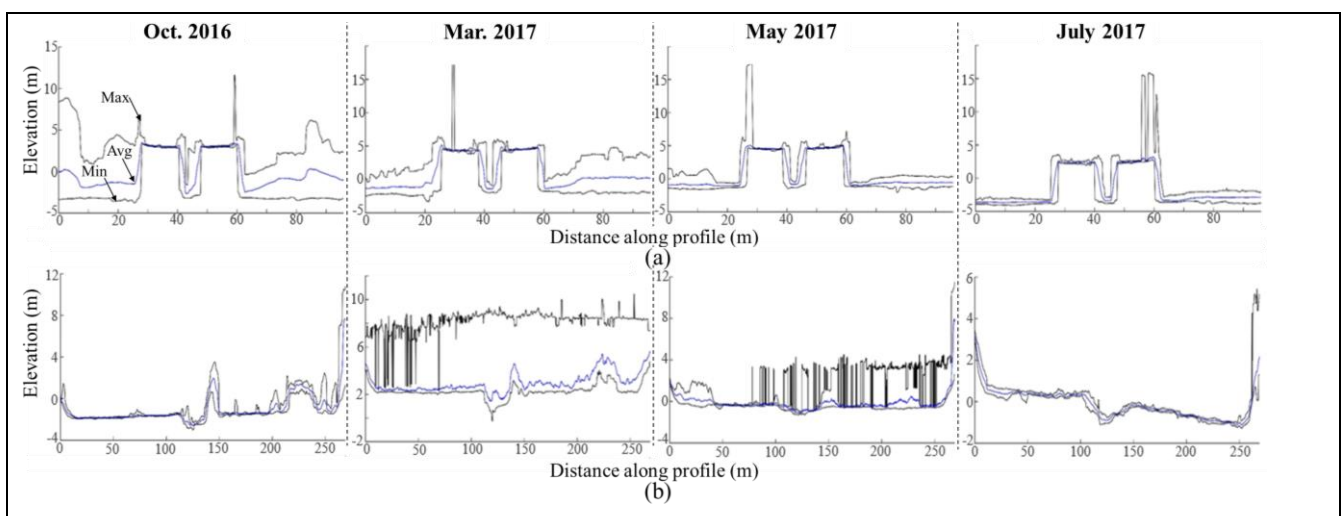


Figure 4. Seasonal changes in (a) transverse and (b) longitudinal cross-sections.

Thus, considering the results of each measurement, a new performance analysis was conducted. The results

system was reconstituted by SAP2000 regarding the different scoured soil depths. For the performance

analysis, the pushover curves were acquired by using SAP2000 nonlinear static analysis option. Since the primary goal of this research was to assess the functionality of the UAS based scour monitoring system, earthquake or flood based evaluation methods were not implemented.

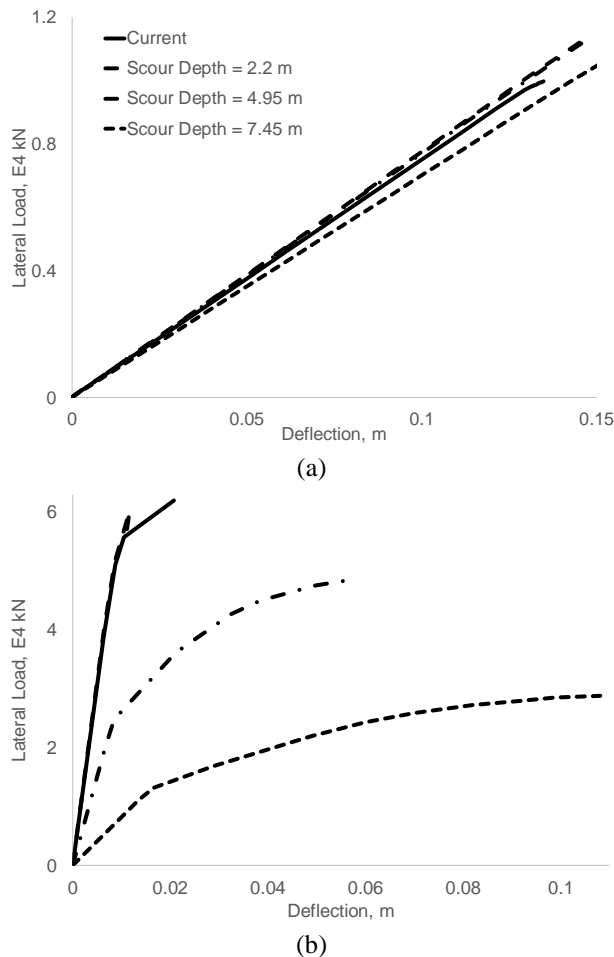


Figure 5. Bridge lateral capacity curves in (a) longitudinal and (b) transverse direction.

The amount of scour was monitored more successfully in the summer season when the surface runoff was the minimum and the misleading results due to light refraction were reduced. The maximum amount of scour was observed at the middle piers through which the river was streaming. Herein, for the bridge under investigation, the lateral performance was observed to diminish with the increase in scour depths beyond the pile cap. However, there was almost no influence on the performance in the longitudinal direction. Since the failure initiated with plastic hinging in the piers instead of the piles in the longitudinal direction, there were no performance change in longitudinal direction. However, since the bridge failed with plastic hinging at the pile critical locations, the scour depth was observed to have a significant effect on bridge transverse capacity. Thus, it can be inferred that the UAS based bridge tracking

system can be successfully used for bridges constructed at deep valleys and at the rivers having several soil layers.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank Assoc. Prof. Dr. Okan ÖZCAN for his valuable advise on modeling issues and constructive recommendations on various technical issues examined in this study.

REFERENCES

- [1] Prendergast, L.J., Gavin, K., "A Review or Bridge Scour Monitoring Techniques" *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Eng.*, 6: 138-149, (2014).
- [2] Fisher, M., Chowdury, M.N., Khan, A.A., Atamtürktür, S., "An Evaluation of Scour Measurement Devices", *Flow Measurement and Instrumentation*, 33: 55-67, (2013).
- [3] DeFalco, F., Mele, R., "The Monitoring of Bridges for Scour by Sonar and Sedimetri", *NDT&E International*, 35: 55-67, (2002).
- [4] Burrell, J., Gurrola, H., Mickus, K., "Frequency Domain Electromagnetic and Ground Penetrating Radar Investigation of Ephemeral Streams: Case Study near the Southern High Plains, Texas", *Environmental Geology*, 55: 1169-1179, (2008).
- [5] Prendergast, L.J., Hester, D., Gavin, K., O'Sullivan, J.J., "An Investigation of the Changes in Natural Frequency of a Pile Affected by Scour", *Journal of Sound and Vibration*, 332: 6685-6702, (2013).
- [6] İbrahimy, M.I., Motakabber, S.M.A., "Bridge Scour Monitoring by Coupling Factor between Reader and Tag Antennas of RFID System", *International J. of Geomate*, 8(16): 1328-1332, (2015).
- [7] Tamminga, A.D., Eaton, B.C., Hugenholtz, C.H., "UAS Based Remote Sensing of Fluvial Change Following an Extreme Flood Event", *Earth Surface of Processes & Landforms*, 40: 1464-1476, (2015).
- [8] Jaud, M., "Potential for UAVs for Monitoring Mudflat Morphodynamics: Application to Seine Estuary, France", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5: 50-55, (2016).
- [9] Javernick, L., Brasington, J., Caruso, B., "Modeling the Topography of Shallow Braided Rivers using Structure - from - Motion Photogrammetry", *Geomorphology*, 213: 166-182, (2014).
- [10] Verhoeven, G., Doneus, M., Briese, C., Vermeulen, F., "Mapping by Matching: A Computer Vision-Based Approach to Fast and Accurate Georeferencing of Archeological Aerial Photographs", *J. of Archeological Sci.*, 39: 2060-2070, (2012).
- [11] Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., "Structure-from-Motion Photogrammetry: A Low Cost Effective Tool for Geoscience Applications", *Geomorphology*, 179: 300-314, (2012).
- [12] James, R.M., Robson, S., "Straightforward Reconstruction of 3D Surfaces and Topography with a Camera: Accuracy and Geoscience Application", *J. of Geophysical Research*, 117: (2012).

- [13] Obanawa, H., Hayakawa, Y., Saito, H., Gomez, C., "Comparisons of DSMs Derived from UAV-SfM Method and Terrestrial Laser Scanning", *Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53: 67-74, (2014).
- [14] Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C. Jensen, J.L., Carbonneau, P.E., "Topographic Structure from Motion: A New Development in Photogrammetric Measurement", *Earth Surface Processes and Landforms*, 38: 421-430, (2013).
- [15] Tonkin, T.N., Midgley, N.G., Graham, D.J., Labadz, J.C., "The Potential of Small Unmanned Aircraft Systems and Structure-from-Motion for Topographic Surveys: A Test of Emerging Integrated Approaches for Cwm Idwal, North Wales", *Geomorphology*, 225: 35-43, (2014).
- [16] Turner, D., Lucieer, A., Watson, C., "An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultrahigh Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds", *Remote Sensing*, 4: 1392-1410, (2012).
- [17] Harwin, S., Lucieer, A., "Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Reduced via Multi-view Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle Imagery", *Remote Sensing*, 4: 1573-1599, (2012).
- [18] Lucieer, A., DeJong, S.M., Turner, D., "Mapping Landslide Displacements using Structure from Motion (SfM) and Image Correlation of Multi-Temporal UAV Photography", *Progress in Physical Geography*, 38: 97-116, (2014).
- [19] Quedraogo, M.M., Degre, A., Debouche, C., Lisein, J., "An Evaluation of Unmanned Aerial System based Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning to Generate DEMs of Agricultural Watersheds" *Geomorphology*, 214: 339-355, (2014).
- [20] Clapuyt, F., "Reproducibility of UAV-based Earth Topography Reconstructions based on Structure from Motion Algorithms", *Geomorphology*, 260: 4-15, (2016).
- [21] Kaiser, A., Neugirg, F., Rock, G., Müller, C., Haas, F., Ries, J., Schmidt, J., "Small Scale Surface Reconstruction and Volume Calculation of Soil Erosion in Complex Moroccan Gully Morphology using SfM", *Remote Sensing*, 6: 7050-7080, (2014).
- [22] Flener, C., "Calibrating Deep Water Radiance in Shallow Water: Adapting Optical Bathymetry Modeling to Shallow River Environments", *Boreal Environmental Research*, 18: 488-502, (2013).
- [23] Lin, C., Bennett, C., Han, J., Parsons, R.L., "Scour Effects on the Response of Laterally Loaded Piles considering Stress History of Sand", *Computational Geotechnics*, 37: 1008-1014, (2010).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Elektron demet ile ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si diyotların elektriksel özellikleri

The electrical properties of Au/PTCDA/n-Si diodes with electron beam irradiated PTCDA interfacial layer

Yazar (Author): Umut AYDEMİR

ORCID: 0000-0001-5396-4610

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aydemir U., “Elektron demet ile ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si diyotların elektriksel özellikleri”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 393-398, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417761

Elektron Demet ile Işınlanmış PTCDA Arayüzey Tabakalı Au/PTCDA/n-Si Diyotların Elektriksel Özellikleri

Araştırma Makalesi / Research Article

Umut AYDEMİR

Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Uludağ Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.01.2018 ; Kabul/Accepted : 09.04.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, geleneksel Au/n-Si Schottky Diyotların (SDs) aygıt performansının ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakası kullanılarak yenilikçi bir yaklaşımla iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle ilk olarak PTCDA tozları 30kGy, 60kGy ve 100kGy farklı elektron demet (E-Demet) dozlarında ışınlanmıştır ve sonuçlar FTIR yöntemi ile analiz edilmiştir. Işınlanmamış ve ışınlanmış PTCDA tozları n-Si altta üzerine organik buharlaştırma sisteminde kaplanmıştır. Farklı dozlarda E-Demet ile ışınlanmış ve ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'ların Akım-Gerilim (I-V) karakteristikleri $\pm 3V$ arasında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aygıtların idealite faktörü(n), Schottky engel yüksekliği (Φ_{Bo}), doğrultma oranı (DO), seri direnç (R_s) ve Şönt direnci (R_{sh}) parametreleri I-V sonuçlarından hesaplanarak elde edilmiştir. 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD aygıt performansının ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'a göre daha iyi olduğu deneysel olarak gözlenmiştir. Au/PTCDA/n-Si SD'un I-V karakteristiklerinin ışınlama ile oldukça etkilendiği ve uygun ışınlama dozu ile aygıt performansının artırılacağı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Au/PTCDA/n-Si, PTCDA arayüzey tabakası, Schottky diyotlar, E-Demet ışınlama.

The Electrical Properties of Au/PTCDA/n-Si Diodes with Electron Beam Irradiated PTCDA Interfacial Layer

ABSTRACT

In this work, it is aimed to improve the device performance of traditional Au / n-Si Schottky Diodes (SDs) with an innovative approach using the irradiated PTCDA interfacial layer. For this reason, first PTCDA powders were irradiated with different electron beam (E-Beam) doses of 30kGy, 60kGy and 100kGy and the results were analyzed by FTIR method. Unirradiated and irradiated PTCDA powders with E-Beam were evaporated on n-Si substrate via organic evaporator. Current-Voltage (I-V) characteristics of unirradiated and irradiated Au/PTCDA/n-Si SDs with PTCDA interfacial layers irradiated with different E-Beam doses of 30kGy, 60kGy and 100kGy were carried out between $\pm 3V$ at room temperature. The ideality factor (n), Schottky barrier height (Φ_{Bo}), rectification ratio (DO), series resistance (R_s) and shunt resistance (R_{sh}) of devices were calculated from current-voltage (I-V) results. It is experimentally seen that performance of Au/PTCDA/n-Si SD irradiated with 30 kGy has better results when we compared unirradiated Au/PTCDA/n-Si SD. It has been observed that the I-V characteristics of the Au/PTCDA/n-Si SD are highly influenced by irradiation and the device performance can be improved with appropriate irradiation dose.

Keywords: Au/PTCDA/n-Si, PTCDA interfacial layer, Schottky diodes, E-Beam irradiation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Literatürde Schottky Diyotlar (SD) arayüzey tabakasız metal/yarıiletken (MY) aygıtlar, metal/yalıtkan/yarıiletken (MY) aygıtlar ve metal/polimer/yarıiletken (MPY) aygıtlar olmak üzere çok geniş biçimde yer almaktadır [1-13]. Son yıllarda polimer arayüzey tabakalı SD üzerine yapılan araştırmalar yoğunlaşmıştır [2-13]. İlk çalışmalar MY arayüzeyinde organik arayüzey tabakası kullanılıp kullanılmayacağı üzerine iken bugün araştırmalar

özellikle farklı polimer arayüzey tabakası kullanarak SDların elektriksel özelliklerinin modifiye edilmesine dayanmaktadır [3-5]. Organik malzemelerin MY arayüzeyine yerleştirilmesi ile elde edilen MPY aygıtların performansları üzerine etkilerini inceleyen literatürde çok sayıda yayın vardır. Bunlardan bazılarını örnek verecek olursak; Aydemir ve arkadaşları PVA:Zn kullanarak [2], Çakar ve arkadaşları rhodamine-101 kullanarak [6], Gupta ve Singh poly(aniline) kullanarak [7], Kılıçoğlu ve arkadaşları tetraamide-I kullanarak [8], Güllü ve Türüt phenolsulfonphthalein kullanarak [9], Akkılıç ve arkadaşları chitin kullanarak [10], Aydın ve arkadaşları β -carotene kullanarak [11], Güllü ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : umutaydemir@uludag.edu.tr

arkadaşları safranin T kullanarak [12], Kuo ve arkadaşları Poly(3-hexylthiophene) [13] kullanarak araştırmalarını yayınlamışlardır. Tüm bu yayınlarda organik arayüzey tabakası kullanımı aygıt performansını olumlu yönde etkilediği deneysel sonuçlarla desteklenerek rapor edilmiştir. Polimer/yarıiletken tabanlı bu tarz MPY çalışmaları, literatürde organik alan etkili transistör (OFET) [14,15] ve organik ışık yayan diyot (OLED) [16,17] gibi aygıtların araştırmalarına ışık tuttuğu için oldukça önemlidir ve yaygın olarak araştırılmaktadır.

Organik arayüzey tabakası metal ve yarıiletken arasında fiziksel bariyer oluşturarak metal ile yarıiletken yüzeylerinin doğrudan birbirine temasını engelleyerek yarıiletken yüzeyindeki arayüzey tabakalarının yeniden düzenlenmesine ve yük geçişlerinin kontrolüne yardımcı olur [2-13,18]. Böylelikle nanometre kalınlığında organik arayüzey tabakası kullanımı yüksek kaliteli, düşük idealite faktörü, sızıntı akımı, seri direnç ve arayüzey durum yoğunluğuna sahip ve yüksek şönt dirence sahip SD üretimine olanak tanımaktadır. Organik malzemelerin radyasyona karşı oldukça hassas olması ve ışınlanmanın aygıt performansı üzerine etkisi bir diğer önemli araştırma konusudur [19-22]. Literatürde genellikle polimer arayüzey tabakalı aygıtlar üretildikten sonra radyasyona maruz bırakılmış ve ışınlanan aygıtın elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın ana amacı ise polimer radyasyon etkileşiminin Au/PTCDA/n-Si SD elektriksel özellikleri üzerine etkilerinin araştırılmasıdır. Bu nedenle, bu çalışmada literatürden farklı olarak PTCDA tozları aygıt üretilmeden önce elektron demet (E-Demet) ışınlarına maruz bırakılmış ve geleneksel Au/n-Si SD modifiye edilmiştir. Farklı dozlarda E-Demet ışınlarına maruz bırakılmış PTCDA tozlar organik buharlaştırma sistemi ile Au/n-Si arayüzeyine sandviçlenerek idealite faktörü, Schottky bariyer yüksekliği, sızıntı akımı, seri ve şönt direnç gibi ana elektriksel parametreleri Akım-Gerilim (I-V) ölçümlerinden hesaplanarak ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD sonuçları ile kıyaslanmıştır. Böylece yarıiletken ve metal kontaklar E-Demet ışınlarından izole edilmiş ve sadece ışınlamaya maruz kalan PTCDA arayüzeyi ile elde edilen Au/PTCDA/n-Si SD'un temel elektriksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, E-Demet ile ışınlanmış ve ışınlanmamış PTCDA numunelerinin FTIR sonuçları yapısal analiz olarak tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

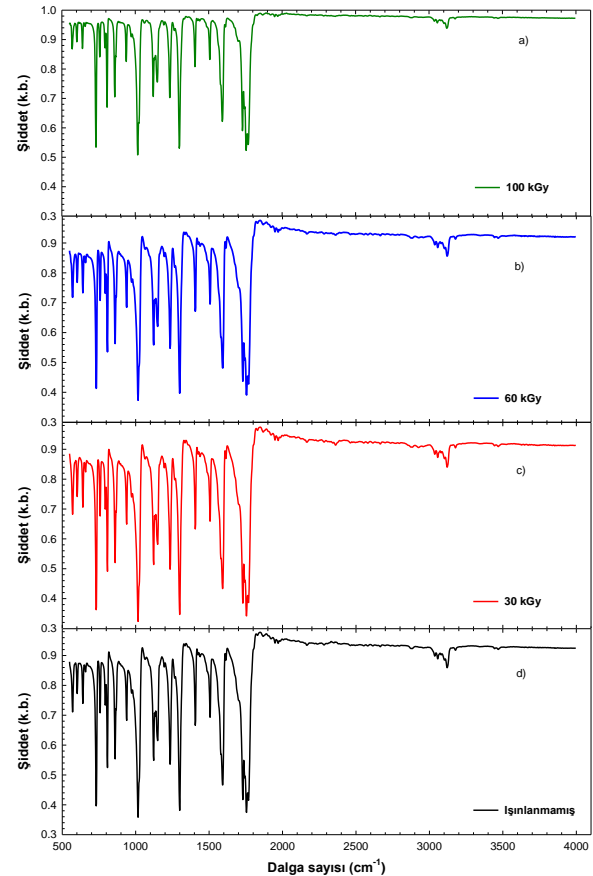
Arayüzey tabakası olarak kullanılan toz PTCDA ($C_{24}H_{18}O_6$) Sigma Aldrich firmasından tedarik edilmiştir. PTCDA tozlar ince film kaplamadan önce ILU-10 (1MeV) Elektron Demet Hızlandırıcı ile 30, 60 ve 100 kGy dozlarında ışınlanmıştır. Ardından ışınlanmamış ve ışınlanmış PTCDA toz numunelerinin FTIR ölçümleri Termo Scientific Nicolet 6700 FT-IR cihazı ile gerçekleştirildi.

İnce film üretimi için kullanılan (100) yönelimli, P katkılı n-Si yarıiletken alttaş 3 aşamalı RCA temizleme yöntemiyle temizlendi. Alttaşın arka yüzeyine komple omik kontak yapmak üzere 5N saflıkta 150 nm kalınlıkta Au termal buharlaştırma sisteminde kaplandı ve 450 °C de birkaç dakika tavlandı. Ardından PTCDA tozlar VAKSİS PVD Handy 40 model organik buharlaştırıcı ile n-Si alttaş yüzeyine temiz odada 100-150 nm kalınlıklarında kaplandığı profilometre ile gözlemlendi. Son olarak ışınlanmamış ve ışınlanmış PTCDA film kaplı Si alttaşların doğrultucu kontaktları 1mm çaplı maske kullanılarak 100nm Au termal buharlaştırma sisteminde kaplandı. Numuneler gümüş pasta yardımı ile gümüş kaplı iletken tellere yapıştırılarak Au/PTCDA/n-Si SD'lar elektriksel ölçümlere hazır hale getirildi.

Işınlanmış ve ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si aygıtların Akım-Gerilim (I-V) ölçümleri Keithley 2400 kaynak ölçer yardımıyla oda sıcaklığında bilgisayar destekli ölçüm sisteminde gerçekleştirildi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Yapısal Karakterizasyon (Structural Characterization)



Şekil 1. PTCDA tozlarının a) 100 kGy ışınlanmış, b) 60 kGy ışınlanmış, c) 30 kGy ışınlanmış d) ışınlanmamış FTIR geçirgenlik-dalga sayısı eğrileri (FTIR transmittance vs wavenumber plots of PTCDA powders a) irradiated at 100 kGy, b) irradiated at 60 kGy, c) irradiated at 30 kGy d) unirradiated)

İşinlanmış ve işinlanmamış PTCDA tozlarının FTIR geçirgenlik sonuçları aşağıda Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’den görüleceği gibi 1120-1145 cm^{-1} pikleri C-O uzama titreşimlerini işaret edebilir. Buna rağmen 1174-1732 cm^{-1} pikleri ise C=O piklerinin gerilme titreşimlerine atfedilebilir. Elde edilen FTIR sonuçlarına göre 100 kGy’e kadar E-Demet ışınlanması PTCDA’nın yapısını bozmadığı ve pikler literatür ile uyum içerisindedir [23]. Şekil 1’e göre 1299,95 cm^{-1} ’e karşılık gelen pikin minimum değerleri 0, 30 kGy, 60 kGy ve 100 kGy için sırasıyla 0,3814, 0,3468, 0,3971, 0,5308 olarak elde edilmiştir ve maksimum pik şiddeti 30 kGy için gözlenmiştir. Benzer olarak 1755,12 cm^{-1} dalga sayısına gelen titreşim için pik şiddetleri 0, 30 kGy, 60 kGy ve 100 kGy sırasıyla 0,3746, 0,3419, 0,3907, 0,5233 olarak elde edilmiştir. Buradaki karakteristik pik şiddetlerinden görünüyorsa ki, 30 kGy ışınlamaya maruz bırakılan PTCDA’ya ait FTIR piklerinin şiddeti işinlanmamış PTCDA’ya göre daha yüksektir. Ancak ışınlama dozu 60 kGy ve 100 kGy olarak yükseldikçe PTCDA ya ait FTIR piklerinin şiddeti uygulanan radyasyon dozu ile ters orantılı olarak azalmaya başlamaktadır.

Elektriksel Karakterizasyon (Electrical Characterization)

Metal/Yarıiletken (MY), Metal/Polimer/Yarıiletken (MPY) tipi Schottky diyotlarında (SD) Akım-Gerilim (I-V) ilişkisi $V \geq 3kT/q$ için termiyonik emisyon teorisine (TE) göre aşağıdaki şekilde verilir [1].

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada V_D diyot üzerine düşen gerilim, n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık ve I_0 ise ters doyum akımı olup

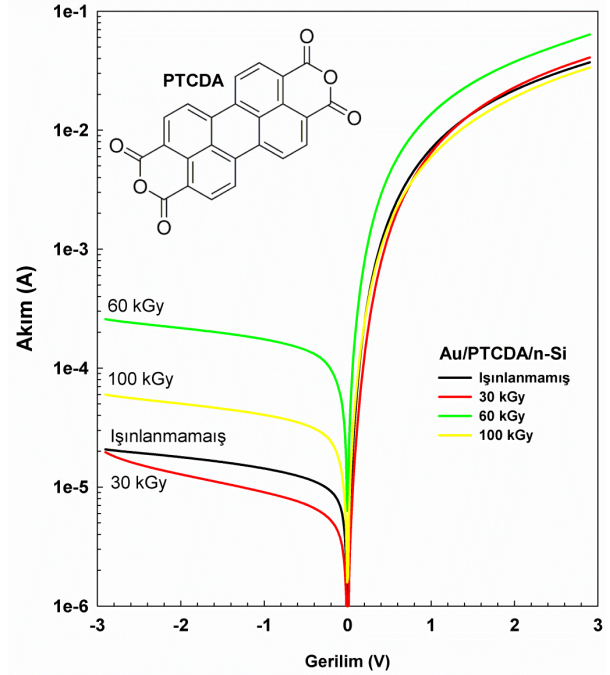
$$I_0 = AA^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \quad (2)$$

eşitliği ile verilir. Burada Φ_{Bo} metal ile yarıiletken arasında oluşan sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği, A diyodun doğrultucu kontak alanı ve A^{**} etkin Richardson sabiti olup değeri n-tipi Si için $120 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$ ’dir [1,2]. Buna göre Eş.2, Eş.1’de yerine yazılırsa;

$$I = AA^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

şekline dönüşür. Ancak köşeli parantez içindeki 1 rakamı üstel ifade yanında oda sıcaklığı ve üstündeki değerler için rahatlıkla ihmal edilebilir. Buna ilave olarak, TE teorisine göre idealite faktörünün 1 olması beklenir. Ancak pratikte idealite faktörü, özellikle yalıtkan arayüzey tabakanın kalınlığı ve yasak enerji aralığında lokalize olan arayüzey durumlarının yoğunluğundan (N_{ss}) dolayı 1’den büyük çıkmaktadır. Idealite faktörünün birden büyük olması M/Y arasına kaplanan PTCDA tabakasına, arayüzey durumlarının

büyüklüğüne, Schottky engel alçalmasına, M/Y arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliğine ve fabrikasyon sırasında laboratuvar ortamında bulaşan muhtelif organiklerin varlığına atfedilir [18-20,24]. Schottky diyotlarda logaritmik akımın (LnI) gerilim (V) göre grafiğinin genelde linear bir doğru olması beklenir. Ancak deneysel sonuçlardan görüldüğü gibi yüksek gerilimlerde ($V \geq 1 \text{ V}$) seri direnç (R_s) etkisinden dolayı LnI-V eğrisinde ideal durumdan sapmalar olur, yani R_s LnI-V eğrisinin bükülmesine yol açar. Grafiğin doğrusallıktan saptığı bölgede hem idealite faktörü 1’den büyük olacak hem de linear bölgenin daralmasından dolayı hesaplamaların güvenilirliği azalacaktır.



Şekil 2. Farklı dozlarda işinlanmış ve işinlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si Schottky diyotların I-V eğrileri (I-V curves of Au/PTCDA/n-Si Schottky diodes unirradiated and irradiated at different doses of PTCDA interfacial layers)

Linear bölge için Eş.1 ifadesinin Ln’i alınırsa,

$$\text{Ln}I = \text{Ln}I_0 + \frac{q}{nkT} V_D \quad (4)$$

şeklinde bir doğru denklemi elde edilir. Farklı dozlarda elektron demet (E-Demet) ışınlarına maruz kalmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD’ların oda sıcaklığındaki doğru ve ters ön gerilim altındaki yarı-logaritmik LnI-V eğrisi Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2’de açıkça görüldüğü gibi elektron demet ışınlarına maruz bırakılmış PTCDA organik arayüzey tabakalı SD’un I-V sonuçlarını etkilemiştir. 30 kGy ışınlama aygıtın sızıntı akımında ($V < 0$) azalmaya sebep olurken, ışınlama dozu 60 kGy artırıldığında ise sızıntı akımının artmasına sebep olduğu görülmektedir. Maksimum ışınlama dozu olan 100 kGy ışınlamada ise aygıtın sızıntı akımının 60 kGy’e göre azaldığı fakat 30

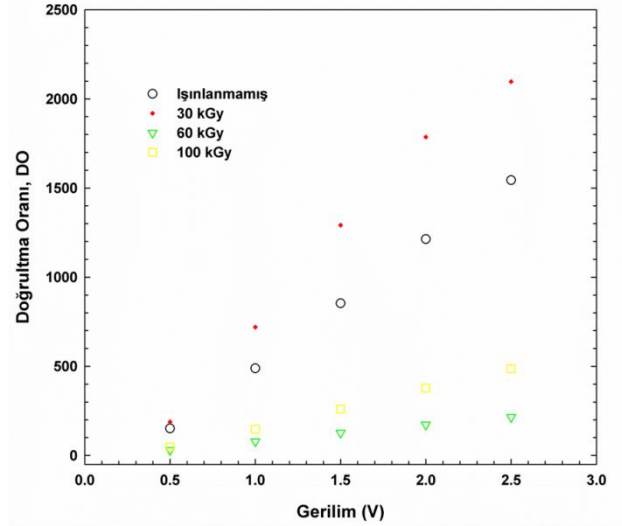
kGy ışınlanmış ve ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD' a göre hala yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra doğru beslem ($V > 0$) sonuçlarında ise 60 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si aygıtın akım değerinde bir artış gözlemlenirken ışınlanmamış ve diğer dozlarda ışınlanmış PTCDA kullanılarak elde edilen aygıtların akım eğrileri birbirinden ayırt edilemeyecek kadar yakındır. 60 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD doğru beslemde en yüksek akımı geçirirken ters beslemde ise en fazla sızıntı akımı geçirerek performansını kısıtlamıştır. Benzer sonuçlar x-ışını radyasyonuna maruz bırakılan anthraquinone/p-Si ve pyridine/p-Si için elde edilmiş ve yayınlanmıştır [22]. Aygıtın idealite faktörü n , Şekil 1'deki $\ln I-V$ eğrisinin eğiminden ($\tan \theta = q/nkT$) yararlanılarak,

$$n = q / (kT \tan \theta) \quad (5)$$

I_0 doyma akımı değeri ise $\ln I-V$ grafiğinin lineer bölgesinin uzantısının $\ln I$ eksenini sıfır gerilimde kestiği noktadan elde edildi. I_0 , diyodun doğrultucu kontak alanı (A) ve etkin Richardson sabiti (n -tipi Si için $120 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2} \text{K}^{-2}$) değerleri kullanılarak potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) Eş.2'den yararlanılarak hesaplandı [1,2].

$$\Phi_B(I-V) = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA * T^2}{I_0} \right) \quad (6)$$

Sonuçların daha net anlaşılabilmesi için hesaplanan en temel diyot parametrelerinden idealite faktörü ve engel yüksekliği Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'den açıkça görüldüğü gibi en düşük idealite faktörü ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD olurken en yüksek idealite faktörüne sahip aygıt ise 60 kGy ışınlamaya maruz bırakılmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD olmuştur. Ancak Schottky engel yükseklikleri (Φ_{B0}) ele alındığında 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakası içeren Au/n-Si SD 0,62 eV ile en yüksek engel yüksekliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. 60 kGy ve 100 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'ler ise ışınlanmamış aygıtı göre daha düşük Φ_{B0} 'a sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen Au/PTCDA/n-Si SD'un I-V sonuçlarına göre, literatürde daha önce Farag ve arkadaşları tarafından yayınlanmış PTCDA/n-Si aygıtı göre daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür [24].



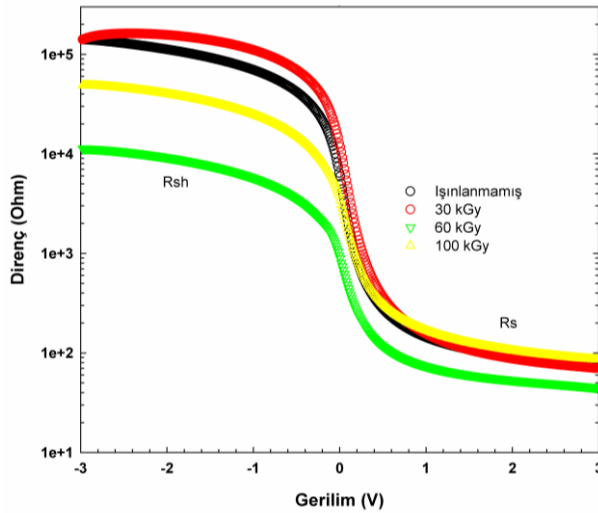
Şekil 3. Farklı dozlarda ışınlanmış ve ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si Schottky diyotların doğrultma oranları (The rectification ratio of Au/PTCDA/n-Si Schottky diodes unirradiated and irradiated at different doses of PTCDA interfacial layers)

Işınlanmamış ve ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'ların DO, pozitif gerilimdeki akımın negatif bölgedeki akıma oranı, Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'e göre 30 kGy ışınlanmış PTCDA kullanılarak elde edilen Au/PTCDA/n-Si SD $\pm 2,5 \text{ V}$ 'ta 2097 kat doğrultma gösterdiği ve en yüksek DO sahip olduğu gözlemlenmiştir. 60 kGy ve 100 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SDların DO ise ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'ye göre daha düşük performans gösterdiği açıktır.

SDların aygıt performansının ölçümünde seri direnç ve şönt direnci (R_{sh}) en önemli parametrelerden ikisidir. Au/PTCDA/n-Si aygıtların ışınlama dozlarına göre R_s ve R_{sh} değerleri Ohm kanununa göre I-V sonuçlarından hesaplanmış ve Şekil 4'te verilmiştir. Burada ışınlanmamış, 30 kGy, 60 kGy ve 100 kGy dozlarında ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si aygıtların R_{sh} değerleri sırasıyla 140 k Ω , 146 k Ω , 11,3 k Ω ve 48,6 k Ω olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre 30 kGy ışınlama dozunda en ışınlanmamış diyota göre daha yüksek R_{sh} değeri gözlenirken, 60 kGy ışınlamada en düşük R_{sh} değeri elde edilmiştir.

Çizelge 1. PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'ların bazı temel elektriksel parametreleri (Basic electrical parameters of Au/PTCDA/n-Si SD with PTCDA interfacial layer)

Diyotlar	İdealite Faktörü, n	Φ_{B0} (eV)
Işınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si	1,23	0,60
30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si	1,26	0,62
60 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si	1,43	0,56
100 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si	1,40	0,59



Şekil 4. Farklı dozlarda ışınlanmış ve ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si Schottky diyotların R-V eğrileri (R-V curves of Au/PTCDA/n-Si Schottky diodes unirradiated and irradiated at different doses of PTCDA interfacial layers)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada ışınlanmamış ve farklı dozlarda E-Demet ışınlarına maruz bırakılmış PTCDA tozları n-Si alttaş üzerine kaplanarak Au/PTCDA/n-Si SD'lar üretilmiştir. PTCDA tozları 30kGy, 60kGy ve 100kGy farklı elektron demet dozlarında ışınlanmıştır ve 30 kGy ışınlanmış PTCDA tozunun FTIR piklerinin en yüksek şiddete sahip olduğu gözlemlenmiştir. 100 kGy ışınlamaya kadar elektron demet ışınlarının PTCDA'nın C-O ve C=O bağlarını zayıflattığı ancak yapısal deformasyon oluşturmadığı FTIR spektrumlarından anlaşılmıştır.

Farklı dozlarda ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD ve ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'ların I-V karakteristiklerinden aygıtların idealite faktörü (n), Schottky engel yüksekliği (Φ_{Bo}), doğrultma oranı (DO), seri direnç (R_s) ve Şönt direnci (R_{sh}) parametreleri hesaplanmıştır. 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD aygıt performansının ışınlanmamış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'a göre daha iyi olduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir. Schottky engel yükseklikleri ele alındığında 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakası içeren Au/PTCDA/n-Si SD 0,62 eV ile en yüksek engel yüksekliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD $\pm 2,5$ V'ta 2097 kat doğrultma gösterdiği ve en yüksek DO sahip olduğu gözlemlenmiştir. Buna ilave olarak en yüksek R_{sh} değerinin yine 30 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD a ait olduğu gözlenirken en düşük R_s değerinin ise 60 kGy ışınlanmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'a ait olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak ışınlamaya maruz bırakılmış PTCDA arayüzey tabakalı Au/PTCDA/n-Si SD'un I-V

karakteristiklerinin ışınlama ile oldukça etkilendiği gözlemlenmiştir. Au/PTCDA/n-Si SD için en uygun ışınlama dozunun 30 kGy olduğu ve Φ_{Bo} , DO, R_{sh} parametrelerinde iyileşmeye sebep olarak aygıt performansının artırıldığı gözlemlenmiştir.

Arayüzey tabakası olarak kullanılacak polimerin ışınlanma dozuna göre SD'un temel elektriksel parametrelerini uygulanan doza göre olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle bu tarz aygıtları üretmeden önce doz optimizasyonu yapılmalıdır. Polimerin yapısını bozmadıkça E-Demet ışınlama ile aygıtın performans parametrelerinin kontrollü olarak artırılmasında veya azaltılmasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Makalede izlenen yöntem izlenerek farklı polimerler ile farklı MPY aygıtların üretim süreçleri deneyerek sonuçların tartışılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazar, polimerlerin "Elektron Demet Hızlandırıcı" ile ışınlanması için Durmazlar Holding'e, diyotların temiz odada üretimi için Bilkent-UNAM temiz oda ekibine ve elektriksel ölçümler için Gazi-Fotonik I-V ekibine teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sze S.M., Physics of Semiconductor Devices, *John Wiley and Sons*, New York, (2007).
- [2] Aydemir U., Taşçıoğlu İ., Altındal Ş. ve Uslu İ., A detailed comparative study on the main electrical parameters of Au/n-Si and Au/PVA:Zn/n-Si Schottky barrier diodes. *Materials Science in Semiconductor Processing* 16(6): 1865-1872 (2013).
- [3] Ocaya, R.O., Al-Sehemi, A.G., Al-Ghamdi, A., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu, F., Organic semiconductor photosensors. *Journal Of Alloys And Compounds* 702: 520-530 (2017).
- [4] Gupta R, Misra S.C.K., Malhotra B.D., Beladakere N.N., Chandra S., Metal/semiconductive polymer Schottky device. *Appl. Phys. Lett.* 58: 51, (1991).
- [5] Xu Y., Sun H., Noh Y.Y., Schottky Barrier in Organic Transistors. *IEEE Transactions On Electron Devices* 64(5): 1932-1943 (2017).
- [6] Çakar M., N. Yıldırım, Ş. Karataş, C. Temirci, A. Turut, Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Sn/rhodamine-101/ n-Si and Sn/rhodamine-101/ p-Si Schottky barrier diodes. *J. Appl. Phys.*, 100: 74505 (2006).
- [7] Gupta R.K. ve Singh R.A., Electrical properties of junction between aluminium and poly(aniline)-poly(vinyl chloride) composite, *Mater. Chem. Phys.* 86: 279, (2004).
- [8] Kılıçoğlu T., Aydın M.E., Topal G., Ebeoğlu M.A., Saygılı H., The effect of a novel organic compound chiral macrocyclic tetraamide-I interfacial layer on the calculation of electrical characteristics of an Al/tetraamide-I/p-Si contact. *Synth. Met.* 157: 540 (2007).

- [9] Güllü Ö. ve Türüt A., Electrical analysis of organic interlayer based metal/interlayer/semiconductor diode structures. *J. Appl. Phys.* 106: 103717, (2009).
- [10] Akkılıç K., Aydın M.E., Uzun İ., Kılıçoğlu T., The calculation of electronic parameters of an Ag/chitin/n-Si Schottky barrier diode *Synth. Met.*, 156: 958, (2006).
- [11] Aydın M.E., Kılıçoğlu T., Akkılıç K., Hoşgören H., The calculation of electronic parameters of an Au/ β -carotene/n-Si Schottky barrier diode. *Physica B* 381: 113, (2006).
- [12] Güllü Ö., Aydoğan Ş., Türüt A., Fabrication and electrical properties of Al/Safranin T/n-Si/AuSb structure. *Semicond. Sci. Technol.* 23: 075005 (2008).
- [13] Kuo C.S., Wakim F.G., Sengupta S.K., Tripathy S.K., Schottky and Metal-Insulator-Semiconductor Diodes Using Poly(3-hexylthiophene) *Jpn. J. Appl. Phys.* 33: 2629 (1994).
- [14] Narayanan Unni K N., Dabos-Seignon S., Nunzi J.M. Improved performance of pentacene field-effect transistors using a polyimide gate dielectric layer. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 8(1): 1148 (2005).
- [15] Faraji S, Hashimoto T, Turner M L and Majewski L A Solution-processed nanocomposite dielectrics for low voltage operated OFETs *Organic Electronics*, 17 :178 (2015).
- [16] Chime A. C., Bensmida S., Chakaroun M., Lee M. W. Nkwawo H.,Fischer A. P. A., Electrical modelling and design of ultra-fast micro-OLED with coplanar wave-guided electrodes in ON-OFF regime. *Organic Electronics* 56: 284-290, (2018).
- [17] Chang-Chun, L., Yan-Shin S.,Chih-Sheng W., Chia-Hao T., Shu-Tang, Y., Yi-Hao P.,Kuang-Jung C., Development of robust flexible OLED encapsulations using simulated estimations and experimental validations. *Journal of Physics D: Applied Physics* 45(27): 275102 (2012).
- [18] Kampen T., Schuller A., Zahn D.R.T., Biel B., Ortega J., Perez R., Flores F., Schottky contacts on passivated GaAs(100) surfaces: barrier height and reactivity. *Appl. Surf. Sci.* 234: 341 (2004).
- [19] Uslu, H, Yildirim, M, Altindal, S, Durmus, P, The effect of gamma irradiation on electrical and dielectric properties of organic-based Schottky barrier diodes (SBDs) at room temperature. *Radiation Physics And Chemistry*, 81(4): 362-369, (2012).
- [20] Dökme, İ. , Altindal, Ş. and Uslu, İ., The effects of temperature, radiation, and illumination on current-voltage characteristics of Au/PVA(Co, Zn-doped)/n-Si Schottky diodes. *J. Appl. Polym. Sci.*, 125: 1185-1192, (2012).
- [21] Al-Ta'ii, H., Periasamy V., Iwamoto M. Irradiation effects on electrical properties of DNA solution/Al Schottky diodes. *Applied Physics A*, 124(4): 325, (2018).
- [22] Şahin Y., Aydoğan Ş., Ekinci D., Turut A., The performance of the anthraquinone/p-Si and the pyridine/p-Si rectifying device under X-ray irradiation. *Materials Chemistry and Physics* 183: 516-523, (2016).
- [23] Liao Y., Weber J.,Faul C.F.J, Fluorescent Microporous Polyimides Based on Perylene and Triazine for Highly CO2-Selective Carbon Materials, *Macromolecules*, 48 (7): 2064-2073, (2015).
- [24] Farag, AAM; Osiris, WG, Yahia, IS, Photovoltaic performance analysis of organic device based on PTCDA/n-Si heterojunction. *Synthetic Metals*, 161(17-18): 1805-1812, (2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Some physical and mechanical properties of impregnated chestnut wood with natural and chemical agent exposed to outdoor conditions

Açık hava koşullarına bırakılan doğal ve kimyasal maddelerle emprenye edilen kestane odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet YAŞAR¹, Mustafa ALTUNOK²

ORCID¹: 0000-0002-7699-6663

ORCID²: 0000-0002-2048-1994

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yaşar M. ve Altunok M., “Some physical and mechanical properties of impregnated chestnut wood with natural and chemical agent exposed to outdoor conditions”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 399-406, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.404006

Some Physical and Mechanical Properties of Impregnated Chestnut Wood with Natural and Chemical Agent Exposed to Outdoor Conditions

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet YAŞAR^{1*}, Mustafa ALTUNOK²

¹Gumushane Vocational High School, Department of Desing, Gumushane University, Gumushane, TURKEY

²Technology Faculty, Department of Wood Products Industrial Engineering, Gazi University, 06500, Ankara – TURKEY

(Received : 19.01.2018 ; Accepted : 09.02.2018)

ABSTRACT

Wood preservatives have been widely used to extend the service life of wood. The most objectionable environment for wood is outdoor conditions. In this study, test specimens prepared from chestnut wood (*Castanea sativa* Mill) were impregnated with natural and chemical impregnation agent. It was aimed to determine the effect of outdoor conditions on physical and mechanical properties of wood material by keeping them under these conditions for one year.

As natural impregnation material pine tannin and acorn tannins, as chemical impregnation material imersol aqua and timbercare aqua were used. The retention amount, air-dried density, bending strength, modulus of elasticity, compression strength parallel to fibers, adhesion strength parallel to fibers, screw withdrawal strength were determined.

As a result, it can be said that the physical and mechanical test values can compare wood impregnated with natural impregnation materials to wood impregnated with chemical impregnation materials after one year exposed to outdoor conditions.

Anahtar Kelimeler: Outdoor conditions, chestnut, pine tannin, acorn tannin, mechanical tests.

Açık Koşullarına Bırakılan Doğal ve Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilen Kestane Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

ÖZ

Ahşap koruyucular, ahşabın kullanım ömrünü uzatmak için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ağaç için en sakıncalı ortam açık hava koşullarıdır. Bu çalışmada, kestane (*Castanea sativa* Mill) ağacından hazırlanan örnekler doğal ve kimyasal emprenye maddesi ile emprenye edilmiştir. Açık hava koşullarının ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini, bir yıl boyunca bu koşullar altında tutarak belirlenmesi amaçlandı.

Doğal emprenye materyali olarak çam taneni ve meşe palamudu taneni, kimyasal emprenye maddesi olarak imersol aqua ve timbercare aqua kullanılmıştır. Retensiyon miktarı, hava kurusu yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, liflere paralel yönde yapışma direnci, vida tutma direnci belirlenmiştir.

Sonuç olarak, doğal emprenye maddeleriyle emprenye edilen ahşap malzemelerin kimyasal emprenye maddeleri ile emprenye edilen ahşap malzemeler ile bir yıl süreyle açık hava koşulları altındaki değerlerin mukayese edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir.

Keywords: Açık hava koşulları, kestane, çam taneni, meşe palamudu taneni, mekanik testler

1. INTRODUCTION

Wood is a natural, renewable, easily processable, economical and infrastructure is a less demanding material. As human population increases, so does demand for wood.

Wood is composed of cellulose, hemicellulose, lignin, and minor amounts of extraneous materials [1]. When wood used in outdoor conditions occurs chemical changes in the major constituents of wood, cellulose, hemicellulose and lignin, lead to changes of color, loss of luster, increased roughness and formation of cracks on

the surface [2,3]. Therefore the wood material impregnated with some chemical substances when it used in outdoor environments [4,5]. Because of degradation in the outdoor exposure is slow and variable, it requires that the changes be examined under the same conditions for a given period [6]. Stamm, (1978) found that lignin was degraded and decayed in wood remaining for 20 years under outdoor conditions without impregnation and over-surface treatment, and that cellulose was little affected except for the nearby parts [7].

The length of the waiting period in the outside environment increases the degree of destruction in the

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mehmetyasar@gumushane.edu.tr

materials used and therefore the economic losses are also increasing considerably [8].

The hardwood species such as chestnut, which are successfully used in engineering designs thanks to their natural structure, are a low cost raw material [9].

The service life of wood products exposed to outdoor conditions, can be increased by treating with various preservative materials [10,11]. But these materials must be recyclable and environmentally friendly at the end of used [12].

Tannin is a renewable and economical source widely use to produce heavy duty leather. Tannins sources are very varied. Tannin can be obtained from major are mimosa bark, quebracho wood, oak bark, chestnut wood, sumach, tara and bark of several species of pines. The main usage areas of tannin are leather manufacture, adhesives, wine, beer and fruit juices additives ore flotation agents, cement super plasticizers, medical and pharmaceutical applications [13].

The Oriental beech and scots pine samples impregnated with 10% and 20% w/w mimosa extract showed improvements of on average 20% on compression, bending, hardness and gluing tests [14].

It was investigated durability of the tannin-hexamine-treated wood samples for their resistance against outdoor agents in terms of dimensional stability, resistance to leaching and resistance to biological agents. The artificial and natural weathering provided comparable results in terms of changes in surface colour. Dimensional Stability of the 10% and 20% tannin-treated samples were very similarly [15]

timbercare aqua were supplied by Hemel Timber Products Co. in Turkey.

In preparation of parallel adhesion resistance test specimens used double-component PVAc-D4 glue resistant to outdoor conditions. D4 glue recommended for the manufacture of joinery according to desmodur VTKA glue [19]. During the testing of the test samples; digital caliper, drying oven, desiccator, precision scale and universal tester (Zwick Z050-for mechanical test).

2.2. Method

2.2.1. Preparation of the test samples

Factors such as tree type, chemical materials and cutting direction affect the results of the experiments [20-22]. Therefore, the examples are arranged according to the principles set out in Table 1. Experiments were carried out in Universal Testing Machine (Zwick Z050) with a capacity of 5 tons in the material laboratory of Gumushane University, Gumushane Vocational School Furniture and Decoration Workshop.

2.2.2. Impregnation solution and process

For the impregnation process, pine and acorn tannins were first prepared in solution. Solution; based on weight, 5% mineral tannin was distilled (distilled and dissolved in water at 60 °C).

Solution and treatment temperature were applied at 20 ± 2 °C for all impregnates. After the impregnation, the specimens weighed and dimensioned at full age were conditioned until $60\% \pm 3\%$ relative humidity and $20\% \pm 2\%$ humidity at 20 ± 2 °C. Solution prepared with tannins and chemical impregnated materials were placed in a

Table 1. Sample sizes and testing standards for wood properties

Properties	Test	Standard
Physical	Oven dried density	TS 2472 (1976), [23]
	Bending strength	TS 2474 (1976), [24]
	Modulus of elasticity	TS 2478 (1976), [25]
Mechanical	Compression strength parallel to fibers	TS 2595 (1976), [26]
	Adhesion strength parallel to fibers	TS-EN 205 (2004), [27]
	Screw withdrawal strength	TS-EN 13446 (2005), [28]

Bending strength results was decreased by impregnated with solution of 5 % natural oak tannin [16]. Heat treatment parts screw withdrawal strength values were highest results in the tangential direction than transverse directions [17]. Density of wood may have a decisive importance for screw withdrawal resistance [18].

2. MATERIAL AND METHOD

2.1 Material

Wood specimens were cut from randomly selected smooth fibrous, knotless chestnut wood (*Castanea sativa* Mill) from Trabzon in Turkey. In selection of impregnation materials determined pine and acorn tannins as natural material, imersol aqua and timbercare aqua as water based chemical material. Imersol aqua and

coarse array with dimensions of 20 * 50 * 50 cm, the test specimens were immersed in the solution and the wire mesh weight was placed. Dipping was carried out for 2 hours.

After the impregnation process was completed, samples were brought to equilibrium humidity and subjected to outdoor conditions.

2.2.3. Natural aging of test samples

Control and impregnated samples were hold on outdoor conditions between 01.09.2011 - 01.09.2012 dates for 12 mounts periods in Ankara, Turkey. Conditions was adjusted to according to the principles of ASTM G7-05 standard as to face to the south and 45° from ground in oblique position (Figure 1.) [29].



Figure 1. Inclined platform of test samples stored in the outdoor conditions

The height of the test samples at the lowest level is 50 cm, care has been taken that organic wastes will increase the proportion of water in the soil unnecessarily and that there will be no water-holding residues.

The meteorological data of Ankara province in which the test samples were left for outdoor conditions between 01.09.2011 - 01.09.2012 in Table 2.

Table 3. Retention amounts

Impregnation Type	Retention Amounts (g/cm ³)		
	X _{ort}	S _x	V
Pine tannin	13.50	0.52	0.04
Acorn tannin	15.00	0.59	0.04
Imersol aqua	2.50	0.96	0.38
Timbercare aqua	2.33	0.76	0.33

Retention of samples were found to be between 2.33-15

Table 2. The meteorological data of Ankara province 01.09.2011 - 01.09.2012 [30].

Date	Average Temperature (°C)	Average Maximum Temperature (°C)	Average Minimum Temperature (°C)	Monthly Mean Relative Humidity (%)	Monthly Precipitation (mm)
September- 2011	20.1	30.8	7.6	42.4	0.6
October- 2011	10.9	25.8	0.2	65.1	62.4
November- 2011	3.3	15.2	-7.1	70.3	10.9
December- 2011	3.8	16.0	-6.8	74.9	39.3
January-2012	-0.9	12.2	-11.3	87.1	93.3
February-2012	-1.9	10.1	-15.9	83.7	47.7
March-2012	3.7	18.6	-5.4	67.2	43.0
April-2012	14.9	28.1	0.1	50.5	24.8
May-2012	17.5	28.2	9.0	56.8	65.1
June-2012	24.2	36.6	10.1	38.7	1.2
July-2012	27.0	41.0	13.5	35.8	4.6
August-2012	24.0	36.0	12.0	38.2	7.4

2.2.3. Analysis of The Data

Statistical evaluation of the results was analyzed with SPSS 22.0 (2013) statistical package software. In case of mutual interactions of sources of variance being significant according to ($P < 0.05$) for which factors are the differences important was identified by Duncan test.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Retention amounts of impregnation materials is given in Table 3.

g/cm³. Tannins showed upper retention value. In other study observed similar results in other studies [31]. Microscopic views of the specimens taken from the parts exposed to outdoor conditions for one year (impregnated material) are given in Figure 2.

The effects of the impregnation material used in the samples prepared with natural and chemical impregnation materials prepared from chestnut wood, variance analysis and Duncan tests were applied to determine whether the bending resistance, modulus of elasticity, compression strength parallel to fibers, adhesion strength parallel to fibers, screw withdrawal strength were statistically significant (Table 4. and Table 5.

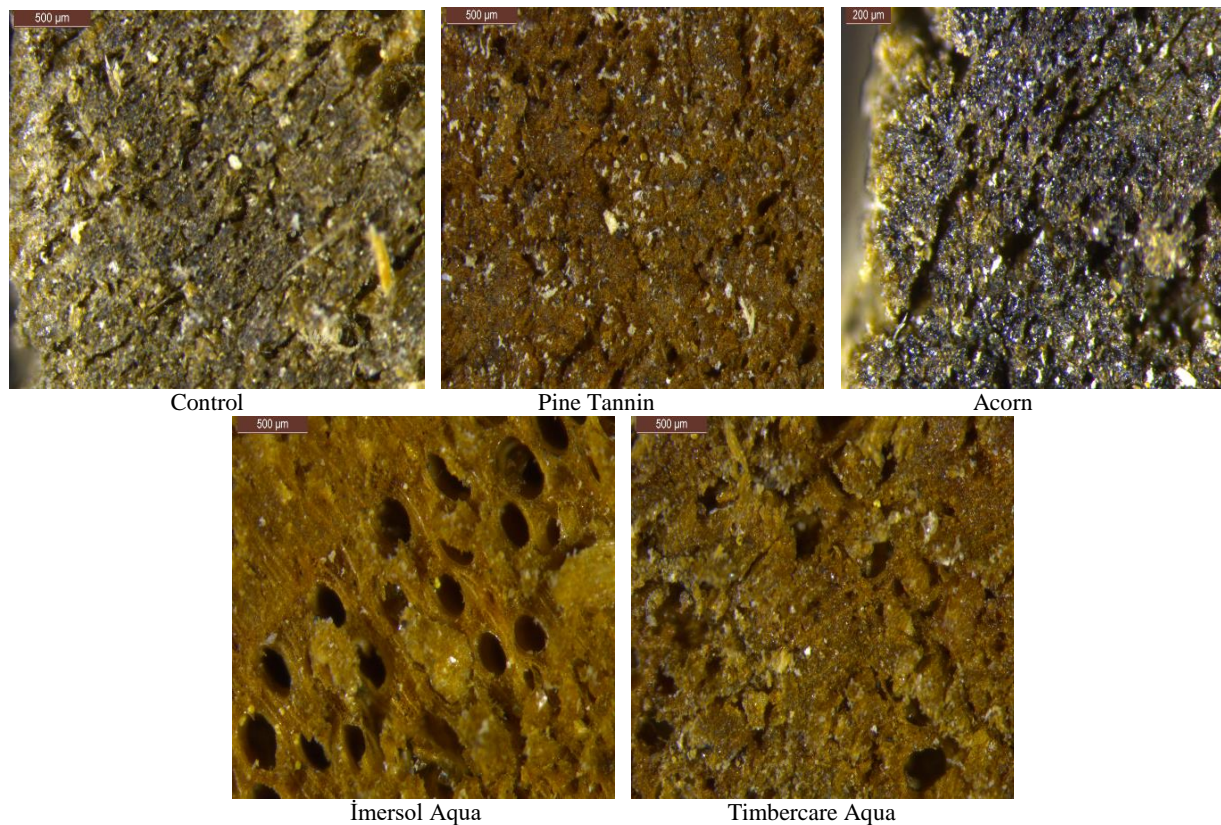


Figure 2. Microscopic views of the specimens after a year exposure outdoor conditions (control, pine tannin, acorn, imersol aqua, timbercare aqua)

Table 4. Variance analysis for physical and mechanical properties

Analysis of Variance						
Process	Variation Source	F.D.	S.S	S.M.	F value	Pr>F
Air-dried density	Between groups	2	0.001	0.001	0.352	0.705
	Within groups	46	0.068	0.001		
	Total	48	0.069			
Bending strength	Between groups	2	0.017	0.009	12.184	0.000*
	Within groups	46	0.032	0.001		
	Total	48	0.050			
Modulus of elasticity	Between groups	2	50.082	25.041	4.856	0.012*
	Within groups	46	237.186	5.156		
	Total	48	287.268			
Compression strength parallel to fibers	Between groups	2	49.842	24.921	1.909	0.160
	Within groups	46	600.580	13.056		
	Total	48	650.422			
Adhesion strength parallel to fibers	Between groups	2	49.842	24.921	1.909	0.160
	Within groups	46	600.580	13.056		
	Total	48	650.422			
Screw withdrawal strength	Between groups	2	11752.671	5876.335	3.218	0.049*
	Within groups	46	84010.230	1826.309		
	Total	48	95762.900			

Table 5. Duncan test results

Process	Impregnation Type	Duncan Test			
		Mean Square	No	Subset for alpha=0.05	
				1	2
Air-dried density	Control	0.648	10	0.6367	
	Natural imp.	0.637	20	0.6400	
	Chemical imp.	0.641	20	0.6480	
	Sig.			0.464	
Bending strength	Control	78.730	10	0.4467	
	Natural imp.	80.616	20	0.4950	
	Chemical imp.	82.020	20	0.4950	
	Sig.			1	1
Modulus of elasticity	Control	7393.330	10	13.4590	
	Natural imp.	7723.160	20	15.2695	
	Chemical imp.	7642.500	20	15.8989	
	Sig.			1	0.464
Compression strength parallel to fibers	Control	25.66	10	6.7265	
	Natural imp.	27.395	20	8.7570	
	Chemical imp.	27.140	20	8.8244	
	Sig.			0.151	
Adhesion strength parallel to fibers	Control	4.881	10	25.6556	
	Natural imp.	4.77	20	27.1400	
	Chemical imp.	5.779	20	27.5900	
	Sig.			1	0.488
Screw withdrawal strength	Control	269.494	10	78.7333	
	Natural imp.	309.960	20	80.3800	
	Chemical imp.	305.314	20	82.0200	
	Sig.			0.516	

As a result of the analysis of variance made; it has been determined that there are significant differences between bending resistance, modulus of elasticity and screw withdrawal strength in the samples prepared from chestnut wood (natural impregnation - imersol aqua - timber care aqua - control) air-dry density, compression strength parallel to fibers and adhesion value perpendicular to the fibers were found to be negligible.

It has been determined that there is no significant difference in air-dried density, vertical pressure resistance and screw withdrawal strength in the samples treated with natural impregnation (pine tannin - acorn) - chemical impregnation (imersol aqua - timbercare aqua) prepared from chestnut wood according to Duncan test ($P \leq 0.05$).

Bending strength, modulus of elasticity, compression strength parallel to fibers, adhesion strength parallel to fibers, screw withdrawal strength tests results in Table 6. and are shown Figure 1.

Table 6. Physical and mechanical properties of chestnut wood

Process	Impregnation	X_{ort}	S_x	V
Air-dried density	Control	0.63	0.03	0.05
	Pine tannin	0.63	0.03	0.05
	Acorn tannin	0.66	0.04	0.06
	Imersol aqua	0.66	0.04	0.06
	Timbercare aqua	0.65	0.04	0.06
Bending strength	Control	78.66	10.53	0.13
	Pine tannin	79.44	9.30	0.18
	Acorn tannin	81.32	16.73	0.21
	Imersol aqua	81.91	14.19	0.17
	Timbercare aqua	82.13	11.17	0.14
Modulus of elasticity	Control	7413	707.75	0.10
	Pine tannin	7710	850.39	0.11
	Acorn tannin	7689	1358.02	0.18
	Imersol aqua	7537	1180.51	0.16
	Timbercare aqua	7748	996.97	0.13
Compression strength parallel to fibers	Control	25.86	1.39	0.05
	Pine tannin	26.99	1.39	0.05
	Acorn tannin	28.19	1.94	0.07
	Imersol aqua	27.62	1.94	0.07
	Timbercare aqua	26.66	1.66	0.06
Adhesion strength parallel to fibers	Control	4.90	1.62	0.33
	Pine tannin	5.87	1.32	0.23
	Acorn tannin	3.68	1.31	0.36
	Imersol aqua	5.49	1.30	0.24
	Timbercare aqua	6.11	1.87	0.31
Screw withdrawal strength	Control	268.79	13.53	0.05
	Pine tannin	291.52	36.38	0.12
	Acorn tannin	332.66	31.29	0.09
	Imersol aqua	310.14	53.06	0.17
	Timbercare aqua	300.49	55.20	0.18

The highest air-dried mean density was 0.66 g/cm^3 in the samples with acorn tannin and imersol aqua and lowest was 0.63 g/cm^3 in the samples impregnated with the control and pine tannin. Results is similar with another study [31].

The highest bending strength was 82.13 N/mm^2 in the samples with impregnated with timbercare aqua and lowest was 78.66 N/mm^2 in control samples.

The highest modulus of elasticity was 7748 N/mm^2 in the samples impregnated with timbercare aqua and lowest was 7413 N/mm^2 in the control samples.

The highest compression strength parallel to fibers was 28.19 N/mm^2 in the samples with acorn and lowest was 25.86 N/mm^2 in the control samples. These findings are consistent with earlier reports [32].

The highest adhesion strength parallel to fibers was 6.11 N/mm^2 in the samples impregnated with timbercare aqua and lowest was 3.68 N/mm^2 in the samples with acorn.

The highest screw withdrawal strength was 332.66 N/mm^2 in the samples with acorn and lowest was 268.79 N/mm^2 in the control samples.

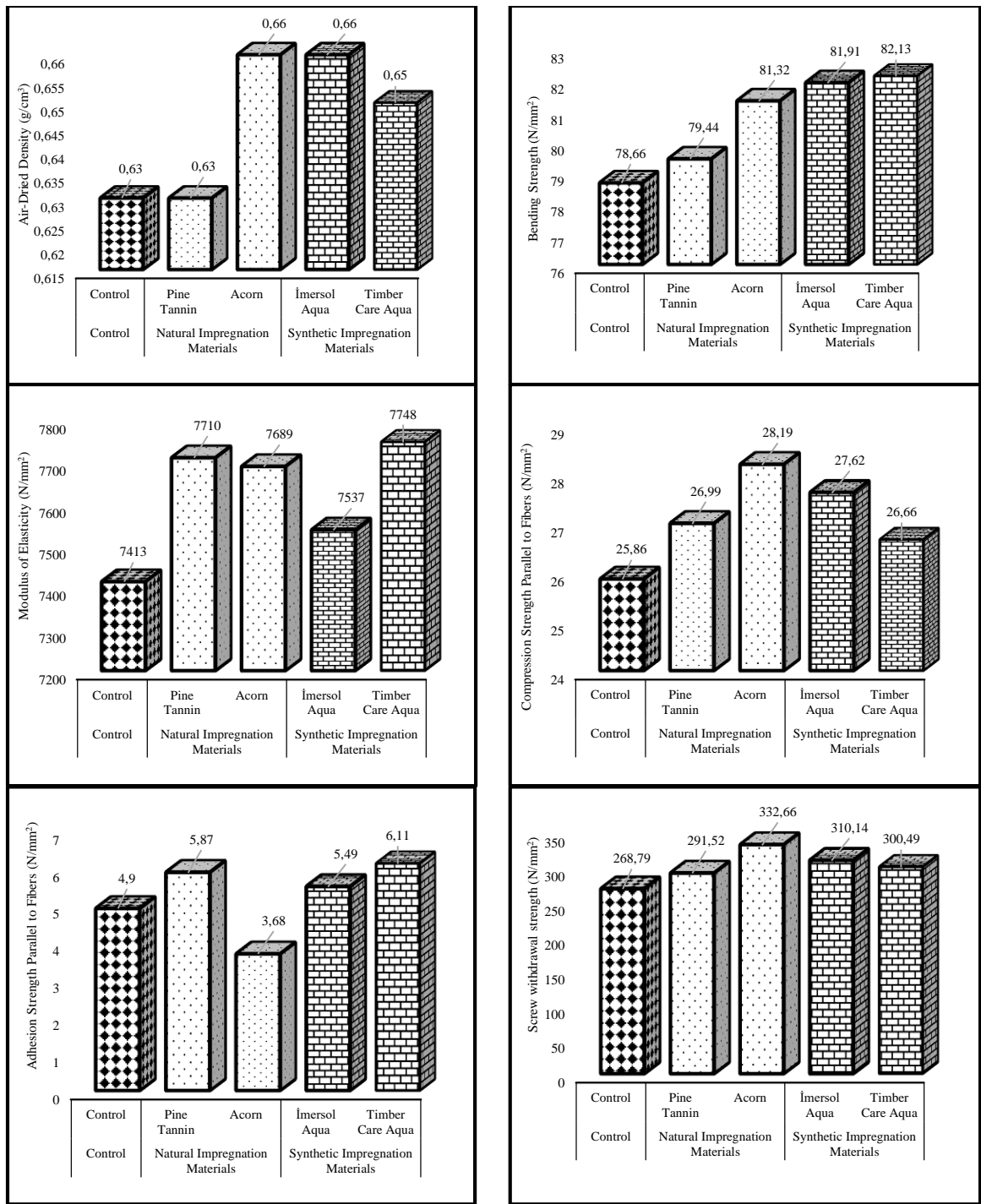


Figure 1. Graphical representation of physical and mechanical properties of chestnut wood

4. CONCLUSION

According to the experimental results, retention amount values of the samples impregnated with natural materials are higher than impregnated with chemical impregnation materials.

In air-dried density values obtained close results. Oak acorn gave similar results with chemical impregnation materials. Control samples and pine tannin samples showed lower results than the other samples.

Control samples was showed the lowest results in bending strength, modulus of elastic, compression strength parallel to fibers and screw withdrawal strength parallel to fibers tests. Natural and chemical impregnation materials increased the values in these experiments.

The bending strength values were close to each other. The bending strength of the samples impregnated with chemical wood preservatives values were higher then tannins. The highest values were determined in samples impregnated with timber care aqua in bending strength,

modulus of elastic and adhesion strength parallel to fibers tests.

According to the control samples, chemical and natural impregnation materials increased the elasticity modulus values. The samples impregnated with acorn tannin showed the lowest values in adhesion strength parallel to fibers. The highest values in compression strength parallel to fibers and screw withdrawal strength were determined in samples impregnated with acorn tannin.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was a portion of the M.Sc. thesis prepared by Mehmet YASAR between the dates of 2010-2014. The thesis was prepared under the supervision of Professor Dr. Mustafa ALTUNOK at Gazi University Institute of Science.

REFERENCES

- [1] Siró I., Plackett D., "Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review", *Cellulose*, 17: 459–94, (2010).
- [2] Hon D, Shiraishi N., "Wood and cellulosic chemistry", *Markel Dekker Inc.*, USA. (2001).
- [3] Komut, O., İmamoğlu, S. and Öztürk, A., "Blue stain degradation on the scots pine log and its effect on the sale prices" *Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty*, 14 (2): 283-291, (2013).
- [4] Yasar S.S., Fidan M.S., Yasar M., Atar M. and Alkan E., "Influences of seasonal alterations on the burning characteristics of impregnated and surface treated chestnut (*Castanea sativa* mill) wood", *Wood Research*, 61(3): (2016).
- [5] Keskin, H., Atar M. and Togay A., "Impacts of impregnation with Imersol-Aqua on the compression strength of some solid wood materials", *Construction and Building Materials*, 22 (7): 1402-1408, (2008).
- [6] Fidan M.S., Yasar S.S., Yasar M., Atar M. and Alkan, E., "Effect of seasonal changes on the combustion characteristics of impregnated cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) wood", *Construction and Building Materials*, 106: 711–720, (2016).
- [7] Stamm A.S., "Wood and coating", *Wood and Cellulose Science*, 120: 45-47, (1978).
- [8] Komut, O., İmamoğlu, S. and Öztürk, A., "Damages and precautions that can be taken in the sales depots of forest enterprises", 3rd National Black Sea Forestry Congress, I: 270-278, (2010).
- [9] Matthias F., Joachim B.H., "Naturally grown round wood – ideas for an engineering design", *Materials And Joints In Timber Structures*, Springer, Netherlands, Dordrecht, 77–88, (2014).
- [10] Ramagea M.H., Burridgeb H., Busse-Wicherc M., Feredaya G., Reynolds T., Shaha D.U., Wud G., Yuc L., Fleminga P., Densley-Tingleye D., Allwoode J., Dupreec P., Lindenb P.F., Scherman O., "The wood from the trees: The use of timber in construction", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68: 333–359, (2017).
- [11] Trada Technology, "Specifying timber species in marine and freshwater construction", *Technical report, TRADA*, (2011).
- [12] Callum, A.S.Hill, Wood modification: chemical, thermal and other processes. *Chichester: Wiley*; 2006.
- [13] Carvalho, A. J. F., "Starch: major sources, properties and applications as thermoplastic materials", *Monomers, polymers and composites from renewable resources*, 321–342, Amsterdam, (2008).
- [14] Tondi, G., Wieland, S., Wimmer, T., Thevenon, M. F., Pizzi, A. and Petutschnigg, A. "Tannin-boron preservatives for wood buildings: Mechanical and fire properties", *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(5): 689–696, (2012).
- [15] Tondi, G., Palanti, S., Wieland, S., Thevenon, M.-F., Petutschnigg, A., & Schnabel, T. Durability of Tannin-Boron-Treated Timber. *BioResources*, 7(4): (2012).
- [16] Kureli I., Altinok M. and Percin O., "Experimental investigation of some technological properties of thermo modified and impregnated wood samples", *Wood Research*, 58 (3): 369-380, (2013).
- [17] Percin, O., "Determination of screw withdrawal strength of heat-treated and reinforced laminated veneer lumber", *BioResources*, 11(1): 1729-1740, (2016).
- [18] Percin O., Yasar S.S., Altunok M. and Uzun O., "Determination of Screw Withdrawal Resistance of Some Heat-Treated Wood Species", *Drvena Industrija*, 68 (1): 61–68, (2017).
- [19] Onduran, A., Yasar S.S. and Altunok M., "Investigation of the effects of some modification process to the mechanical performance and deformation of the woodwork", *Wood Research*, 62 (3): (2017).
- [20] Altinok, M., Kucuktuvek, M., Bircan, M. C. and Keskin, H. "Effects of cutting directions on the bonding strength in some wood types", *Construction and Building Materials*, 134: 1–6. (2017).
- [21] Keskin, H., Ertürk, N. S., Çolakoğlu, M. H., & Korkut, S. "Combustion properties of Rowan wood impregnated with various chemical materials", *International Journal of Physical Sciences*, 8(19): 1022–1028, (2013). <https://doi.org/10.5897/IJPS12.690>
- [22] Uysal B., Atar, M. and Özçifci A "The Effects of Wood Bleaching Chemicals on the Bending Strength of Wood", *Turkish Journal Of Agriculture And Forestry*, 23(6): 615-619. (1999).
- [23] TS 2472., (1976). In wood, bulk density determination for physical and mechanical xperiments. The Turkish Standards Institute. Ankara.
- [24] TS 2474., (1976). Determination of the static bending strength in wood. The Turkish Standards Institute. Ankara.
- [25] TS 2478., (1976). Wood-determination of modulus of elasticity in static bending. The Turkish Standards Institute. Ankara.
- [26] TS 2595., (1976). Wood-determination of ultimate stress in compression parallel to grain. The Turkish Standards Institute. Ankara.
- [27] TS EN 205., (2004). Adhesives-wood adhesives for non-structural applications - determination of tensile shear strength of glued attachments. The Turkish Standards Institute. Ankara. 1-7.

- [28] TS EN 13446., (2005). Wood-based panels – determination of withdrawal capacity of fasteners. The Turkish Standards Institute. Ankara.
- [29] ASTM G7-05., (2005). Standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials. ASTM. USA. 2-10.
- [30] URL: [Online]. Access: www.meteoroloji.gov.tr/ / 2011
- [31] Yasar, M., Fidan M.S., Yasar S.S., Uysal E. R. and Altunok M., “Determination of The Physical And Mechanical Properties of Scotch Pine By Impregnating With Oak Tannin And Timber Care Impregnation Materials, *E. J. Engineering Sciences and Technology*, 2: 9–18, (2017).
- [32] Green, D. W., Winandy J. E. and Kretschmann D. E., “Mechanical properties of wood” Agricultural Handbook, No 72, *Wood handbook*—Wood as an engineering material Chapter 4, 1-45, (1999).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Isıl işlemin vernikli ağaç malzemede renk değişimine etkisi

Impact of heat treatment on the exchange of color in varnished wood materials

Yazar(lar) (Author(s)): Musa ATAR¹, A. Cihangir YALINKILIÇ², Hakan KESKİN³

ORCID¹: 0000-0002-3944-5512

ORCID²: 0000 0003 44426234

ORCID³: 0000-0001-8753-055

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Atar M., Yalınkılıç A.C., ve Keskin H., “Isıl işlemin vernikli ağaç malzemede renk değişimine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 407-413, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.404008

Isıl İşlemin Vernikli Ağaç Malzemede Renk Değişimine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Musa ATAR^{1*}, A. Cihangir YALINKILIÇ², Hakan KESKİN¹

¹Department of Wood Products Industrial Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara - Turkey

²Department of Industrial Design Engineering, Simav Faculty of Technology, Dumlupınar University, Simav - Turkey

(Geliş/Received : 01.02.2018; Kabul/Accepted : 22.02.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, ısıl işlemin vernikli ağaç malzemede renk değişimine etkisi araştırılmıştır. Bu maksatla; Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Sapsız Meşe (*Quercus petraea* Lieble.), Kara Kavak (*Populus nigra* Lipsky), Sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) ve Uludağ Göknaarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) odunlarından TS 2470 ve TS 53'e göre hazırlanan örnekler 165°C ve 175°C sıcaklık, 2 ve 4 saat süre ile toplam 4 varyasyonda sıcaklığı $\pm 1^\circ\text{C}$ duyarlılıkta kontrol edebilen ısıl işlem fırınında normal atmosfer ortamında bırakılmıştır. Üstyüzey işlemi için örnekler, ASTM D 3023'e göre sentetik, parke ve su bazlı verniklerle kaplandıktan sonra vernikli yüzeylerde ASTM D 2244-02'e göre renk değişimi tespit edilmiştir. Sonuç olarak; toplam renk değişimi ağaç türü-ısıl işlem-vernik çeşidi etkileşimi düzeyinde en yüksek sentetik vernik uygulanmış 175/2 °C/Saat ısıl işlemlili kavakta (60,96), en düşük su bazlı vernik uygulanmış 165/2 °C/Saat ısıl işlemlili sarıçamda (10,95) elde edilmiştir. Buna göre, renk değişimi olmasının istenmediği veya en az istendiği mobilya ve dekorasyon uygulamalarında toplam renk değişimi değeri en düşük olan su bazlı vernikli ve 165/2 °C/Saat ısıl işlemlili sarıçam ağaç malzemenin kullanılması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem, vernik, ağaç malzeme, renk değişimi.

Impact of Heat Treatment on the Exchange of Color in Varnished Wood Materials

ABSTRACT

This study investigated the effect of heat treatment discoloration of varnished wood materials. In this purpose; samples of Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky), Oak (*Quercus petraea* Lieble.), Black Poplar (*Populus nigra* Lipsky), Scots Pine (*Pinus sylvestris* Lipsky) and Uludağ Fir (*Abies bornmülleriana* Mattf.) prepared in accordance with TS 2470 and TS 53, were left in the heat-treatment oven under normal atmosphere with temperatures of 165°C, 175°C, for periods of 2, 4 hours with $\pm 1^\circ\text{C}$ temperature sensitivity in a total of 4 variations. For the surface processes, the samples were coated with synthetic, parquet and water-based varnishes in accordance with ASTM-D 3023 and color alteration according to ASTM D 2244-02 was determined. According to the results of the study; At the level of interaction between the type of wood, type of heat-treatment and type of varnish; the highest value of total color alteration was obtained from the poplar (60.96) which was varnished with Synthetic varnish and heat-treated with 175/2 (°C/Hours), the lowest value was obtained from the pine (10.95) which was varnished with water-based varnish and heat-treated with 165/2 (°C/Hours). Accordingly, the color change is desired or required furniture and decoration applications at the lowest total color change the value of water-based varnish, and the use of heat-treated pine wood were suggested.

Keywords: Heat treatment, varnish, wood materials, colour change.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Odunun olumsuz özelliklerinin en aza indirgenmesi ve olumlu özelliklerinin daha ileri derecelere yükseltilmesi amacıyla yönelik olarak birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmaların sonuçlarına göre ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda "Odunun Modifikasyonu Yöntemleri" denilmektedir [1]. Odun modifikasyonu yöntemleri, kimyasal modifikasyon, fiziksel modifikasyon, termal modifikasyon ve enzimatik modifikasyon olarak gruplandırılabilir [2].

Odunun ısıl işleme tabi tutulması onun kimyasal kompozisyonunu değiştirmekte ve dolayısıyla odun termal modifikasyonu yöntemi olarak adlandırılmak-

tadır. Odun termal modifikasyonu yöntemi olarak ele alındığında, odunun 100-250°C'ler arasında, normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi ısıl işlem olarak anlaşılmaktadır [1].

Isıl işlem uygulaması odunun moleküler yapısının modifiye edilmesine yol açtığından performansını arttırmaktadır. Artan potansiyel nitelikler; mantar ve böceklerle karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubet içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal izolasyon kabiliyeti, boya adhezyonu, dış hava şartlarına dayanıklılığında artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinde uzamadır. Buna ilaveten daha düşük kaliteli ağaç türlerine yeni pazar imkanı sunarak bunların daha kaliteli türlere karşı rekabet gücünü arttırmakta ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : musaatar@gazi.edu.tr

sürdürülebilir orman kaynaklarını desteklemektedir. Isıl işlem uygulaması ayrıca kompozit malzemelerde liflere ve kaplamalara; dayanıklılıkta artma, daha büyük bir stabilite, kullanım süresinde artma, ürün emniyetinde iyileşme, daha yüksek fiyat ederine sahip olma ve güvenilirlik gibi özellikler kazandırmaktadır. Strüktürdeki tüm bu değişimler insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasallar ilave edilmeksizin elde edildiğinden ısıl işlem uygulaması empenyeye ekolojik bir alternatif olarak düşünülmektedir [3-4-5].

150°C ve üstündeki sıcaklıklarda muamelelerle odunun renginin değiştiği gözlemlenmiş ve buna bağlı olarak ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım yerlerinin kısıtlandığı bildirilmiştir [6].

Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) odununun renk değişimi üzerinde yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiş ve odun renginin koyulaştığı, ısıtma zamanı ve sıcaklığının, renk değişimi üzerinde nispi nemden daha önemli olduğu bildirilmiştir [7]. Limba, İroko, Dişbudak ve Anadolu kestanesi odunlarının renk özelliklerine farklı ısıl işlem ve vernik kombinasyonu uygulamalarının etkileri incelenmiştir. 150 ve 180°C sıcaklık ve 3-6 saat ısıl işleme tabii tutulan ağaç malzemeler; selülozik, sentetik, poliüretan ve su bazlı vernikle kaplandıktan sonra renk ölçümü yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre, ısıl işlemlili tüm ağaç malzemelerde rengin etkilendiği bildirilmiştir [8]. Sarıçam ve Ladin odunları 4 saat süreyle 220°C'de ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Örnekler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda 2 yıl süreyle örneklerde hiçbir çürüme veya renk değişiminin olmadığı, ısıl işlem ile modifiye edilmiş örneklerin bakır içerikli koruyucularla muamele edilmiş örneklere göre daha iyi bir performans gösterdiği bildirilmiştir [9].

Bazı Japon iğne yapraklı ağaçlar 75±5°C'de 100 ve 200 saat dumanla ısıl işleme tabii tutularak etkileri incelenmiştir. 100 saat dumanla ısıtılan örnekler ile kontrol örnekleri arasında diri odun rengi bakımından hiçbir farklılık olmadığı, toplam renk değişiminde (ΔE^*) derinlerde renk değişimi olduğu, bu sonuçların 100 saat üzerinde hemiselülözün termal bozunumu nedeniyle olduğu bildirilmiştir [10].

Huş ağacının (175, 200°C) sıcaklıklarda (1, 3 ve 10 saat) muamele edilerek renk değişimlerinin nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Örneklerin renk homojenliği ölçüldüğünde ısıl işlem sonucunda elde edilen rengin örnek üzerinde homojen bir yapıda olmadığı bildirilmiştir [11].

Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) odununun renginde ısıl işlemin etkisi incelenmiştir. 160 ve 180°C sıcaklık ile 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde ısıl işleme tabii tutulan Ahlat odununun %50, 65, 85 bağıl nem ortamlarında renk değişiminde iyileşme olduğu bildirilmiştir [12].

Sarıçam odunu (150, 170 ve 190°C) sıcaklıklarda (4, 6 ve 8 saat) süreyle ısıl işleme tabii tutulmuştur ve numuneler üzerinde toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri belirlenmiştir. Isıl işlemin sarıçam odunu renginde koyulaşmaya neden olduğu, sıcaklık ve süresinin artmasıyla toplam renk değişimi değerinde arttığı

belirtilmiştir [13]. Okalıptus odununun rengine ısıl işlemin etkisi belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ısıl işlem ile odun örneklerinin renklerinin koyulaştığı bildirilmiştir [14].

Bu çalışmada, ısıl işlem uygulanmış bazı geniş ve iğne yapraklı ağaç malzemeler sentetik, parke ve su bazlı verniklerle kaplanarak, ısıl işlemin vernikli ağaç malzeme renk değişimine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIALS and METHOD)

2.1. Ağaç Malzeme (Wood Material)

Ülkemizde ağaçları endüstrisinde yaygın kullanılan geniş yapraklı ağaçlardan Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), sapsız meşe (*Quercus petraea* Lieble) ve kara kavak (*Populus nigra* Lipsky) ile iğne yapraklı ağaçlardan sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) ve Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan ağaç malzemeler, piyasadan tesadüfî metodla temin edilmiştir.

2.2. Vernikler (Varnishes)

Deney örneklerinin verniklenmesinde sentetik, alkid reçine esaslı tek komponentli ahşap verniği (parke verniği) ve su bazlı dolgu ile son kat ahşap vernikleri kullanılmıştır. Örneklerin verniklenmesinde, sentetik tiner ve su karışım oranları için üretici firmaların önerilerine uyulmuştur.

2.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of Experimental Examples)

Örnekler, tesadüfî seçilen 1. sınıf ağaç malzemedan, düzgün lifli, ardaksız, budaksız, çatlaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan, yıllık halkaları yüzeylere dik gelecek şekilde ve diri odun kısımlarından TS 53 ve TS 2470 esaslarına göre hazırlanmıştır [15-16].

Renk ölçümü için hazırlanan örnekler önce 540x110x12 mm' lik latalara kesilmiştir. Daha sonra ısıl işlem uygulaması için deney örnekleri denge rutubetinin hava kuru hale gelmesi sağlanmıştır. Isıl işlemin ardından denge rutubetine getirilen latalardan 100x100x10 mm ölçülerinde deney örnekleri kesilerek, ilk ısıtmadan sonra 80 ve 100 kum zımpara ile zımparalandıktan sonra son ısıtmanın ardından 120 kum zımpara ile perdah işlemleri yapılmıştır. Perdahlanmış örnek yüzeyleri yumuşak kılı bir fırça ve vakum kullanılarak tozdan arındırılıp verniklemeye hazır hale getirilmiştir. Ağaç türü (5), vernik çeşidi (3), ısıl işlem varyasyon sayısı (4+Kontrol) ve örnek adedi (10) dikkate alındığında toplamda 750 adet deney numunesi hazırlanmıştır.

Isıl işlem uygulaması, hava kuru haldeki ağaç malzemelere sıcak su buharı koruması altında (200 saniye aralıklarla 5 saniye boyunca 1 barlık 100 °C±3'de su buharı püskürtme), sıcaklığı ±0,1°C duyarlıkta kontrol edebilen ısıl işlem fırınında normal atmosfer ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla her bir ağaç ve vernik çeşidi için örnekler ayrı ayrı ısıl işleme tabii tutulmuştur. Toleranslı deney parçaları fırın içerisine buharın akış yönüne dik olarak yerleştirilmiş ve katman aralarına aynı

ağaç türünden masif çitalar konulmuştur. Fırın çalıştırılırken ve çalışma esnası boyunca içerisine belirli aralıklarla (200 saniye aralıklarla 5 saniye boyunca 1 barlık) $100^{\circ}\text{C}\pm 3'$ 'de su buharı verilerek ağaç malzemenin hem ani kuruması ile karşı karşıya kalacağı iç ve yüzey çatlakları engellenmiş hem de fırın içerisindeki oksijen bertaraf edilerek ağaç malzemenin yanması engellenmiştir. Toplam ısı işlem uygulaması kesintisiz olarak 3 aşamada gerçekleştirilmiş olup ilk aşamada ısı ve buhar kullanılarak fırın sıcaklığı 6 saat süre ile 100°C 'ye ve ardından 12 saat süre ile 130°C 'ye kademeli olarak yükseltilmiştir. Ahşaptaki nem içeriği yaklaşık sıfıra düşürülüp yüksek sıcaklık kurutması oluştuktan sonra İkinci aşamada 130°C 'den 165 ve 175°C 'ye 6 saatte yükseltilmiş ve bu sıcaklıklarda 2 ile 4 saat süre ile bekletilmişlerdir. Üçüncü aşamada, su spreyi sistemi kullanılarak ahşabın ısı düşürülmüş ve ahşabın nemi %4-6'ya ulaşmaya kadar devam edilmiştir. Bu kondüsyonlama (uygun duruma getirme) aşaması 12 saat sürmüştür. Daha sonra fırından çıkarılan malzemeler net ölçülerine getirilerek hava kurusu rutubete gelmeleri için laboratuvar ortamında bekletilmişlerdir.

Isıl işlem uygulaması sert ağaçlardan kayın, meşe ve kavak odunları ile yumuşak ağaçlardan sarıçam ve göknar odunları için iki ayrı sıcaklık ve iki ayrı süre kombinasyonu ile toplam 4 varyasyonda Çizelge 1' de özetlendiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Isıl işlem uygulanan ağaç türü, sıcaklık, süre ve varyasyonları (Heat treated woodspecies, temperature, duration and variations)

A	Süre (Saat) / (Varyasyon)									
	Kayın		Meşe		Kavak		Sarıçam		Göknar	
165	2/1	4/2	2/1	4/2	2/1	4/2	2/1	4/2	2/1	4/2
175	2/3	4/4	2/3	4/4	2/3	4/4	2/3	4/4	2/3	4/4

A: Ağaç Türü, S: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

Örneklerin verniklenmesi ASTM D 3023 esaslarına ve üretici firmaların önerilerine göre sanayi uygulaması şeklinde yapılmıştır [17]. Vernikler deney örneklerine orta sertlikteki fırça ile uygulanmıştır. Vernik miktarı, üretici firmaların uygulanması gereken vernik miktarı önerilerine uyularak 0,01 duyarlıklı analitik terazi ile tartularak belirlenmiştir. Sentetik vernik, perdah işlemleri tamamlanan numunelere üretici firma önerileri doğrultusunda m^2 'ye 120 gr prensibine göre ve her katta %10 sentetik tiner katılarak uygulama yapılmıştır. Birinci kat sürüldükten 24 saat sonra 400 nolu zımpara yapılarak ikinci katın uygulaması yapılmış ve üç hafta süre ile kurumaya bırakılmıştır.

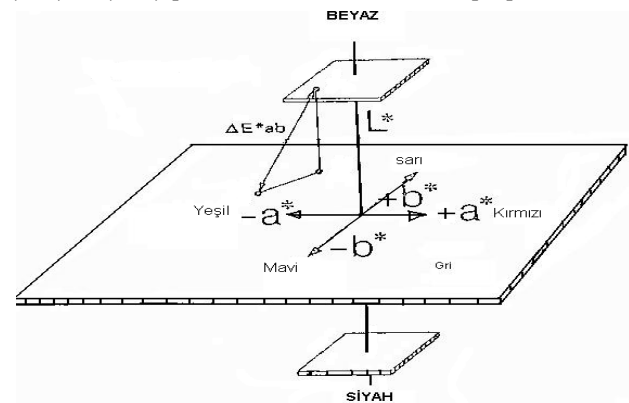
Alkid reçine esaslı tek komponentli ahşap verniği (parke verniği), perdah işlemleri tamamlanan numunelere üretici firma önerileri doğrultusunda m^2 'ye 120 gr prensibine göre ve birinci katta %10 sentetik tiner katılarak sürüldükten 24 saat sonra 400 nolu zımpara yapılarak ikinci katın uygulaması ambalaj viskozitesinde yapılmıştır ve üç hafta süre ile kurumaya bırakılmıştır.

Su bazlı vernik uygulaması, perdah işlemleri tamamlanan numunelere üretici firma önerileri doğrultusunda dolgu verniğinde m^2 'ye 140 gr prensibine göre ve her katta %5 su katılarak sürüldükten 3-4 saat sonra 220 nolu zımpara yapılarak ikinci dolgu katının uygulaması yapılmış ve 3-4 saat kuruduktan sonra 400 nolu zımpara yapılarak son kata hazır hale getirilmiştir. Son kat uygulaması da üretici firma önerileri doğrultusunda m^2 'ye 130 gr vernik gelecek şekilde ve her katta %5 su katılarak, katlar arasında 600 nolu zımpara yapılarak 2 kat olarak sürülmüş ve üç hafta süre ile kurumaya bırakılmıştır. Kuruduktan sonra deneylerden önce ASTM D 3924 esaslarına göre $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve % 50 ± 5 bağıl nemdeki iklimlendirme dolabında 16 saat süre ile bekletilmiştir [18].

2.4. Renk Ölçümü (Color Measurement)

Renk ölçümleri, ASTM D 2244'de belirtilen esaslara göre MİNOLTA CR-231 renk ölçme cihazı ile yapılmıştır [19]. Cihazın renk ölçüm başlığı 45° lik aydınlatmayı ve 0° lik açı geometrisini kullanır. Ölçme başlığı parlak yüzeyler için uygundur. Ancak aşırı parlak yüzeyler ölçmede hatalara neden olabilir. Çünkü ışığın çoğu 45° lik açı ile yansıtılacak ve böylece optik fiber kabloya girmeyecektir [20]. 1976 yılında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)) tarafından CIELAB renk aralığı tanımlanmıştır. Bu sistemde renk, 3 boyut içinde bir nokta olarak temsil edilmektedir [21].

CIE $L^*a^*b^*$ renk sisteminde, renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L^* , a^* , b^* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L^* siyah-beyaz (siyah için $L^*=0$, beyaz için $L^*=100$) ekseninde, a^* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b^* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır [22]. Şekil 1'de gösterilen renk alanında L^* koordinatı dikey eksen (y), a^* koordinatı yatay (x) eksenini ve b^* koordinatı da (z) eksenini oluşturmaktadır. CIEL* a* b* renk sisteminde, iki renk arasındaki farkı hesaplamak için; $[\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}]$ formülü kullanılmaktadır [21].



Şekil 1. CIE $L^*a^*b^*$ renk alanı (color space)

ΔE^* 'nin düşük değerde olması, rengin değişmediği ya da çok az değişim olduğunu göstermektedir [22].

2.5. Verilerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Data)

Renk farklılığına ilişkin değerlere, varyans analizi uygulanarak; denenen faktörlerin; ağaç türü, ısı işlem ve vernik çeşidinin önemli olup olmadığı ortaya konulmuştur. Etkisi önemli bulunan faktör ve faktör etkileşimlerine Duncan testi uygulanarak homojen gruplar tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, MSTAT-C istatistik programı kullanılarak ve %95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiş ve bunlar arasındaki istatistiksel farklılık varyans analizi ile ortaya konulmuştur.

3. BULGULAR (RESULTS)

3.1. Toplam Renk Değişimi (Total Color Change)

Isıl işlem çeşidinin vernikli toplam renk değişimine (ΔE^*) etkisini belirlemek amacıyla yapılan ölçümlerde elde edilen ısı işlemsiz ve işlemlilerle değerleri ile bunların farklarına ilişkin ortalama değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Vernikli toplam renk değişimi (ΔE^*) ısı işlemsiz ve işlemlilerle ölçümleri ile bunların farklarına ilişkin ortalama değerler (The varnish total color change (ΔE^*) is calculated from the values of the non-heat treated and processed measurements and their differences)

Ağaç Türü	Vernik Çeşidi	Isıl İşlem Çeşidi (°C / Saat)								
		İşz	165/2 (1)	Fark	165/4 (2)	Fark	175/2 (3)	Fark	175/4 (4)	Fark
Kayın	sb	10.23	21.39	11.16	15.52	5.29	12.41	2.18	15.42	5.19
	sn	33.31	54.83	21.52	48.65	15.34	49.60	16.29	53.14	19.83
	p	22.86	35.71	12.85	30.04	7.18	30.80	7.94	33.00	10.14
Meşe	sb	26.74	26.89	0.15	25.09	-1.65	35.63	8.89	33.85	7.11
	sn	33.04	47.86	14.82	49.49	16.45	51.66	18.62	53.15	20.11
	p	24.19	30.86	6.67	32.06	7.87	35.29	11.1	36.28	12.09
Kavak	sb	11.84	21.01	9.17	25.56	13.72	34.75	22.91	31.08	19.24
	sn	36.21	51.18	14.97	57.71	21.5	60.96	24.75	58.97	22.76
	p	18.48	36.91	18.43	35.86	17.38	40.72	22.24	43.08	24.6
Çam	sb	16.96	10.95	-6.01	14.83	-2.13	14.81	-2.15	12.78	-4.18
	sn	36.88	36.65	-0.23	37.36	0.48	37.78	0.9	35.82	-1.06
	p	24.20	18.41	-5.79	21.65	-2.55	22.78	-1.42	21.30	-2.9
Göknar	sb	12.65	17.10	4.45	18.50	5.85	17.50	4.85	18.45	5.8
	sn	32.77	29.28	-3.49	32.57	-0.2	33.46	0.69	31.42	-1.35
	p	21.54	20.41	-1.13	24.89	3.35	22.58	1.04	23.71	2.17

sb: Su bazlı vernik sn: Sentetik vernik p: Parke verniği
İşz: Isıl işlemsiz (ΔE^*) Fark: Eksi (-) değerler azalma ifade etmektedir.

Ortalama değerler bakımından toplam renk değişimi değeri en yüksek sentetik vernikli 175°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem uygulanan kavakta (60.96), en düşük su bazlı vernikli 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem uygulanan sarıçamda (10.95) çıkmıştır.

Toplam renk değişimi değerleri ağaç türü, ısı işlem ve vernik çeşidine göre farklı bulunmuştur. Farklılıkların

kaynağını belirlemek üzere ağaç türü, ısı işlem ve vernik çeşidinin toplam renk değişimine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi yapılarak sonuçları Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Ağaç türü, ısı işlem ve vernik çeşidinin toplam renk değişimine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi (Multivariate analysis of the effect of wood type, heat treatment and varnish type on total color change)

Faktör	SD	Kareler Toplamı	KO	F Değeri	P $\alpha \leq 0,05$
Ağaç Türü (A)	4	25123.04	6280.76	426.34	0.0000*
Isıl İşlem (B)	4	8726.85	2181.71	148.095	0.0000*
Etkileşim (AB)	16	9601.96	600.123	40.7366	0.0000*
Vernik (C)	2	69637.42	34818.7	2363.50	0.0000*
Etkileşim (AC)	8	6117.63	764.705	51.9085	0.0000*
Etkileşim (BC)	8	725.945	90.743	6.1597	0.0000*
Etkileşim (ABC)	32	1833.19	57.287	3.8887	0.0000*
Hata	675	9943.95	14.732		
Toplam	749	131710			

*: Fark, 0,05'e göre anlamlı, SD : Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması

Buna göre, ağaç türü, ısı işlem çeşidi, vernik çeşidi ve bunların karşılıklı etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($\alpha \leq 0.05$). Toplam renk değişimine ilişkin ortalama değerler ağaç türü, ısı işlem çeşidi ve vernik çeşidine göre Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Ağaç türü, ısı işlem ve vernik çeşidine göre toplam renk değişimi (Total color change according to wood type, heat treatment and varnish)

Ağaç türü	\bar{X}	HG*
Kayın (K)	31.13	C
Meşe (M)	36.14	B
Kavak (Kv)	37.62	A
Sarıçam (S)	24.21	D
Gökmar (G)	23.79	D
Isıl işlem çeşidi (°C/Saat)	\bar{X}	HG*
İşz	24.13	C
165 / 2 (1)	30.63	B
165 / 4 (2)	31.32	B
175 / 2 (3)	33.38	A
175 / 4 (4)	33.43	A
Vernik çeşidi	\bar{X}	HG**
Sentetik vernik (sn)	43.35	A
Parke verniği (p)	28.30	B
Su bazlı vernik (sb)	20.08	C

*:LSD= ±0.8701 **:LSD= ±0.6739, HG:Homojenlik Grubu İşz:Isıl İşlemsiz

Toplam renk değişimi; en yüksek kavakta (37.62), 175°C sıcaklıkta 4 saat ısı işlem varyasyonunda (33.43) ve sentetik vernikte (43.35), en düşük göknarda (23.79), 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonunda (30.63) ve su bazlı vernikte (20.08) tespit edilmiştir. Sarıçam ile göknarda yaklaşık eşit çıkmıştır. Aynı sıcaklıkta farklı sürelerdeki ısı işlem sonuçları yaklaşık eşit çıkmıştır. Isıl işlemsiz örnekler için ısı işlem uygulamasının toplam renk değişimini arttırdığı söylenebilir. Toplam renk değişimine ilişkin ortalama değerler ağaç türü-ısı işlem çeşidine göre Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Ağaç türü-ısı işlem çeşidine göre toplam renk değişimi (Total color change according to type of wood-heat treatment cement)

Ağaç Türü	İşz		165 / 2 (1)		165 / 4 (2)		175 / 2 (3)		175 / 4 (4)	
	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG
Kavak (Kv)	22.17	I	36.37	C	39.7	B	45.4	A*	44.3	A
Meşe (M)	27.99	F	35.20	CD	35.5	CD	40.8	B	41.0	B
Kayın (K)	22.13	I	37.31	C	31.4	E	30.9	E	33.8	D
Gökmar (G)	22.32	I	22.26	I	25.3	GH	24.5	GH	24.5	GH
Sarıçam (S)	26.01	G	22.00	I**	24.6	GH	25.1	GH	23.3	HI

LSD : ± 1,946, * : En yüksek (AE*) ** : En düşük (AE*)

Ağaç türü-ısı işlem çeşidine göre kavak odununda toplam renk değişimini 36.37 değeri ile en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yaparken, en yüksek 45.48 değeri ile 175°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yapmıştır. Meşe odununda toplam renk değişimini 35.20 değeri ile en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yaparken, en yüksek 41.09 değeri ile 175°C sıcaklıkta 4 saat ısı işlem varyasyonu yapmıştır. Kayın odununda toplam renk değişimini 30.94 değeri ile en düşük 175°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yaparken, en yüksek 37.31 değeri ile 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yapmıştır. Gökmar odununda toplam renk değişimini 22.26 değeri ile en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yaparken, en yüksek 25.32 değeri ile 165°C sıcaklıkta 4 saat ısı işlem varyasyonu yapmıştır. Sarıçam odununda toplam renk değişimini 22.00 değeri ile en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yaparken, en

yüksek 25.12 değeri ile 175°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem varyasyonu yapmıştır. Bu sonuçlara göre en yüksek toplam renk değişimi 175°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlemli kavakta, en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlemli sarıçamda bulunmuştur. Isıl işlemsiz örnekler için ısı işlem uygulamasının toplam renk değişimini sarıçamda azalttığı, diğer ağaçlarda arttırdığı söylenebilir. Toplam renk değişimine ilişkin ortalama değerler ağaç türü-vernik çeşidine göre Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Ağaç türü-vernik çeşidine göre toplam renk değişimi (Total color change according to type of wood-varnish)

Ağaç Türü	Su bazlı vernik (sb)		Sentetik vernik (sn)		Parke verniği (p)	
	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG
Kavak (Kv)	24.85	G	53.0	A*	35.0	D
Meşe (M)	29.64	F	47.0	B	31.7	E
Kayın (K)	14.99	J	47.9	B	30.4	EF
Sarıçam (S)	14.06	J**	36.8	C	21.6	H
Gökmar (G)	16.84	I	31.9	E	22.6	H

LSD : ± 1,507, * : En yüksek (AE*) ** : En düşük (AE*)

Ağaç türü-vernik çeşidine göre, her beş ağaç türünde su bazlı vernik en düşük toplam renk değişimi yaparken, sentetik vernik ise en yüksek değeri yapmıştır. Bu sonuçlara göre en yüksek toplam renk değişimi sentetik vernikli kavakta (53.01), en düşük su bazlı vernikli sarıçamda (14.06) bulunmuştur. Tüm ağaçlar için toplam renk değişimi sıralamasının büyükten küçüğe doğru sentetik, parke ve su bazlı vernik olduğu söylenebilir. Toplam renk değişimine ilişkin ortalama değerler ısı işlem-vernik çeşidine göre Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Isıl işlem-vernik çeşidine göre toplam renk değişimi (Total color change according to heat treatment-varnish cement)

Isıl İşlem Çeşidi (°C/Saat)	Su bazlı vernik (sb)		Sentetik vernik (sn)		Parke verniği (p)	
	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG	\bar{X}	HG
İşz	15.6	H	34.4	C	22.2	F
165 / 2 (1)	19.4	G**	43.9	B	28.4	E
165 / 4 (2)	19.9	G	45.1	AB	28.9	E
175 / 2 (3)	23.0	F	46.6	A*	30.4	D
175 / 4 (4)	22.3	F	46.5	A	31.4	D

LSD : ± 1,507, * : En yüksek (AE*) ** : En düşük (AE*)

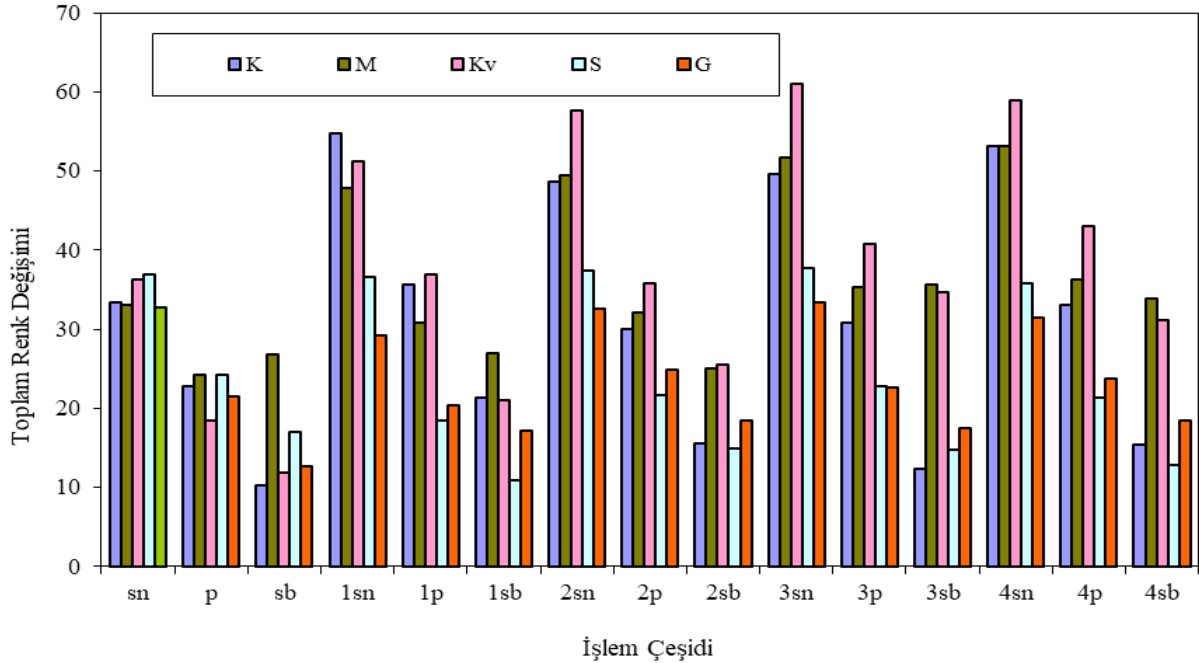
Isıl işlem-vernik çeşidine göre, hem ısı işlemsizde hemde her 4 ısı işlem varyasyonunda su bazlı vernik en düşük toplam renk değişimi yaparken, sentetik vernik ise en yüksek değeri yapmıştır. Bu sonuçlara göre en yüksek toplam renk değişimi 175°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem uygulanmış sentetik vernikli örneklerde (46.69), en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısı işlem uygulanmış su bazlı vernikli örneklerde (19.47) bulunmuştur. Isıl işlemsiz örnekler için ısı işlem uygulamasının toplam renk değişimi değerini arttırdığı, hem ısı işlemsizde hemde ısı işlem varyasyonlarında toplam renk değişimi sıralamasının büyükten küçüğe doğru sentetik, parke ve su bazlı vernik olduğu söylenebilir. Ağaç türü-ısı işlem-vernik çeşidinin toplam renk değişimine etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Ağaç türü-ısıll işlem-vernük çeşidinin toplam renk değişimine etkilerine ilişkin Duncan testi sonuçları (Duncan test results on the effect of wood-heat-treatment-lacquer type on total color change)

İşlem çeşidi	\bar{X}	HG	İşlem çeşidi	\bar{X}	HG	İşlem çeşidi	\bar{X}	HG
Kv3sn	60.96	A*	M3p	35.29	HJKLM	S3p	22.78	STUV
Kv4sn	58.97	A	Kv3sb	34.75	HJKLMN	G3p	22.58	TUV
Kv2sn	57.71	AB	M4sb	33.85	HJKLMN	S2p	21.65	TUVW
K1sn	54.83	BC	G3sn	33.46	IJKLMNO	Gp	21.54	TUVW
M4sn	53.15	CD	Ksn	33.31	IJKLMNO	K1sb	21.38	UVWX
K4sn	53.14	CD	Msn	33.04	JKLMNOP	S4p	21.30	UVWX
M3sn	51.66	CDE	K4p	33.00	JKLMNOP	Kv1sb	21.01	UVWXY
Kv1sn	51.18	CDE	Gsn	32.77	JKLMNOP	G1p	20.41	VWXYZ
K3sn	49.60	DE	G2sn	32.57	KLMNOP	G2sb	18.50	WXYZa
M2sn	49.49	DE	M2p	32.06	LMNOP	Kvp	18.48	WXYZa
K2sn	48.65	E	G4sn	31.42	MNOP	G4sb	18.45	WXYZa
M1sn	47.85	E	Kv4sb	31.08	NOP	S1p	18.41	WXYZa
Kv4p	43.08	F	M1p	30.86	NOP	G3sb	17.50	XYZa
Kv3p	40.72	FG	K3p	30.80	NOP	G1sb	17.10	YZa
S3sn	37.77	GH	K2p	30.04	OPQ	Ssb	16.96	Za
S2sn	37.36	GHI	G1sn	29.28	PQ	K2sb	15.52	b
Kv1p	36.91	HIJ	M1sb	26.89	QR	K4sb	15.42	b
Ssn	36.88	HIJ	Msb	26.74	QRS	S2sb	14.83	c
S1sn	36.64	HIJK	Kv2sb	25.56	RST	S3sb	14.81	c
M4p	36.28	HIJK	M2sb	25.09	RSTU	S4sb	12.78	d
Kvsn	36.21	HIJK	G2p	24.89	RSTU	Gsb	12.65	d
Kv2p	35.86	HIJKL	Sp	24.20	RSTUV	K3sb	12.41	d
S4sn	35.82	HIJKL	Mp	24.19	RSTUV	Kvsb	11.84	e
K1p	35.71	HIJKL	G4p	23.71	RSTUV	S1sb	10.95	g**
M3sb	35.63	HIJKL	Kp	22.86	STUV	Ksb	10.23	f

LSD : ± 3.370, *: En yüksek (AE*) **: En düşük (AE*)

En yüksek toplam renk değişimi 175°C sıcaklıkta 2 saat ısıll işlem uygulanmış sentetik vernikli kavakta (60.96) görülürken, en düşük 165°C sıcaklıkta 2 saat ısıll işlem uygulanmış su bazlı vernikli sarıçamda (10.95) bulunmuştur. Ağaç türü-ısıll işlem-vernük çeşidine göre toplam renk değişimleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ağaç türü-ısıll işlem-vernük çeşidine göre toplam renk değişimleri (Total color change by heat treatment-wood-type varieties)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Isıll işlem çeşidine göre toplam renk değişimi ısıll işlemsiz örneklere göre en yüksek 175/4 (°C/Saat)’de (%38.5), en düşük 165/2 (°C/Saat)’de (%26.9) artmıştır. Isıll işlem uygulaması toplam renk değişiminin artmasına sebep olmuştur. Sıcaklık artışı toplam renk değişiminin artmasına sebep olurken, aynı sıcaklıkta süre arttıkça toplam renk değişimi (ΔE^*) matematiksel olarak artmış, bu artış istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Vernük çeşidine göre, toplam renk değişimi en yüksek sentetik vernükte (43.35), en düşük su bazlı vernükte (20.08) elde edilmiştir. Su bazlı vernüklerin, beş ağaç türünde, tüm ısıll işlem varyasyonlarında ve ısıll işlemsiz örneklerde diğer vernüklere göre daha az renk değiştirici etki yaptığı belirlenmiştir. Literatürde toplam renk değişimi değerinin (ΔE^*) düşük değerde olması rengin değişmediği ya da çok az değiştii anlamına gelmektedir [22].

Ağaç türü-ısıll işlem-vernük çeşidine göre en düşük toplam renk değişimi 165°C sıcaklıkta 2 saat ısıll işlem uygulanmış su bazlı vernikli sarıçamda (10.95) bulunmuştur. Sarıçamın en az değişim göstermesi açık renkli olduğundan, odununun sararma eğilimine açık olmasından kaynaklanabilir.

Bu sonuçlara göre farklı ağaç ve vernüklerin kullanımına bağlı olarak en düşük toplam renk değişimi (ΔE^*) için

Çizelge 9. En düşük toplam renk değişimi (ΔE^*) için uygulanabilir ısı işlemler (Applicable heat treatments for lowest total color change (ΔE^*))

Vernik	Ağaç türü				
	KAYIN	MEŞE	KAVAK	SARIÇAM	GÖKNAR
Su bazlı vernik (sb)	175/2 (3)	165/4 (2)	65/2 (1)	165/2 (1)	165/2 (1)
Sentetik vernik (sn)	165/4 (2)	165/2 (1)	65/2 (1)	175/4 (4)	165/2 (1)
Parke verniği (p)	165/4 (2)	165/2 (1)	65/4 (2)	165/2 (1)	165/2 (1)

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2013-024 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Korkut S., Korkut D.S., Bekar İ., “Okalıptüs (Eucalyptus camaldulensis Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi”, *I. Ulusal Okalıptüs Sempozyumu*, 209-214, Tarsus (2008).
- [2] Tomak E.D., Yıldız Ü.C., “Odunun Kimyasal Modifikasyonu”, *III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi*, Artvin, 4:1681-1690 (2010).
- [3] Wikberg H., “Advanced Solid State NMR Spectroscopic Techniques in the Study of Thermally Modified Wood”, *Academic Dissertation*, University of Helsinki, Department of Chemistry, Laboratory of Polymer Chemistry, Helsinki-Finland (2004).
- [4] Enjily V., Jones D., “The potential for modified materials in the panel products industry”, *Wood Resources and Panel Properties Conference*, COST Action E44/E49, Valencia, Spain, 12-14 June, (2006).
- [5] Korkut S., Kocaefe D., “Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi”, *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5(2): 11-34 (2009).
- [6] Aydemir D., Gündüz G., “Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekanik ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(15): 71-81, ISSN: 1302-0943 (2009).
- [7] Bekhta P., Niemi P., “Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood”, *Holzforchung*, 57 (5): 539-546 (2003).
- [8] Çakıcıer N., Korkut S., Güler F.D., “Effects of heating treatment on some of the physical properties of varnish layers applied on various wood species”, *African Journal of Biotechnology*, 10(9): 1578-1585 (2011).
- [9] Edlund M.L., Jermer J., “Durability Of Heat-Treated Wood”, *Final Workshop COST Action E22 - Environmental Optimisation of Wood Protection*, Lisboa-Portugal (2004).
- [10] Ishiguri F., Masubuchi N., Yokota S., Yoshizawa N., “Changes in the physical and chemical properties of six Japanese softwoods caused by lengthy smoke - heating treatment”, *Journal of Wood Science*, 51: 161-166 (2005).
- [11] Johansson D., Mor'en T., “The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, (64): 104-110 (2006).
- [12] Karakaş G., “Ahlat (Pyrus elaeagnifolia Pall.) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi”, Z.K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Bartın (2008).
- [13] Özçiğci A., Altun S., Yapıcı F., “Isıl İşlem Uygulanmış Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye (2009).
- [14] Unsal O., Korkut S., Atik A., “The Effect of Heat Treatment on Some Properties and Colour in Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis Dehn.) Wood”, *Maderas Ciencia y tecnologia*, 5(2): 145-152 (2003).
- [15] TS 53, “Odunun fiziksel özelliklerini tayin için numune alma, muayene ve deney metotları”, *T.S.E.*, Ankara, 1-5 (1981).
- [16] TS 2470, “Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyle İlgili Numune Alma Metotları ve Genel Özellikleri”, *T.S.E.*, Ankara, 1-5 (1976).
- [17] ASTM D 3023, “Standard practice for determination of resistance of factory - applied coatings on wood products to stains and reagents”, *ASTM Standards*, 1-3 (1998).
- [18] ASTM D 3924, “Standard Specification for Standart Environment for Conditioning and Testing Point Varnish, Lacquer and Related Materials”, *ASTM Standards*, USA, (1991).
- [19] ASTM D 2244, “Standard Practice for Calculation or Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates”, *ASTM Standards*, A.B.D., 1-13 (2007).
- [20] Anonim, “Minolta CR-231 Chromometer, ver 3.0.”, *Cihaz Kullanma Klavuzu*, Ankara (2000).
- [21] Çağlar A., Yamanel K., “Diş renginin belirlenmesinde kullanılan yöntemler”, *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 2(1): 49-54 (2007).
- [22] Söğütü C., Sönmez A., “Değişik Koruyucular ile İşlem Görmüş Bazı Yerli Ağaçlarda UV Işıklarının Renk Değiştirici Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Dergisi*, 21(1): 151-159 (2006).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Karayolu ulaşımında farklı yol kaplamalarının çevresel gürültü seviyesine katkılarının incelenmesi: Adana örneği

Investigation of contribution of various road pavements to environmental noise level on highways: Adana example

Yazar(lar) (Author(s)): Zeki BOZKURT¹, Zeliha SELEK²

ORCID¹: 0000-0002-5904-4222

ORCID²: 0000-0002-5593-5538

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Bozkurt Z. ve Selek Z, “Karayolu ulaşımında farklı yol kaplamalarının çevresel gürültü seviyesine katkılarının incelenmesi: Adana örneği”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 415-429, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417762

Karayolu Ulaşımında Farklı Yol Kaplamalarının Çevresel Gürültü Seviyesine Katkılarının İncelenmesi: Adana Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Zeki BOZKURT ^{1*}, Zeliha SELEK ²

¹Seyhan Belediyesi, Adana, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received :26.01.2018; Kabul/Accepted :06.04.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, karayolu kaplamalarından kaynaklanan gürültünün etkileri incelenmiştir. NMPB Routes 96 karayolu gürültü tahmin modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar SoundPLAN 6.4 programında, gerçekleştirilmiş, araç hızı, trafik yükü değiştirilerek farklı senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolarda, parke taşı kaplama (PTK), düz asfalt kaplama (DAK) ve gözenekli asfalt kaplama (GAK) olmak üzere üç farklı yol kaplaması ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Üç farklı yol kaplaması için, ülkemiz ve Avrupa Birliği mevzuatında belirlenen gündüz-akşam-gece gürültü göstergelerinde ve <55, 55-65, 65-75 ve >75 dBA gürültü seviyelerinde birbirlerine göre durumları, maruz kalınan alan açısından değerlendirilmiştir. Çalışma, Adana il merkezinde bulunan üç farklı bulvar güzergâhında yapılmıştır. Maruz kalınan alan açısından tüm zaman dilimlerinde 55 dBA'nın altında olan gürültü seviyelerinde PTK toplam hesaplama alanı içerisinde en düşük yüzdeye sahip olduğu görülmüştür. Nüfus açısından ise 55 dBA'dan daha düşük gürültü seviyelerinde DAK ve GAK kaplamalarda PTK'ya göre hesaplama alanlarındaki nüfusun daha fazlası maruz kaldığı görülmüştür. Hesaplama alanlarında 55 dBA gürültü seviyesinin altında kalan konutlar değerlendirildiğinde PTK gündüz-akşam-gece zaman dilimlerinde diğer iki yol kaplamasına göre daha düşük bir yüzdeye sahip olduğu görülmüştür. Aşırı gürültü seviyelerine (>75 dBA) maruz kalınan alanlar ve maruz kalınan nüfus tahmin edilerek bu alanlarda bulunan duyarlı yapıların (konut, hastane vb.) ve bu yapılara maruz kalan kişi sayısı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, çevresel gürültü, karayolu gürültüsü, gürültü haritaları, NMPB, SoundPLAN.

Investigation of Contribution of Various Road pavements to Environmental Noise Level on Highways: Adana Example

ABSTRACT

In this study, the noise effects caused by roadway pavement were examined. The calculations made using the NMPB Routes 96 roadway noise estimation model were made in SoundPLAN 6.4 program, vehicle speed and traffic load were changed to create different scenarios. In the scenario, three different road coverings were evaluated and evaluated, including cobblestone paving (PTK), flat asphalt pavement (DAK) and porous asphalt pavement (GAK). For three different road coverage, in daytime-evening-night noise indicators as specified both in our country and the European Union legislation, and at noise levels of <55, 55-65, 65-75 and 75 dBA according to each other, housing. The study was conducted on three different boulevard routes in Adana province center. From the point of view of the exposed area, it has been found that the noise level of less than 55 dBA in all time periods has the lowest percentage of the total calculation area of PTK. In terms of population, noise levels of less than 55 dB A were found to be more exposed in the calculation areas than in the PTK for DAK and GAK coverage. When the residences below the noise level of 55 dBA were evaluated in the calculation areas, PTK was found to have a lower percentage in the daytime-evening-night time period than the other two roads. The areas exposed to extreme noise levels (> 75 dBA) and the exposed population were estimated and the number of sensitive structures (housing, hospitals, etc.) and the number of people exposed to this structure were determined. In addition, the data obtained in the study are mapped.

Keywords: Environmental noise, road noise, noise maps, NMPB, SoundPLAN.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gürültü çevre kirliliğinin görülmeyen bir boyuttur ve insan sağlığını hem psikolojik hem de fizyolojik olarak etkilemektedir. Gürültünün en yaygın ve kabul edilebilir

tanımı istenmeyen yani arzu edilmeyen sestir. Toplu yaşamın gereksinimlerini yerine getirirken ortaya çıkan faaliyetlerden doğan sesler kimi zaman gürültü olarak algılanmaktadır. Özellikle 18. ve 19. yüzyıllarda yeni buluşların üretimde uygulanması ve buhar gücüyle çalışan makinelerin makineleşmiş endüstriyi doğurması sonucunda gerçekleşen sanayi devrimi diğer çevre

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : zelihaselek@gazi.edu.tr

sorunları gibi gürültünün de fark edilmesinde köşe taşı olmuştur. Aslında gürültü sanayi devrimi ile ortaya çıkan ve modern zamanların bir çevre sorunu değildir. Zira Julius Caesar döneminde parke taşı Roma sokaklarında gece saatleri boyunca at arabalarının sürülmesi yasaklanmıştır [1].

Nüfus yoğunluğu yüksek günümüz endüstriyel toplumlarında gürültü kirliliği büyük bir problem olmaktadır. Bu toplumlarda, ulaşımın taşıdığı önem sebebi ile trafik gürültüsü ve bunun içinde özellikle karayolu gürültüsü, en başta gelen gürültü kaynağıdır [2]. Başta ulaşım gürültüsü olmak üzere teknoloji artışı olarak ortaya çıkan ve 1960'lı yıllardan sonra toplumun çeşitli kesimlerinde rahatsızlık boyutu artan gürültü, üzerinde araştırma yapılması gereken bir rahatsızlık unsuru olarak değerlendirilmektedir. Yapılan araştırmalar gürültünün çevre faktörüne bağlı olarak insan ve toplum sağlığı üzerinde büyük bir risk oluşturduğunu ve kentlerde gürültüden doğrudan etkilenen kişi sayısının giderek arttığını ortaya koymuştur. AB nüfusunun %20'sinin 65 dBA'nın, %40'nın 55 dBA'nın üzerinde ulaşım gürültüsüne maruz kaldığı bilinmektedir[3].

Son yıllarda Avrupa Birliği üyeliği sürecinde her alanda olduğu gibi çevre alanında da çalışmaların içinde gürültü üzerine çalışmalar göze çarpmaktadır. Ülkemizde AB'nin 2002/49/EC nolu Çevresel Gürültü Direktifine uyumlu olarak Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 01.07.2005 tarih, 25862 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi (ÇGDY) Yönetmeliği" ile AB'ye uyum süreci içindeki gerekli düzenlemeyi yapmıştır. AB'nin 2002/49/EC nolu Çevresel Gürültü Direktifi doğrultusunda hazırlanan ÇGDY Yönetmeliğinin amacı "çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin huzur ve sükûnunun, beden ve ruh sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktır". 2005'de hazırlanarak yürürlüğe giren yönetmeliğin ardından uygulama süreci içinde ortaya çıkan eksiklikler, ülkemizin yapısından kaynaklanan özel durumlar vb. gereksinimlerden dolayı söz konusu yönetmelik 07.03.2008, 04.06.2010 ve 27.04.2011 tarihlerinde Resmi Gazetede yayımlanarak revize edilmiştir. ÇGDY Yönetmeliği Madde 18'de karayolundan çevreye yayılan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin sınır değerler bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII Tablo-1'de belirtilmiştir. Karayollarından kaynaklanan çevresel gürültü seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII'de yer alan sınır değerleri aşamaz [4].

Avrupa Komisyonu'nun "Gürültü" konusunda oluşturduğu beş ayrı çalışma grubundan biri, gürültü haritalarına yönelik olarak çalışmaktadır. Değişik ülkelerden katılımcıların yer aldığı ve 1998 yılında çalışmalarına başlayan grubun temel amacı, gürültü haritalarının oluşturulmasına yönelik bir yönerge hazırlamaktır. Ayrıca, uluslararası ölçekte, gürültü düzeylerinin ve etkilerinin belirlenmesini içeren bir bilgi bankasının oluşturulması da amaçlanmaktadır [5].

Almanya'da, yalnızca karayolu trafik gürültüsünün değerlendirilmeye alındığı ölçmeye dayalı gürültü haritalarının hazırlanmasına 1960'lı yıllarda başlanmıştır. 1970'li yıllarda ise, gürültü düzeyini tahmin model ve yöntemleri geliştirilmeye başlanmış, özellikle 1990 yılından sonra, bilgisayar programları yardımı ile haritaların çok daha hızlı, hassas ve ayrıntılı oluşturulması olanaklı duruma gelmiştir. 1980 yılına kadar Almanya'da yer alan 40 şehir ve kasabanın gürültü haritası oluşturulurken bu sayı, 1992'ye kadar 350'ye ulaşmıştır [6]

Ho vd. yaptıkları çalışmada lastik/yol gürültüsüne yol kaplamaların ve lastik bozulmasının etkilerini incelemişlerdir [7]. Trafik gürültüsünü azaltmak için yol kaplamaları ve lastiklerin düşük gürültüye sebep olacak tiplerinin gürültüye duyarlı alanlarda kullanımı benimsenmiştir. Fakat bu gürültü seviyesini azaltacak lastiklerin ve yol kaplamalarının dayanıklılık ve sağlamlık açısından tereddütler vardır. Çalışmada ölçülen beş tür düşük gürültü yüzey kaplamasının lastik/yol gürültüsüne yılda 1.2-1.5 dB(A) bir katkısı olduğu görülmüştür. Lastiklerin kauçuk sertliği ayda yaklaşık 0.6 ile 1 değerlik gürültü artışına neden olmaktadır. Lastik/yol gürültü seviyesindeki artış yol yüzeyi kaplamasına bağlı olarak her bir birim için 0,08-0,48 dB(A)'lık fark oluşturmaktadır. Lastik/yol gürültüsünün artışına test lastiğinin deformasyonuna bağlı olarak yılda 0,6 dB (A) etkisi olmaktadır.

Freitas vd. yaptıkları çalışmada farklı yol tipleri, araç hızları ve trafik yoğunluğunun trafik gürültüsüne etkilerini araştırmışlardır [8]. Çalışmada araç hızları ve trafik yoğunluğu açısından parke taşları, yoğun asfalt ve asfalt kauçuk kaplamaların rahatsızlık derecesi açısından trafik gürültüsüne etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda parke taşı kaplamaların gürültü açısından en rahatsız edici olduğu tespit edilmiştir. Yoğun asfalt, asfalt kauçuk kaplamaya göre daha az gürültü rahatsızlığı oluşturuyor olmasına rağmen bu farklılık istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Trafik yoğunluklarının artışında olduğu gibi daha yüksek araç hızları da daha fazla gürültü rahatsızlıklarına yol açar.

Praticò ve Lédée yapmış oldukları çalışmada trafik gürültüsünü azaltmak için kaplamaların kullanımını incelemişlerdir [9]. Çalışmada farklı kaplamalar analiz edilmiş ve gürültü özellikleri açısından listelenmiştir. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki gürültünün azaltılması için yeni ürünlerin geliştirilmesi daha geniş kullanım alanı için gerekli ve faydalı olabilir.

Donavan yapmış olduğu çalışmada gözenekli kaplamanın yol kenarındaki gürültü seviyesine etkisini incelemiştir [10]. Gözenekli kaplamalar üzerindeki önceki ses çalışmalarının sonuçları ile yol-lastik kaynak seviyeleri karşılaştırıldığında, ilave 3.4 ve 4.1 dB'lik azalmanın gözenekli kaplama tarafından sağlandığı sonucuna varmıştır.

Chu vd. yapmış oldukları çalışmada aşınma tabakaları tiplerinden biri olan gözenekli asfalt kaplamalarda ses emiliminin iyileştirilmesini incelemişlerdir [11].

Çalışmada sırası ile %12, %16, %20 ve %25 olmak üzere dört ayrı gözenek oranı test edilmiştir. Karışımların ses absorpsiyonu ve lastik kaplama gürültü azaltma kabiliyetinin etkinliği, deneme kesitlerinin laboratuvar verileri ve alan ölçümleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüzde gözenekliliğin %25'ten %12'ye değiştirilmesinin, ses emiliminin frekans özelliklerinde bazı değişikliklere neden olduğunu, ancak lastik kaplama gürültüsünün azaltılmasına olan katkılarında göz ardı edilebilir değişikliklere neden olduğunu bulmuştur. Diğer yandan, karışımlardaki gözeneklerin tıkanması, hem ses emme katsayılarında hem de lastik kaplama gürültüsü azaltmalarında gözle görülür bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir.

Ding ve Wang yapmış oldukları çalışmada, sonlu elemanlar metodu-sınır elemanı (FEM-BEM) analizi ile birleştirilmiş modelleme yaklaşımı kullanılarak, kaldırım yüzeyinin ve gözenekli yüzeyin, lastik kaplama gürültüsü üzerindeki etkileri araştırılmıştır [12]. Çalışmada daha yüksek doku seviyelerine sahip yüzey tipi, hem gözenekli hem de gözeneksiz yüzeyler için genellikle daha fazla gürültü ürettiği ancak aynı yüzey dokusu koşulu altında gözenekliliğin artmasıyla gürültünün azaldığı belirtilmektedir. Bununla birlikte, gözenekli kaplamaların farklı ses emilim katsayılarına bağlı gürültü değişimi, yüzey dokusunun gürültü üzerindeki etkisi kadar önemli olmadığı çalışmada ifade edilmektedir.

Ülkemizde de son yıllarda çevresel gürültü konusunda üniversite ve ilgili kurum-kuruluşlarda çalışmalar yapılmış olup özellikle bu çalışmaların bir kısmı karayolundan kaynaklanan çevresel gürültü bileşenlerini ele alıp değerlendirmiştir. [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]

Bu çalışmanın amacı, karayolu gürültü kaynağının azaltılması için karayolu kaplamalarının trafik özellikleri ile beraber değerlendirilmesidir. Böylelikle yol dışında herhangi bir fiziki yapı (gürültü bariyeri vb.) yapılmadan gürültüdeki değişimlerin ne şekilde değiştiği görülmeye çalışılacaktır. Böylelikle özellikle planlama aşamasındaki yolların seçimlerinde güzergâhların tespitinden, yol yüzeyi kaplamasının türüne kadar tüm değişkenlerin karayolu ulaşımından kaynaklanan çevresel gürültü değişimindeki etkileri ortaya çıkmış olacaktır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Karayolu gürültüsü standartları birçok ülkede uygulanmaktadır. Bir karayolunda açığa çıkan gürültü tüm standartlar tarafından bir geniş bant ses olarak hesaplanmaktadır. Araçların lastik, motor, şanzıman ve egzoz gürültüleri birbirinden ayrı olarak değil, bütün halinde değerlendirilmektedir. Kamyonlar ve yolcu taşıtları için hıza bağlı olarak değişmeyen, aynı frekans değeri kullanılır. Tüm modeller bir kaynak ve bir de yayılım modeli olarak iki kısma ayrılır. Karayolu için emisyon gürültü düzeyi (temel gürültü düzeyi olarak da adlandırılır), tanımlanan trafik parametrelerine göre belli

bir referans uzaklığında hesaplanır. Gürültü tanımlaması için ses enerjisi kullanılmamaktadır. Ancak burada belirtilen referans uzunluğu da her standartta farklı şekilde belirtilmektedir. 10, 12,5, 15 ve 25 m gibi örnekler mevcuttur.

2002/49/EC sayılı Avrupa Birliği Direktifinde [25], Fransa'da trafik gürültüsü tahmini, modellemesi ve hesaplanmasında kullanılan Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit "NMPB-Routes 96" isimli yöntemin kullanılması önerilmiştir. Bu yöntem, Fransa Ulaştırma Bakanlığı ve farklı enstitüler "CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes), LCPC (Laboratoire central des ponts et chaussées.), LRPC (steer the regional civil engineering inter-laboratory committee)" tarafından 1980'deki "Guide de Bruit" metodu etrafında geliştirilmiştir [26]. Ayrıca, yöntem ISO 9613'ün önerdiği meteorolojik koşulları ve uzun mesafeleri de ($d > 250m$) dikkate almaktadır.

Bu çalışmada kullanılan NMPB-Routes 96 gürültü tahmin modeli 125 Hz ve 4 kHz arasındaki oktav bantlarda (1/1 Oktav) uygulanıp çizgisel kaynakların noktasal kaynaklara dönüştürülmesi prensibine dayanır. Modelde gürültü kaynaklarının yol yüzeyinden 0,5 m yükseklikte olduğu varsayılır.

Ayrıca, model yola dik olarak 800 m mesafe içerisindeki yerden en az 2 m yükseklikte alıcı noktaları için uygulanır. Bu yöntem günümüzde SoundPLAN, CadnaA ve 01 dB gibi gelişmiş ticari yazılımlarda da en çok kullanılan Trafik Gürültüsü Modellerinden (Traffic Noise Model-TNM) biridir. 2000 yılında, SETRA'nın talebi üzerine NMPB-Routes-96 metodu tekrardan gözden geçirilerek NMPB Routes-2008 şeklinde revizyona uğramıştır [27].

Hesaplamalarda kullanılan ızgara interpolasyonu; min/maks (dB): 10, fark (dB):0.15, alan büyüklüğü 9x9, ızgara aralığı ise 5 m olarak alınmıştır. Çizgisel kaynaktan noktasal kaynağa ayırma ilkesi çerçevesinde yol $\leq 10^\circ$ eşit açılara ya da alıcı ile kaynak arasındaki eğik uzaklığın yarısından az olmamak üzere ≤ 20 m'lik sabit uzunluklara bölünür. Noktasal kaynak her bir parçanın orta noktası esas alınmak üzere yerden 0.5 m yükseklikte kabul edilir. Çizgisel kaynaklar noktasal kaynaklara ayrılırken yukarıda anlatılan şartları sağlamakla beraber akustik anlamda da homojen parçalara ayrılmalıdır. Yani yol genişliği, kaplama, şerit sayısı, trafik özellikleri bakımından değişiklik göstermemelidir. Kullanılan yöntemle ait hesap adımları ile ilgili detaylı bilgilere Bozkurt tarafından hazırlanan doktora tezinden ulaşılabılır [28].

Çalışma alanı olarak Adana Büyükşehir Belediye sınırları içerisinde kalan ve taşıt yükü bakımından yoğun olan Ali Bozdoğan, Turgut Özal ve Kenan Evren olmak üzere üç ana güzergâh seçilmiştir (Şekil 1).

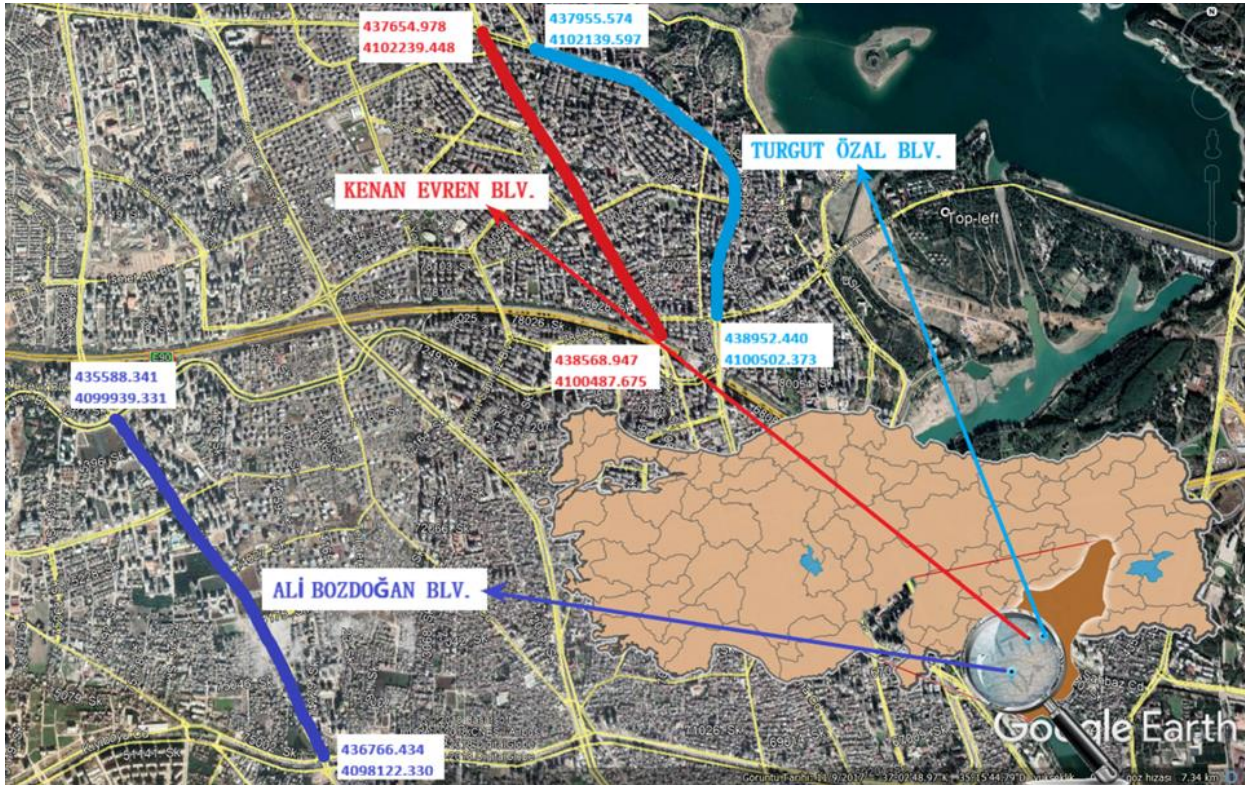
Bu üç güzergâhın yol genişliği, eğimi gibi topoğrafik unsurları sabit kalmak üzere trafik yükü, kompozisyonu, taşıt hızları ve de çalışmaya konu olan yüzey kaplamaları

değiştirilmek sureti ile oluşturulan altı farklı senaryoya göre hesaplamalar yapılmıştır.

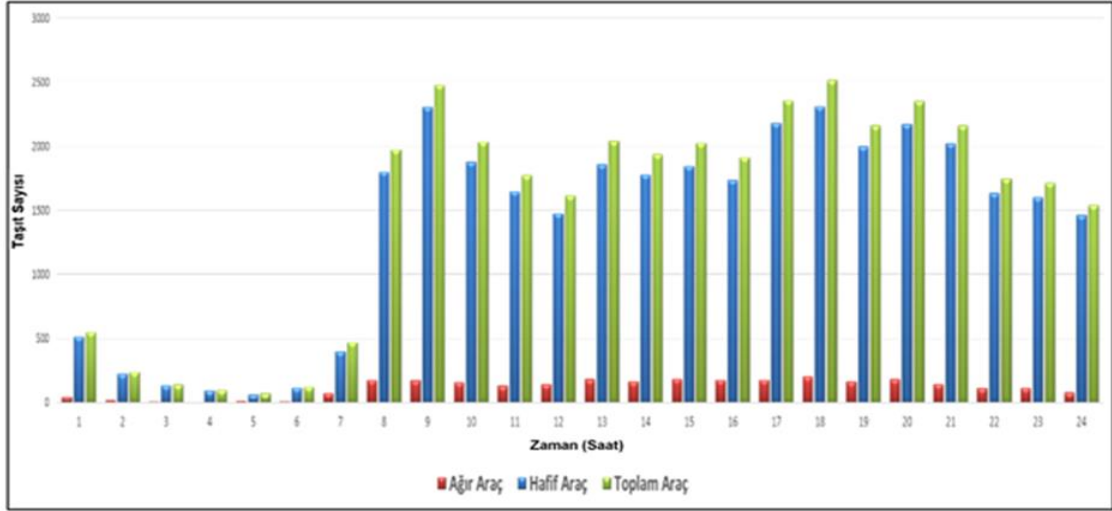
Çalışmada Adana merkezinde belirlenen üç güzergahın etrafındaki alanlar ve yapılaşma durumu bakımından (bina yoğunluğu, yol aksına uzaklık vb.) birbirinden farklı alanlar olmasına dikkat edilmiştir. Çalışma alanlarının ncz, cad, dxf vb. uzantılardaki topografik veri, arazi kullanımı, binaların konumu, binaların yükseklikleri, binaların kullanım amacı, gürültü kaynağının koordinatları, kaynak ve alıcı arasındaki arazi tipi gibi sayısal haritalar, Seyhan Belediyesi'nden temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan güzergahların sağ ve solundan (refüjden itibaren) 200 m olmak üzere toplam 400 m'lik bir bant hesaplama alanı olarak ele alınmış ve bu alan içindeki bina, nüfus vb. değişkenler hesaplamalarda kullanılmıştır. Ali Bozdoğan Bulvarı için hesaplama alanı toplam 0.89 km², bina sayısı 513 adet, nüfus 7.629 kişidir. Kenan Evren Bulvarı için hesaplama alanı toplam 0.72 km², bina sayısı 599 adet, nüfus 28.942 kişidir. Son olarak Turgut Özal Bulvarı için ise toplam hesaplama alanı 0.98 km², bina sayısı 828 adet, nüfus 32.832 kişidir.

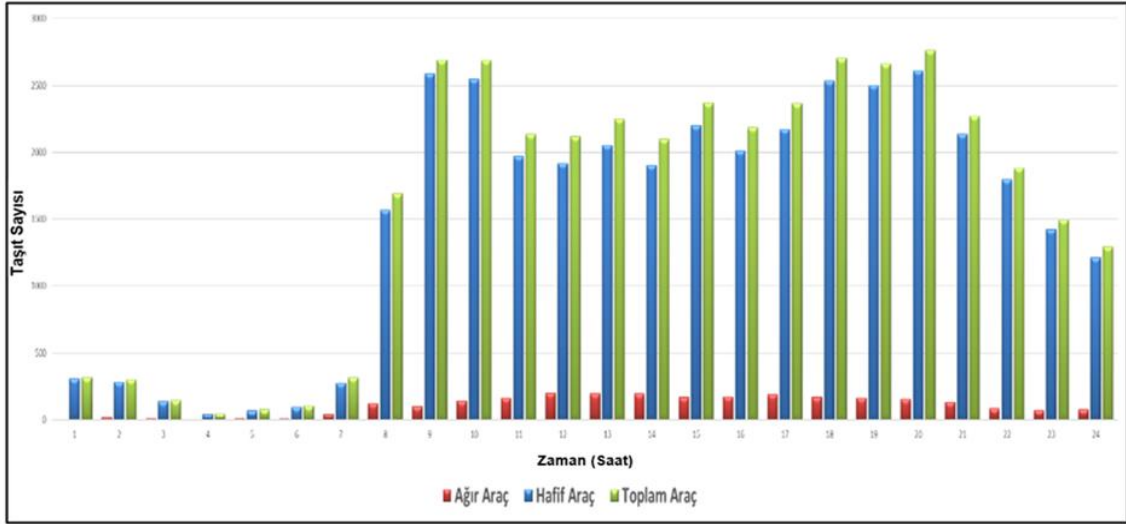
Emniyet Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2012 verilerine göre Adana İlinde toplam 508.751 adet motorlu taşıt bulunmaktadır. Bu sayının 120.813 adetini motosikletler oluşturmaktadır. Geriye kalan 387.938 adet motorlu taşıtın 320.290 âdeti hafif vasıta (otomobil, minibüs, kamyonet vb.), 67.648 âdeti ise ağır vasıta (otobüs, kamyon, traktör, özel amaçlı taşıt vb.) [29]. Çalışma alanlarındaki trafik yükünün tespiti veri toplamadaki en önemli adımdır. Zira araçların zamana bağlı olarak değişen tip ve sayıları hesaplama sırasında kullanılan en önemli değişkenlerdir. İl Emniyet Müdürlüğü Muhaberat Elektronik Şube Müdürlüğü bünyesinde oluşturulan Kent Güvenlik Yönetimi Sistemi (KGYS) ve bu sisteme entegre çalışan kameralar tarafından alınan 24 saatlik kayıtlar incelenerek hafta içi günlerde iki hafta boyunca toplam 10 gün Turgut Özal ve Kenan Evren bulvarlarında taşıt sayımları yapılmıştır. On gün boyunca hafif ve ağır vasıta olarak ayrı ayrı yapılan sayımların ortalamaları alınmış ve güzergahın günlük trafik karakterizasyonu belirlenmiştir. Kenan Evren ve Turgut Özal Bulvarları ile ilgili oluşturulan grafikler Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



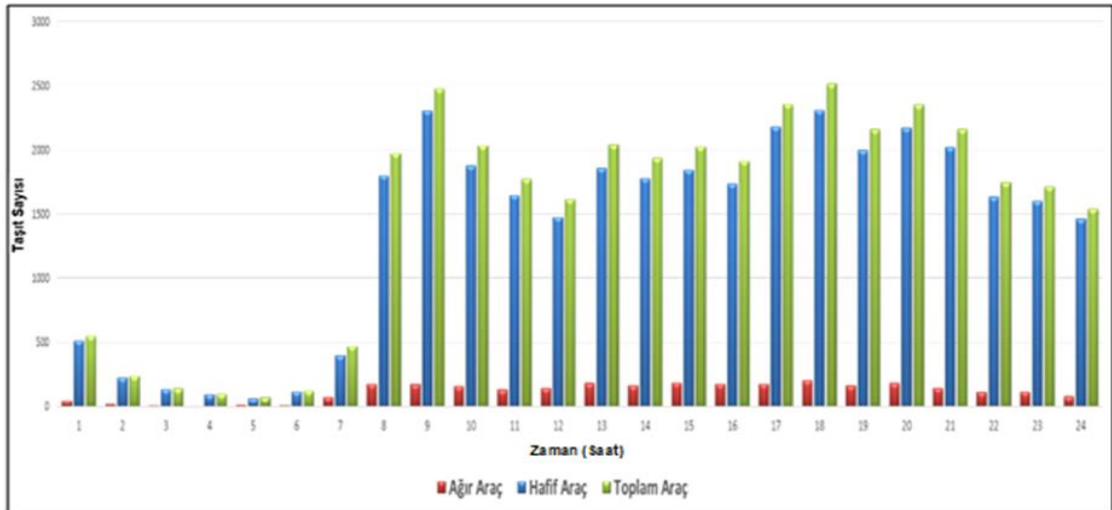
Şekil 1 Çalışma Alanı (Study Area)



Şekil 2 Kenan Evren Bulvarı trafik özellikleri (Traffic characterization of Kenan Evren Boulevard)



Şekil 3 Turgut Özal Bulvarı trafik özellikleri (Traffic characterization of Turgut Özal Boulevard)



Şekil 4 Ali Bozdoğan Bulvarı trafik özellikleri (Traffic characterization of Ali Bozdoğan Boulevard)

Ali Bozdoğan Bulvarı için trafik özellikleri belirlenmesinde bu güzergâhta herhangi bir kamera sistemi olmadığından taşıt sayımları güzergah üzerinde

yapılmıştır. Bu sayımlar, 2012 yılı ve Ekim ayında hafta içi günlerde gündüz, akşam ve gece zaman dilimlerini kapsayacak şekilde yapılmış ve bu güzergahtaki taşıt

sayıları, belirtilen zaman dilimlerindeki ikişer saatlik gözlemler sonucunda elde edilen hafif ve ağır vasıta sayılarının ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Bu

sayımlar sonrasında oluşturulan histogram Şekil 4'te verilmektedir. Tüm çalışma alanlarına ait zamana bağlı taşıt sayımları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1 Çalışma alanları trafik özellikleri (Study areas traffic characteristics)

Zaman Dilimi	Taşıt Türü (Ad/Taşıt)	Güzergahlar		
		Kenan Evren Bulvarı	Turgut Özal Bulvarı	Ali Bozdoğan Bulvarı
Gündüz (07:00-19:00)	Hafif	22.800	25.982	21.166
	Ağır	2.020	1.987	2.044
	Toplam	24.820	27.969	23.210
Akşam (19:00-23:00)	Hafif	7.422	7.969	5.387
	Ağır	548	447	646
	Toplam	7.970	8.416	6.033
Gece (23:00-07:00)	Hafif	2.989	2.419	2.115
	Ağır	235	172	207
	Toplam	3.224	2.591	2.322
GAG (24 Saat)	Hafif	33.211	36.370	28.668
	Ağır	2.803	2.606	2.897
	Toplam	36.014	38.976	31.565

Çalışmada, uluslararası kullanımı oldukça yaygın olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı SoundPLAN 6.4 simülasyon programından yararlanılmıştır. Söz konusu programın, gürültü haritalarının hazırlanması, yapı yüzeylerinde istenen noktalarda oluşan gürültü düzeylerinin saptanması, engel tasarımının yapılması gibi birçok kullanım alanı söz konusudur. Amaca uygun olan standardın seçiminin ardından, hesaplamalar için günün zaman dilimine bağlı olarak, ulaşım yoğunluğu, ağır taşıt yüzdesi, taşıtların ortalama hızları, yol kaplamasının cinsi, yolun eğimi, şerit sayısı vb. veriler programa girilmektedir. Kaynak ses düzeylerinin hesap yolu ile belirlenmesi dışında, doğrudan programa girilmesi de olanaklıdır. Çevreye ilişkin olarak ise, arazi eğimi, zemin cinsi, yeşil alanların özellikleri, engel niteliğinde olan yükseltiler (duvar, tepe gibi), yapıların yükseklikleri ve yansıtıcılık özellikleri vb. gürültü düzeyini etkileyebilecek tüm verilerin girilmesi gereklidir [14].

SoundPLAN 6.4 simülasyon programında seçim listesinde yol yüzey eklemeleri tercihi bulunmaktadır. Bu

tercihte tüm standart yol yüzey tipleri bulunmakla birlikte yer almayan yol yüzeyleri için ise farklı yol tipi seçimi yapılabilmektedir.

Çalışma alanlarının ncz, cad, dxf vb. uzantılardaki topografik veri, arazi kullanımı, binaların konumu, binaların yükseklikleri, binaların kullanım amacı, gürültü kaynağının koordinatları, kaynak ve alıcı arasındaki arazi tipi gibi sayısal haritalar, Seyhan Belediyesi Emlak ve İstimlak Müdürlüğü Harita Bilgi İşlem Birimi'nden temin edilmiştir. Ayrıca, altlık olarak kullanılacak olan çalışma alanlarının gerek uydu gerek ortofoto haritalar, İLBANK Adana Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada belirlenen güzergâhlarda üç farklı yol kaplaması (Şekil 5) değerlendirilmiş ve sonuçların birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Bunlardan ilki geleneksel anlamda normal-düz asfalt kaplama (DAK), ikincisi ise dünya genelinde 1950'lerden buyana kullanılan gözenekli (geçirimli-poroz) asfalt kaplama (GAK) ve son olarak da ülkemizde son yıllarda özellikle şehiriçi yollarda çok sık kullanılan parke taşı kaplamadır (PTK).



DAK



GAK



PTK

Şekil 5 Kaplama tipleri (Pavement types)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada üç değişik yol kaplaması için değişik hızlarda ve trafik yüklerinde 3 farklı senaryo denenmiştir. Denenen bu senaryolar Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelgede gösterilen Resmi Hız Sınırı (RHS) değeri hafif ve ağır vasıtalar için 50 km/saat olarak alınmış olup bu değer Karayolları Trafik Yönetmeliği göz önünde bulundurularak alınmıştır.

Senaryo-I’de, Karayolları Trafik Yönetmeliği’nce belirlenen yerleşim alanları için RHS esas alınmış ve çalışma güzergâhlarındaki KGYS ve diğer yöntemler kullanılarak belirlenen araç kompozisyonu ve sayılarından yararlanılarak elde edilen Mevcut Trafik Yükü (MTY) üzerinden değerlendirilmiştir.

Senaryo-II’de ise, RHS yarıya indirilmiş, buna karşın MTY’nin iki kat arttığı kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır.

Senaryo-III ise, bir önceki senaryonun tersi düşünülerek RHS’nin iki katına çıkartılması ve MTY’nin de yarıya düşürülmesi ile oluşturulmuştur. Hazırlanan tüm senaryolar DAK, GAK ve PTK için teker teker hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Çizelge 3’de tüm güzergâhlar için trafik yükleri ve taşıt hızları gösterilmektedir.

Çizelge 2 Senaryolar (Scenarios)

Senaryolar	DAK	GAK	PTK
Senaryo-I	- RHS* - MTY**	- RHS - MTY	- RHS - MTY
Senaryo-II	- RHS / 2 - MTY x 2	- RHS / 2 - MTY x 2	- RHS / 2 - MTY x 2
Senaryo-III	- RHS x 2 - MTY / 2	- RHS x 2 - MTY / 2	- RHS x 2 - MTY / 2

(*) RHS: Resmi Hız Sınırı

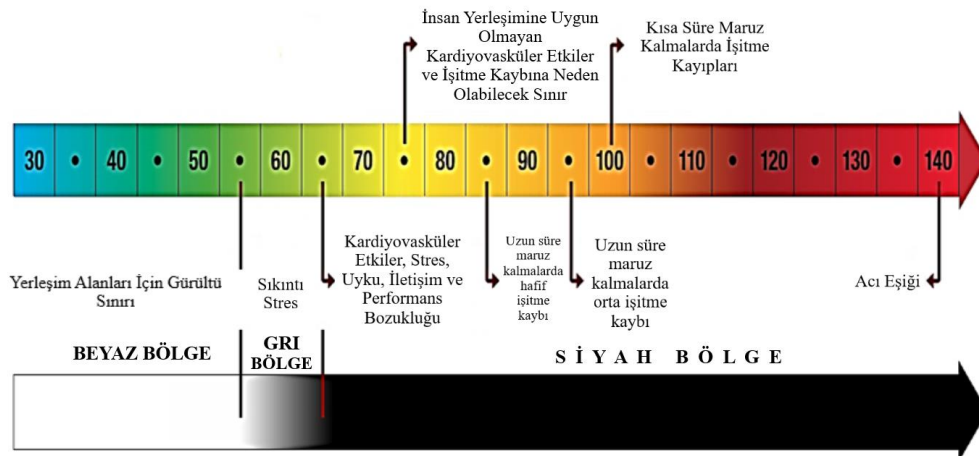
(**) MTY: Mevcut Trafik Yükü

Çizelge 3 Hesaplamalarda kullanılan trafik yükleri ve taşıt hızları (Traffic loads and vehicle speeds used in calculations)

Güzergâh	Trafik Yükü (Ad/gün)	Taşıt Hızları (km/saat)		Güzergâh	Trafik Yükü (Ad/gün)	Taşıt Hızları (km/saat)		Güzergâh	Trafik Yükü (Ad/gün)	Taşıt Hızları (km/saat)	
		Hafif Vasıta	Ağır Vasıta			Hafif Vasıta	Ağır Vasıta			Hafif Vasıta	Ağır Vasıta
Ali Bozdoğan	31565*	50	50	Kenan Evren	36014*	50	50	Turgut Özal	38976*	50	50
	63130	25	25		72028	25	25		77952	25	25
	15783	100	100		18007	100	100		19488	100	100

Ayrıca yukarıda bahsedilen durumların tümü gündüz (Lgündüz), akşam (Lakşam), gece (Lgece) ve gündüz-akşam-gece (Lgag) zaman dilimlerine göre de değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonrasında yol kaplamaları arasındaki ilişki ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Dört zaman dilimi içinde DAK, GAK ve PTK yol kaplamaları <55, 55-65, 65-75 ve >75 dBA

gürültü seviyelerine göre birbirleriyle mukayese edilerek Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan “Green Paper” isimli dokümana göre siyah, gri ve beyaz bölgeler belirlenmiş (Şekil 6) ve bu bölgelerde kalan alan, konut, nüfus ve sakin cephesi bulunan binalarda yaşayan nüfus belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 6 Gürültü bölgeleri [30] (Noise zones)

Çalışmada hız ve trafik yükünün değiştiği 3 farklı senaryoda üç farklı kaplama tipi model üzerinde denenmiştir. Ali Bozdoğan Bulvarında, Senaryo 1,2,3'e

Çizelge 4 incelendiğinde Ali Bozdoğan Bulvarının mevcut durumu (yol kaplaması PTK) gündüz-akşam-gece gürültü seviyesi (L_{gag}) 55 dBA'nın altında kalan alan yaklaşık % 40 iken, aynı zaman dilimi için 55 dBA'nın altında maruz kalan nüfus yaklaşık % 60'tur. Yine aynı zaman dilimi ve gürültü seviyesi için maruz kalan konut sayısı yaklaşık % 72'dir. Yol kaplamasının

göre değişik kaplama türleri için karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur:

Senaryo 1: Hesaplama alanı dahilinde

DAK veya GAK olarak değiştirilmesi halinde özellikle yukarıda verilen değerlerde pozitif yönde değişimler görülmekte ve 75 dBA'nın üzerindeki gürültü seviyelerine maruziyetlerde de olumlu yönde azalmalar görülmektedir.

Çizelge 4. Ali Bozdoğan Bulvarı için senaryo 1 durumunda yol kaplamaları (Ali Bozdoğan Boulevard in case scenario 1 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
	(%)											
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	48.34	54.17	57.05	73.65	66.55	70.69	73.84	86.22	75.44	78.28	79.49	83.34
55-65	27.24	24.02	22.7	17.52	22.93	21.08	19.28	12.73	15.2	14.29	13.41	15.3
65-75	16.2	15.44	14.97	8.83	9.82	8	6.82	1.04	8.57	7.24	7.1	1.36
>75	8.22	6.37	5.28	0	0.69	0.22	0.05	0	0.78	0.2	0	0
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	52.33	57.73	60.17	75.1	69.29	73.6	76.09	88.04	77.3	79.97	80.47	84.65
55-65	25.12	22.19	21.2	17.09	22.01	19.32	18.12	11.27	14.68	13.49	13.35	14.61
65-75	15.57	15.69	15.44	7.81	8.27	7.02	5.8	0.68	7.64	6.54	6.17	0.75
>75	6.98	4.41	3.19	0	0.43	0.05	0	0	0.39	0	0	0
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	40.27	46.57	49.58	70.41	59.72	64.32	68.08	82.93	71.73	74.8	76.17	82.23
55-65	31.33	28.06	26.56	18.24	25.44	23.92	21.86	14.67	16.18	15.43	15.23	14.9
65-75	17.38	16.3	15.91	11.35	12.53	10.6	9.39	2.4	10.14	8.99	8.01	2.87
>75	11.01	9.07	7.96	0	2.31	1.15	0.68	0	1.95	0.78	0.59	0

Senaryo 2: Ali Bozdoğan Bulvarında taşıt yükünün iki katına çıkartılıp hızlarının da yarıya düşürülmesi durumunu gösteren Çizelge 5 'de, 55 dBA altı için L_{gag} irdelendiğinde sırası ile maruz kalan alan, nüfus ve konut

PTK'da yaklaşık yüzde olarak 14, 38 ve 56 iken bu durum DAK'da; 25, 47, 64, GAK'da ise; 31, 51 ve 67'dir. Bu gürültü seviyesi için yani 55 dBA altında GAK için maruz kalınan yüzde değerler diğerlerine göre fazladır

Çizelge 5. Ali Bozdoğan Bulvarı için senaryo 2 durumunda yol kaplamaları (Ali Bozdoğan Boulevard in case scenario 2 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
(%)												
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	25.4	33.7	36.51	64.08	46.97	53.77	56.92	78.94	63.67	68.55	69.85	81.78
55-65	39.14	34.43	33.33	19.88	32.67	28.38	27.07	16.7	19.73	16.8	16.73	13.35
65-75	19.63	18.39	18.02	15.18	16.15	14.68	13.53	4.37	12.11	11.92	11.09	4.88
>75	15.83	13.48	12.13	0.86	4.23	3.16	2.48	0	4.49	2.74	2.33	0
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	31.01	38.03	40.81	66.46	51.37	57.7	60.59	80.18	66.54	70.91	72.35	82.11
55-65	35.9	32.51	31.38	19.2	30.05	26.68	24.93	15.97	18.2	16.6	15.88	13.76
65-75	18.87	17.67	17.4	14.09	14.99	12.89	12.53	3.85	11.94	10.35	10	4.13
>75	14.22	11.78	10.41	0.25	3.6	2.74	1.94	0	3.33	2.15	1.76	0
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	14.48	22.43	26.92	58.9	38.11	44.55	48.18	75.04	56.42	62.11	64.26	80.21
55-65	44.54	41.05	38.31	21.84	37.11	34.45	32.15	18.65	24.13	20.9	19.53	13.46
65-75	21.85	19.73	19.46	15.21	18.47	16.06	15.48	6.27	13.23	12.3	11.92	6.34
>75	19.14	16.79	15.29	4.05	6.3	4.94	4.18	0.04	6.23	4.69	4.3	0

Senaryo 3:Yeni duruma göre oluşturulan modelde Ali Bozdoğan Bulvarına ilişkin gürültü düzeyleri ile ilgili veriler Çizelge 6'da verilmiştir. Taşıt sayısının azaltılması buna karşılık hızlarının artırılması durumunda dikkatlice izlenmesi gereken ve kritik seviye olan 55 dBA'nın altındaki maruziyet yüzdelerinin

değerleri büyükten küçüğe sırası ile GAK, DAK ve PTK şeklindedir. Yine dikkatli olarak değerlendirilmesi gereken 75 dBA'nın üzerindeki maruziyet yüzdeleri de büyükten küçüğe PTK, DAK ve GAK'dır. Buradan da anlaşılacağı üzere GAK'ın

Çizelge 6. Ali Bozdoğan Bulvarı için senaryo 3 durumunda yol kaplamaları (Ali Bozdoğan Boulevard in case scenario 3 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
(%)												
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	43.32	49.27	52.7	71.39	61.47	66.22	69.83	83.61	72.8	75.94	77.16	81.96
55-65	29.75	26.47	24.76	17.92	24.84	23.21	21.39	14.26	15.86	15.26	14.65	15.6
65-75	16.77	15.81	15.57	10.7	11.81	9.84	8.41	2.12	9.99	8.22	7.82	2.45
>75	10.16	8.46	6.98	0	1.87	0.75	0.38	0	1.37	0.59	0.39	0
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	53.8	58.78	61.45	75.21	69.12	73.32	76.61	88.21	77.95	80.2	81.14	85.22
55-65	23.9	21.35	20.32	17.03	22.28	19.72	17.38	11.34	14.76	13.6	12.99	14.4
65-75	15.32	16.08	16.38	7.77	8.09	6.8	6	0.45	7.09	6.2	5.89	0.39
>75	6.99	3.8	1.85	0	0.51	0.16	0	0	0.2	0	0	0
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	34.8	41.3	44.86	68	54.59	60.02	63.03	80.96	68.74	72.07	73.44	81.61
55-65	34.07	30.64	28.92	18.57	27.81	25.39	24.39	15.66	16.8	16.02	15.82	14.71
65-75	18.01	17.04	16.66	13.42	14.56	12.31	11.5	3.38	11.72	10.16	9.57	3.68
>75	13.11	11.03	9.56	0	3.04	2.28	1.09	0	2.74	1.76	1.17	0

gürültü maruziyeti açısından avantajı ortaya çıkmaktadır

Kenan Evren Bulvarında Senaryo 1,2,3'e göre değişik kaplama türleri için karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur:

Senaryo 1: Gerçek taşıt yükünün esas alındığı ve ülkemizde uygulanan şehir içi hız sınırlarının hesaba katılarak oluşturulduğu durum Çizelge 7'de verilmektedir. Burada PTK ve DAK arasında değerlendirme yapıldığında; 75 dBA'nın üzerinde gürültüye maruz kalan alan, nüfus ve konutların yüzde

değerlerinde 2-3 kat fark olduğu görülmektedir. Ayrıca 55 dBA'nın altında kalan maruziyetlerde de PTK diğer kaplamalara göre daha az yani diğer kaplamalara göre dezavantajlıdır.

Senaryo 2: Kenan Evren Bulvarı için belirlenen trafik yükünün iki katı ve taşıt hızlarının yarıya indirilmesi ile oluşturulan senaryo ile ilgili veriler Çizelge 8'de gösterilmektedir. Kaplamaları gürültü açısından değerlendirdiğimizde, diğer hesaplamaların çoğunda da tespit edildiği gibi GAK'ın bulunduğu durumlarda

Çizelge 7. Kenan Evren Bulvarı için senaryo 1 durumunda yol kaplamaları (Kenan Evren Boulevard in case scenario 1 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	Lgag	Lgündüz	Lakşam	Lgece	Lgag	Lgündüz	Lakşam	Lgece	Lgag	Lgündüz	Lakşam	Lgece
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	64.29	69.1	71.43	72.5	71.52	74.31	74.92	76.36	74.58	77.09	77.47	78.19
55-65	8.93	9.09	8.93	15	11.47	11.09	11.13	15.75	9.87	9.53	9.68	14.22
65-75	12.5	12.72	12.5	7.5	10.49	8.52	7.92	0.16	8.86	7.53	7.01	0.74
>75	5.36	1.82	0	0	0.11	0.03	0.02	0	0.33	0	0	0
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	67.27	72.22	72.22	70.27	73.17	75.51	76.24	75.35	75.75	78.3	79.1	77.4
55-65	14.54	11.11	11.11	13.52	11.54	11.64	11.38	18.24	11.04	10.52	10.2	16.8
65-75	9.09	9.26	9.26	16.22	12.04	12.64	12.25	6.41	10.37	10.52	10.2	5.79
>75	9.09	7.41	7.41	0	3.27	0.21	0.14	0	2.85	0.67	0.5	0
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	61.11	64.29	65.45	73.92	67	71.51	72.43	77.23	69.95	74.5	75.25	80.44
55-65	18.52	14.29	14.54	10.87	14.33	12.12	11.72	13.12	14.03	11.41	11.21	11.26
65-75	7.4	8.93	9.09	15.22	11.21	11.83	11.85	9.61	9.68	10.24	10.2	8.3
>75	12.97	12.5	10.91	0	7.46	4.55	4.01	0.04	6.35	3.86	3.35	0

Çizelge 8. Kenan Evren Bulvarı için senaryo 2 durumunda yol kaplamaları (Kenan Evren Boulevard in case scenario 2 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	Lgag	Lgündüz	Lakşam	Lgece	Lgag	Lgündüz	Lakşam	Lgece	Lgag	Lgündüz	Lakşam	Lgece
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	48.21	57.15	58.18	75	55.28	63.58	65.53	77.02	59.47	67.01	68.44	79.77
55-65	25	19.64	20	9.62	22.58	16.67	15.33	11.41	21.27	15.91	14.86	9.86
65-75	8.93	8.93	9.09	9.62	11.34	11.05	11.19	11.47	9.89	9.38	9.68	9.86
>75	17.86	14.29	12.72	5.77	10.83	8.69	7.95	0.12	9.39	7.71	7.01	0.5
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	51.79	60.71	61.11	72.55	59.64	66.37	68.34	77.68	63.28	69.52	71.36	80.52
55-65	23.22	17.85	18.52	9.8	19.46	14.82	13.57	11.78	18.53	14.24	12.9	10.26
65-75	8.93	8.93	7.4	13.72	11.33	11.23	11.21	10.44	9.51	9.72	9.88	8.89
>75	16.07	12.5	12.97	3.92	9.56	7.56	6.88	0.1	8.69	6.54	5.86	0.34
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	42.85	48.21	50.9	69.64	47.06	55	57.81	74.62	51.67	59.37	61.71	77.13
55-65	28.57	25	23.64	12.5	28.38	22.79	20.86	11.52	26.42	21.24	19.73	10.51
65-75	12.5	8.93	9.09	8.93	11.55	11.36	11.2	13.07	10.37	9.87	9.7	11.02
>75	16.07	17.86	16.36	8.93	13.02	10.86	10.13	0.79	11.55	9.53	8.87	1.34

beyaz bölge olarak adlandırılan seviyede maruziyetler daha fazladır.

Senaryo 3'te güzergâhın trafik yükü ve taşıt hızlarına göre yapılan düzenlemeler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 9'da verilmektedir. Bu değerler ışığında 3. senaryo için elde edilen sonuçlara göre, özellikle 75 dBA'nın üzerindeki değerlere maruz kalan nüfus açısından yapılan değerlendirmede GAK'ın avantajlı olduğu görülmektedir.

Turgut Özal Bulvarında Senaryo 1,2,3'e göre değişik kaplama türleri için karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur:

Senaryo 1: Turgut Özal Bulvarı için Senaryo 1 şartları dahilinde oluşturulan durum ile ilgili hesaplama sonuçları **Çizelge 10'**da verilmektedir.

Özellikle 75 dBA'dan daha yüksek gürültü seviyesine maruz kalan kısımlar değerlendirildiğinde DAK ve GAK için nüfus ve konut yüzdelerinde sifıra yakın değerlerin olduğu göze çarpmaktadır.

Çizelge 10. Kenan Evren Bulvarı için senaryo 3 durumunda yol kaplamaları (Kenan Evren Boulevard in case scenario 3 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
(%)												
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	62.96	67.27	69.09	74.42	69.57	73.21	73.55	76.75	72.63	76.05	76.51	79.15
55-65	16.67	14.54	12.72	9.3	12.89	11.57	11.64	14.27	12.19	10.89	10.74	12.78
65-75	7.4	9.09	9.09	16.28	11.61	12.05	11.86	8.96	10.02	10.39	10.41	8.07
>75	12.97	9.09	9.09	0	5.93	3.18	2.93	0.01	5.17	2.68	2.35	0
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	69.1	73.58	72.72	71.43	74.18	76.89	77.37	75.43	77.22	79.93	80.19	76.96
55-65	12.72	9.43	9.09	14.28	11.66	11.32	11.32	19.7	10.55	9.86	10.07	18.79
65-75	9.09	9.43	10.9	14.29	12.08	11.68	11.2	4.87	10.56	9.7	9.39	4.24
>75	9.09	7.55	7.27	0	2.07	0.11	0.1	0	1.68	0.5	0.34	0
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	56.37	62.96	62.5	73.47	63.1	69.69	70.61	78.13	67.23	72.91	73.74	81.16
55-65	20	16.67	16.07	10.2	17.25	12.86	12.38	12.03	16.05	12.2	11.7	10.32
65-75	9.09	7.4	8.93	14.28	11.15	11.62	11.56	9.81	9.37	9.86	9.87	8.52

Çizelge 9. Turgut Özal Bulvarı için senaryo 1 durumunda yol kaplamaları (Turgut Özal Boulevard in case scenario 1 roadway pavements)

Aralık (dBA)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
(%)												
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	64.70	66.96	68.40	64.95	64.53	67.19	69.22	71.17	79.89	81.98	83.40	81.52
55-65	12.11	10.97	10.36	19.54	15.83	15.25	14.89	28.58	10.67	9.67	9.21	18.24
65-75	12.86	13.12	14.15	15.51	19.45	17.56	15.89	0.25	9.33	8.34	7.39	0.24
>75	10.34	8.96	7.08	0.00	0.19	0.01	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	66.29	68.39	69.37	63.58	66.50	69.13	70.97	71.49	81.39	83.40	84.60	81.07
55-65	11.32	10.36	9.91	21.40	15.40	14.94	14.99	28.48	9.91	9.21	8.85	18.66
65-75	13.08	14.03	15.71	15.02	18.08	15.94	14.05	0.03	8.58	7.39	6.54	0.27
>75	9.31	7.20	5.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	60.65	63.47	65.45	67.38	60.88	63.24	65.28	71.55	76.98	78.93	80.36	83.58
55-65	14.37	12.72	11.73	14.73	16.71	16.21	15.57	24.54	12.00	11.02	10.42	14.26
65-75	11.22	12.59	12.99	17.72	19.16	19.80	19.05	3.91	9.45	9.57	9.09	2.17
>75	13.75	11.21	9.83	0.17	3.25	0.76	0.11	0.00	1.58	0.48	0.12	0.00

Senaryo 2: Sayılarak tespit edilen trafik yükü (MTY) ve resmi hız sınırları (RHS) arasında yapılan değişikliklerle oluşturulan durum ile ilgili sonuçlar Çizelge 11’de gösterilmektedir. Söz konusu çizelge değerlendirildiğinde 75 dBA’nın üstündeki gürültüye maruz kalan nüfus ile ilgili değişik zaman dilimlerinde

ilgili değerler **Çizelge 12**’de verilmiştir. Çizelge değerlendirildiğinde siyah bölge içerisinde kalan 75 dBA’nın üzerindeki gürültü seviyesine maruz kalan nüfus ve konutların yüzde değerleri DAK ve PTK’da diğer kaplama türüne göre daha yüksektir.

Çizelge 12. Turgut Özal Bulvarı için senaryo 2 durumunda yol kaplamaları (Turgut Özal Boulevard in case scenario 2 roadway pavements)

Aralık (dBA) (%)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	53.46	56.87	59.87	69.39	54.26	57.22	60.35	72.55	70.61	73.48	76.28	85.51
55-65	18.66	16.77	14.72	10.52	19.62	18.11	16.76	16.41	15.84	14.04	12.35	9.01
65-75	9.59	9.83	11.20	18.14	15.56	16.97	18.87	11.05	8.46	8.84	9.45	5.48
>75	18.29	16.52	14.21	1.94	10.58	7.71	4.01	0.00	5.08	3.63	1.94	0.00
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	56.18	59.39	62.17	68.87	56.77	59.71	62.11	72.19	73.12	75.76	78.00	85.12
55-65	17.13	15.26	13.49	11.46	18.34	17.03	16.66	18.39	14.28	12.73	11.36	10.01
65-75	9.82	10.72	11.98	18.64	16.39	18.67	19.42	9.41	8.48	9.45	9.67	4.86
>75	16.88	14.62	12.36	1.03	8.48	4.59	1.81	0.00	4.12	2.06	0.97	0.00
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	46.84	51.01	54.98	69.29	47.09	51.49	55.62	70.76	63.80	68.12	72.15	84.39
55-65	22.80	20.40	17.78	10.03	23.60	21.29	18.81	15.03	20.58	17.70	14.89	8.96
65-75	9.95	9.45	9.71	15.43	15.09	15.23	16.07	14.22	8.96	8.60	8.36	6.66
>75	20.40	19.14	17.52	5.27	14.22	11.99	9.49	0.00	6.66	5.57	4.60	0.00

Çizelge 11. Turgut Özal Bulvarı için senaryo 3 durumunda yol kaplamaları (Turgut Özal Boulevard in case scenario 3 roadway pavements)

Aralık (dBA) (%)	Maruz Kalan Alan				Maruz Kalan Nüfus				Maruz Kalan Konut			
	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}	L _{gag}	L _{gündüz}	L _{akşam}	L _{gece}
DÜZ ASFALT KAPLAMA												
<55	55.79	59.53	61.79	68.61	56.64	59.66	61.92	71.83	73.28	76.02	77.77	84.60
55-65	17.51	15.13	13.74	11.61	18.48	17.34	16.49	18.80	14.15	12.59	11.59	10.52
65-75	9.82	10.97	12.11	18.90	16.42	18.98	20.16	9.37	8.46	9.45	9.78	4.89
>75	16.88	14.38	12.36	0.89	8.46	4.02	1.41	0.00	4.11	1.94	0.85	0.00
GÖZENEKLİ ASFALT KAPLAMA												
<55	60.20	63.04	64.98	67.26	60.49	63.12	65.14	71.47	76.63	78.61	80.42	83.66
55-65	14.61	12.99	11.96	14.80	16.97	16.19	15.55	24.64	12.22	11.11	10.40	14.18
65-75	11.33	12.61	13.10	17.77	19.35	20.05	19.27	3.90	9.57	9.78	9.07	2.15
>75	13.86	11.35	9.95	0.16	3.20	0.63	0.03	0.00	1.57	0.48	0.12	0.00
PARKE TAŞI KAPLAMA												
<55	51.82	55.92	58.57	69.46	52.75	56.61	58.90	72.00	69.86	73.31	75.21	85.16
55-65	20.12	17.38	15.87	10.45	20.39	18.52	17.52	16.44	16.35	14.13	13.06	9.25
65-75	9.56	9.82	10.45	17.88	15.66	16.41	17.93	11.56	8.60	8.58	8.95	5.60
>75	18.50	16.88	15.11	2.20	11.19	8.45	5.65	0.00	5.20	3.99	2.78	0.00

GAK’ın olması durumunda tespit edilen maruziyetler diğer iki kaplamaya kıyasla daha düşüktür.

Senaryo 3: Taşıt hızlarının iki katına çıkartılıp trafik yükün yarıya düşürüldüğü durum olan 3. senaryo ile

Çalışmada ayrıca, üç farklı yol kaplamasının, ÇGDY Yönetmeliğinde belirlenen zaman dilimlerinde (L_{gündüz}, L_{akşam}, L_{gece} ve L_{gag}) dört gürültü seviyesinde (<55, 55-65, 65-75 ve >75 dBA)

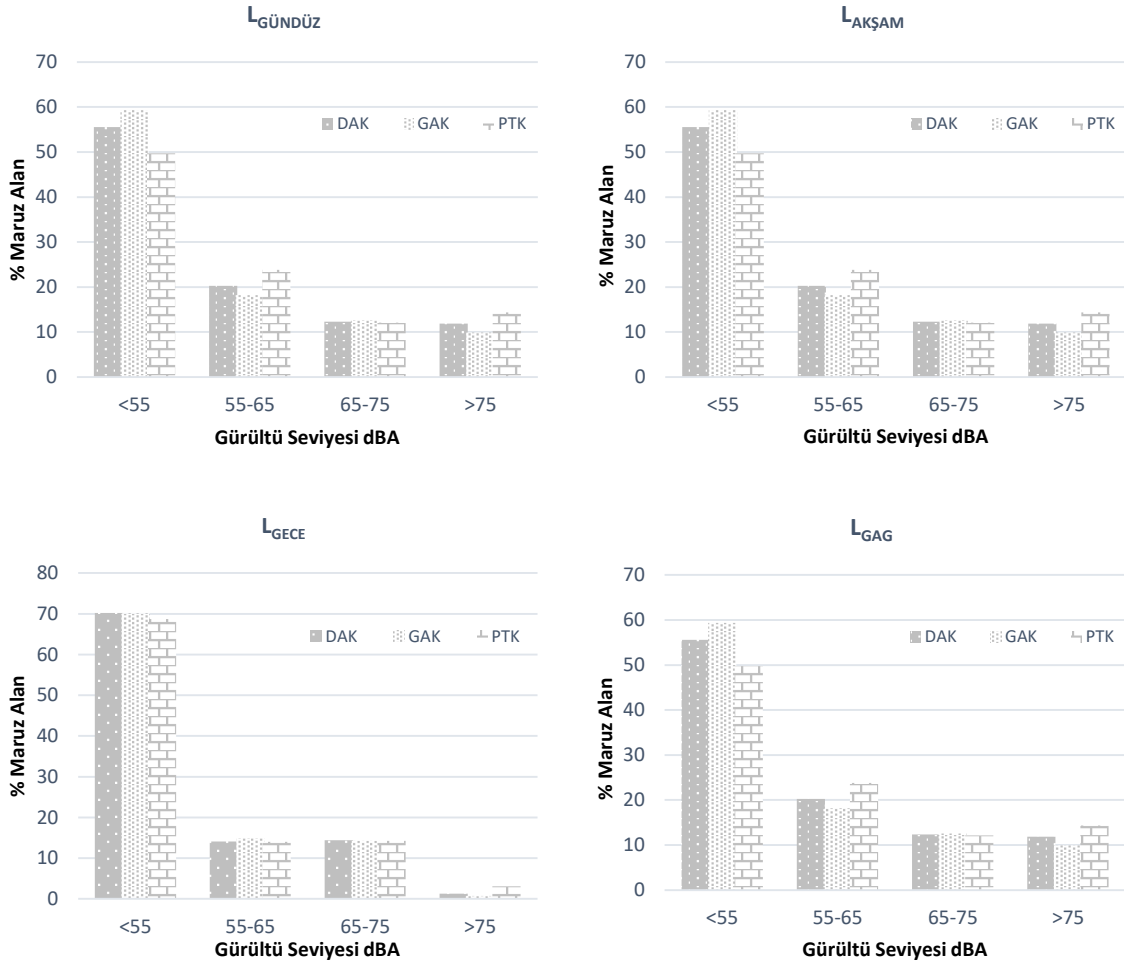
birbirlerine göre durumları maruz kalınan alan açısından değerlendirilmiştir. Yukarıda sayılan gürültü seviyelerinde yol kaplamalarının tipine göre maruz kalınan alanlar yüzde olarak Şekil 7’de verilmektedir. Şekil 7 değerlendirildiğinde maruz kalınan alan açısından tüm zaman dilimlerinde 55 dBA’nın altında olan gürültü seviyelerinde Parke Taşı Kaplamanın (PTK) toplam alan içerisinde en düşük yüzdeye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum istatistiksel olarak da gece zaman dilimi hariç diğer zaman dilimleri için anlamlıdır (Lgündüz, $p=0,036$; Lakşam, $p=0,036$; Lgag, $p=0,045$).

55-65 dBA gürültü seviyesi arasında kalan alanlardaki durum; gündüz ve akşam zaman dilimlerinde PTK açısından diğer iki kaplamaya göre yani Düz Asfalt Kaplama (DAK) ve Gözenekli Asfalt Kaplamaya (GAK) göre daha fazladır. Gece ve Gündüz-Akşam-Gece zaman dilimleri değerlendirildiğinde 55-65 dBA gürültü seviyesi aralığında kalan alanın büyüklüğü, üç yol kaplaması içinde önemli bir değişiklik

değerlendirildiğinde, dört zaman dilimi için de birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür.

75 dBA’nın üzerindeki gürültü seviyesine maruz kalan alanlar değerlendirildiğinde, dört zaman diliminde de PTK yolun bulunduğu durumda maruziyetin en fazla olduğu görülmüştür. Bu durum istatistiksel olarak ta anlamlıdır (Lgündüz, $p=0,0$; Lakşam, $p=0,0$; Lgece, $p=0,01$; Lgag, $p=0,05$).

Çeşitli seviyelerdeki gürültüler maruz kalınan alanlar açısından değerlendirildiğinde; alt ve üst gürültü seviyelerinde kalan alanların büyüklükleri kaplamaların gürültü açısından değerlendirilmesinde belirleyici faktör olmaktadır. Zira alt seviye olan 55 dBA’nın altında kalan alanların gürültü açısından beyaz bölge olduğu göz önüne alındığında, büyüklük durumu avantaj olarak değerlendirilirken üst seviyeye olan ve siyah bölge içerisindeki 75 dBA’nın üzerinde kalan alanların büyüklük durumu dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ara seviyelerin ise bu tür karşılaştırmalarda değerlendirilmesiyle net bir sonuç

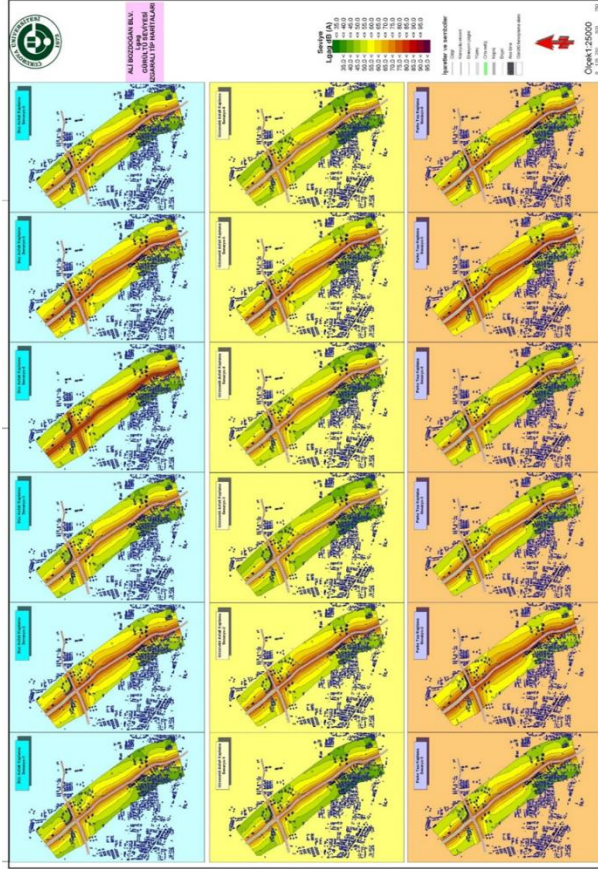


Şekil 7. Kaplama tipi ve zamana bağlı olarak maruz kalınan konut dağılımı (Types of pavement and time-dependent residential distribution)

göstermemektedir. Üç tip yol kaplaması 65-75 dBA arasındaki gürültü seviyesinde kalan alanlar açısından

elde edilememektedir

Ayrıca yapılan çalışmada her üç bulvara ait gündüz, akşam, gece ve gündüz-akşam-gece olmak üzere gürültü haritaları oluşturulmuş ve örnek olarak bir bulvara ait gündüz-akşam-gece gürültü haritası Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8 Ali Bozdoğan Bulvarı gündüz-akşam-gece gürültü haritaları (Ali Bozdoğan Boulevard daytime-evening-night noise maps)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan çalışmada 3 farklı güzergâhta Düz Asfalt Kaplama (DAK), Gözenekli Asfalt Kaplama (GAK) ve Parke Taşı Kaplamanın (PTK) çevresel gürültü açısından etkinliği, hız, trafik yükü ve zaman değişkenlerine göre değerlendirilmiştir. Değişkenlerden hız ve trafik yükü kullanılarak oluşturulan 3 farklı senaryoda üç farklı kaplama tipi denenmiştir. Çalışmadan elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Mevcut durumda yol kaplaması PTK olan Ali Bozdoğan Bulvarı (Mavi Bulvar-Kıyıboyu Arası) için Senaryo 1’de yol kaplamasının DAK ve GAK ile değiştirilmesi halinde, 55 dBA gürültü seviyesinin altına daha fazla alan ve kişinin maruz kalacağını göstermektedir. Senaryo 2’de PTK kaplamasının alan ve nüfus maruziyeti açısından dezavantajlı durumu bu senaryo içinde devam etmektedir. Senaryo 3’de GAK’ın hem 55 dBA’nın altında hem de 75 dBA’nın

üstünde diğer kaplamalara göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Kenan Evren Bulvarında yapılan modelleme çalışmaları değerlendirildiğinde Senaryo 1 için 55 dBA’nın altında çevresel gürültü açısından maruz kalınan alan ve nüfus açısından avantaj bakımından sırası ile GAK, DAK ve PTK şeklindedir. 75 dBA’nın üzerinde ise gürültüye maruz kalan alan, nüfus ve konutların yüzde değerleri incelendiğinde PTK’nın DAK’a göre 2-3 kat daha fazla dezavantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca Senaryo 2’de kaplamalar gürültü açısından değerlendirildiğinde 55 dBA’nın altında maruz kalınan alan sırasıyla PTK (%43), DAK (%48) ve GAK (%52) şeklindedir. Fakat 75 dBA’nın üzerinde kaplamaların maruz kalınan alanın yüzdesi açısından değerler birbirine oldukça yakın olup bu durumda kaplamalar birbirlerine göre üstünlük gösterememektedir. Senaryo 3’te ise, maruz kalan alan ve nüfus açısından 75 dBA’nın üzerindeki yüzdelere göre kaplamalar arasında GAK’ı oldukça avantajlı duruma getirmektedir.

Turgut Özal Bulvarında yapılan çalışmalarında da Senaryo 1 için 55 dBA’dan daha düşük gürültü seviyelerinde DAK ve GAK için birbirine yakın yüzdelerde maruziyet görülmüş, Senaryo 2’de GAK’ın diğer iki kaplamaya göre oldukça düşük maruz kalınan alan, nüfus ve konut yüzdesine sahip olduğu görülmüştür. 3. senaryoda siyah bölge içerisinde kalan 75 dBA’nın üzerindeki gürültü seviyesine maruz kalan nüfus ve konutların yüzde değerleri DAK ve PTK’da diğer kaplama türüne göre daha yüksektir.

Üç farklı yol kaplamasının, ÇGDY Yönetmeliğinde belirlenen zaman dilimlerinde (Lgündüz, Lakşam, Lgece ve Lgag) ve olmak üzere dört gürültü seviyesinde (<55, 55-65, 65-75 ve >75 dBA) birbirlerine göre durumları maruz kalınan alan, nüfus ve konut açısından değerlendirilmiştir. Maruz kalınan alan açısından tüm zaman dilimlerinde 55 dBA’nın altında olan gürültü seviyelerinde Parke Taşı Kaplamanın (PTK) toplam alan içerisinde en düşük yüzdeye sahip olduğu görülmüştür. Maruz kalınan nüfus açısından ise 55 dBA’dan daha düşük gürültü seviyelerinde DAK ve GAK kaplamalarda PTK’ya göre hesaplama alanlarındaki nüfusun daha fazlasının maruz kaldığı görülmüştür. Dört zaman diliminde de yapılan değerlendirilmeler yol kaplamalarının etkisi maruz kalınan alanda bulunan konutlara göre değerlendirildiğinde ise, PTK Lgündüz, Lakşam, Lgece ve Lgag zaman dilimlerinde diğer iki yol kaplamasına göre daha düşük bir yüzdeye sahiptir. Yani DAK ve GAK’ın bulunduğu yollarda 55 dBA’nın altındaki gürültü seviyelerine konutlar daha fazla maruz kalmaktadır ki bu durum arzu edilen durumdur.

Bu çalışma çıktıları göz önünde bulundurularak belirlenen üç güzergahtaki sonuçların şehir içindeki benzer yollar içinde aynı değerleri vereceği düşünülerek planlama aşamasında yol kaplamalarının türü, trafik yükü hesaba katılarak yolun genişliği ve

yolların kenarındaki yapıların yola olan mesafelerine dikkat edilerek projelendirmeler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Still, H., “*Zn Quest of Quiet. Stackpole Books*”, Harrisburg: , PA., (1970.).
- [2] Nelson, P.M., “*Transportation Noise Refenece Book*”, Butterworths veCo. (Puplishers) Ltd., (1987).
- [3] Berglund, B., and Lindvall, T., Community Noise, , “*Archives of the Center for Sensory Research*”, . Dünya Sağlık Teşkilatı İçin Hazırlanmış Rapor, (1995).
- [4] ÇGDYY, “*Çevresel Gürültünün Değlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*”, Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı, (2010).
- [5] Wolde, T., “European Commission’s Future Noise Policy”.; *Internoise 98 Congress*, Christchurch, New Zeland, (1998).
- [6] Irmer, V.K., “Assesment of Conflict Plans on the Basis of Noise Mapping in Germany”, *Internoise 2000 Congress*., France, 23-29, (2000)
- [7] Ho, K. Y., Hung, W. T., Fai, N. G., Lam, Y. K., Leung, R., and Kamc, E., “The effects of road surface and tyre deterioration on tyre/road noise emission”, *Applied Acoustics* ,74: 921–925, (2013).
- [8] Freitas, E., Mendonça, C., Santos, J. A., and Murteira, C., “Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels”, *Transportation Research Part D*, 17: 321–326, (2012).
- [9] Praticò, F.G., and Lédéeb, F.A., “Trends And Issues In Mitigating Traffic Noise Through Quiet Pavements”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53: 203–212, (2012)..
- [10] Donavan, P. “Effect of porous pavement on wayside traffic noise levels.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2403:, 28-36, (2014).
- [11] Chu, L., Fwa, T., and Tan, K. “Evaluation of wearing course mix designs on sound absorption improvement of porous asphalt pavement.” *Construction and Building Materials*, 141: 402-409. (2017).
- [12] Ding, Y., and Wang, H. “FEM-BEM analysis of tyre-pavement noise on porous asphalt surfaces with different textures.” *International Journal of Pavement Engineering*, 1-8, (2017).
- [13] Kurra, S., “Köprüler, Yollar ve Çevre Kirliliği”, İstanbul: 5. *Ulusal Akustik Kongresi*, İstanbul, 95-104, (2000).
- [14] Akdağ, N., “Kent Planlamada Gürültü Haritalarının Önemi: Barbaros Bulvarı Çevresi Örneği”, *TMMOB Mimarlık Dergisi*, 311,(2003).
- [15] İşler, E., ve Akdağ, N., “Gürültü Denetlenmesinde Engel Etkinliği: Bağdat Caddesi Örneği”, *7. Ulusal Akustik Kongresi* Kapadokya, 16–17 Kasım, 72-80, (2004)
- [16] Aşçıgil, M., “Karayolu Gürültü Haritalarının Hazırlanması: İstanbul Zincirlikuyu-Maslak Ulaşım Hattı Örneği”, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2009).
- [17] Bıçakçı, T. and Z. Selek, “Trafikten Kaynaklanan Çevresel Gürültü Haritaları ve Çukurova Üniversitesi Kampüsü Örneği”, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi: Adana, (2011)
- [18] Maraş, E.E., “Coğrafi bilgi sistemi desteğinde kentlerin Avrupa Birliği standartlarında gürültü haritalarının üretimi: Samsun ili örneği”, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011)
- [19] İmamoğlu, C.T., “Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamaların Trafik Gürültü Sönümlemesindeki Etkileri”, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul Teknik Üniversitesi, (2012).
- [20] Bozkurt, Z., “Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolunun Adana Şehir Merkezinden Geçen Bir Kesitinde Ulaşımın Kaynaklanan Gürültünün Azaltılması İçin Geliştirilen Çözüm Önerileri”, *Çevre ve Ulaşım İlişkileri*, M. Yücel and D. Çolakkadıoğlu, Editors. Karahan Kitapevi: Adana. p. 103-114, (2015)
- [21] Maraş, E.E., G. Uslu, and A. Uslu, “Effects of Noise Barriers on Reducing Highway Traffic Noise”. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 5(2): 01-11, (2016).
- [22] Özer, S.S. “The effect of ground characteristics on optimum road-building distance for motorway noise control”. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. Institute of Noise Control Engineering, (2016).
- [23] Maraş, E.E. and F.A. Sesli, “Karayolu Trafik Gürültü Değerlerinin Uygulama İmar Planlarına Entegrasyonu”. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2): 430-441, (2017).
- [24] Öngel, A. and F. Sezgin, “Trafik Gürültüsünü Etkileyen Faktörlerin SoundPlan 6.5 Programı ile İncelenmesi”. *Teknik Dergi*, 7669(7684): 466, (2017).
- [25] Directive 2002/49/EC. of the European Parliament and of Council of June 25 2002 relating to the assessment and management of Environmental noise, *Official Journal of the European Communities*, L189/12-25,18.7, (2002).
- [26] Centre D'Études Des Transports Urbains (Cetur), “*Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores*”, (1980).
- [27] QuartieriI, J. M., “A Review of Traffic Noise Predictive Models”, *Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Applied and Theoretical Mechanics*, Puerto De La Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, December 14-16.; WSEAS Press, 72-80, (2009).
- [28] Bozkurt, Z., “Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Çevresel Gürültü ve Bu Gürültüye Yol Kaplamalarının Etkilerinin İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013),
- [29] EGM, & TÜİK, “Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri” Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, (2012).
- [30] EU, GREEN PAPER, “Future Noise Policy, Commission of the European Communities”, ISBN 92-78-10730-1 Brussels, (1996).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Kinematic analysis of tapping machine and simulation with Simmechanics

Kılavuz çekme makinası kinematik analizi ve Simmechanics ile simülasyonu

Yazar(lar) (Author(s)): Güllü AKKAŞ¹, İhsan KORKUT²

ORCID¹: 0000-0001-7836-9746

ORCID²: 0000-0002-5001-4449

Bu makaleye şu Figurede atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Akkaş G., Korkut İ. “Kinematic analysis of tapping machine and simulation with simmechanics”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 431-436, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417763

Kılavuz Çekme Makinası Kinematik Analizi ve Simmechanics ile Simülasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Güllü AKKAŞ^{1*}, İhsan KORKUT²

¹Kayseri Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 29.01.2018 ; Kabul/Accepted : 03.05.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, 4 serbestlik dereceli kılavuz çekme makinesinin tasarımı, kinematik analizi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarım için Solidworks kullanılmıştır. Cihazın Solidworks montajı Simmechanics modülüne transfer edilip MATLAB blokları haline getirilmiştir. Manuel olarak çözümlenmiş olan kinematik analizin sonuçları Mfunction ile sisteme tanıtılıp uç işlevci pozisyonuna bağlı olarak sistemin hareketi kontrol edilmiştir. Kılavuz çekme makinası tasarımı bilgisayar kontrollüdür ve otomasyonla desteklenen montaj hatları için uygun bir çözümdür.

Anahtar Kelimeler: Kılavuz çekme makinesi, Simmechanics simulasyon, kinematik analiz.

Kinematic Analysis of Tapping Machine and Simulation with Simmechanics

ABSTRACT

In this study, the design, kinematic analysis and simulation of a 4-degree-of-freedom tapping machine were performed. Solidworks software was used. The design was transferred to the Simmechanics module and transformed into MATLAB blocks. The results of kinematic analysis were introduced to the system with Mfunctions, and the movement of the system was controlled depending on the position input. The tapping machine design is computer controlled and is a suitable solution for tapping on automation supported assembly lines.

Keywords: Tapping machine, Simmechanics simulation, kinematic analysis.

1. INTRODUCTION

In recent years, developments in machine technology have rapidly increased the tendency to design and use automation oriented machines.

The tapping machine is a manipulator that performs tapping in the manufacturing industry and assembly lines with the automation system. In its design, kinematic and inverse kinematic calculation systems were adhered to. Movement ability was realized with coordinate information. In the design, the limbs connected with more than one joint increased the mobility. The movement of the joints is provided by servomotors. The design of the tapping machine was based on the functional functions of industrial robots.

The history of industrial automation is characterized by periods of rapid change in popular methods. The periods of change in automation techniques depend on the world economy. Industrial robots were described as unique devices in the 1960s. With CAD-CAM systems, automation in manufacturing processes has been re-characterized as well. Comprehensive developments in CAD-CAM systems directly influence and even manage industrial automation [1]

In the 2000s, about 78% of robot use in America included welding and material loading robots. Within the development process, 10% of robot automation has been directed towards industrial applications [2]. The experience gained in rough operations such as handling, loading, and welding leads the way in the transition to precision operations. The technological innovations and developments that are experienced rapidly in the industrial robot industry attract the attention of researchers. The tapping process is a process that must be shown sensitivity in the manufacturing sector.

The tapping process is a process that is used extensively to open screws in holes [3]. The taps have threads in the desired form around them and are comprised of one or more cutters. Their profiles differ as they may be cylindrical or conical [4,5]. According to the Turkish Standards Institute, a tap is defined as a cutter with screw threads on it that is used for cutting screws in holes that are drilled in materials such as metal and plastics via drilling bits or are brought to a specific point through turning [4,5,6].

Tapping is basically the performance of drilling operations. The screw is cut by combining the tool's rotational and advancing movements. It can be done by different methods, some of which are drilling machines, machining centers, lathe centers equipped with rotary

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : gulluakkas@erciyes.edu.tr

heads, conventional turning, and manually [7]. Current developments in robotics allow the use of manipulators with automatic control during tapping.

Different principles can be taken as basis for robot manipulator control. Control by show and teach method, offline programming, and control by artificial neural network underlie them. The methods may be preferred according to needs. The kinematic and inverse kinematic equations need to be solved in order to use the programming logic in control of the manipulator. Coordinate information that is to be achieved constitutes the movement of the end effector. The angle changes in joints of the end effector which must be attained can be determined by the DenavitHartenberg principle, which is one of the basic principles of kinematics.

In complex nonlinear and coupled systems, the robot manipulator cannot be efficiently controlled by the conventional position-integral-derivative (PID) controller. In order to enhance the effectiveness of the conventional PID controller for nonlinear indeterminate systems, the gains of the PID controller must be conservatively set. The PID controller process must adapt to parameter changes [8]. In this study, kinematic and inverse kinematic equations were derived from the DenavitHartenberg principle. MATLAB simulation was performed by PID control for the derived equations.

In a research by Donya et al., a framework for neural networks (NN) based consensus control is proposed for multiple robotic manipulators systems (MRMS) under leader-follower communication topology. Two situations, that is, fixed and switching communication topologies, are studied by using adaptive and robust control principles, respectively. Radial basis function (RBF), NN estimator, and observers are developed for system uncertainty and the leader manipulator's control torque is provided online [9].

In "Computationally efficient and robust kinematic calibration methodologies and their application to industrial robots" by Messay et al., efficiency calculation and robust kinematic calibration algorithms were studied for industrial robots with partial measurements. This involves finding the Cartesian coordinates of the calibration points and applying some calibration techniques to some reference points that require radial measurement from the calibration points. The method needs neither orientation methods nor explicit information about where the reference axis is located. Contrary to similar studies, the original Denavit-Hartenberg kinematic model is simplified when both methods are used. The simplified DH(-) model has not only proven to be robust and effective in calibrating industrial manipulators but it is also favored from a computational efficiency viewpoint since it consists of comparatively fewer error parameters [10].

2. DESIGN OF TAPPING MACHINE

The tapping machine design has a structure that can perform the tapping function functionally. With the

addition of automation system to the design, tapping ceased to manual job. With this machine, in addition to standard tapping operations, screws can also be cut in the angled holes. Angled tapping function was added with a servo motor added immediately after the end effector.

The tapping machine was designed as a manipulator with three degrees of freedom until the wrist and having three axes. Two more movements were obtained in the design by adding a servo motor and a hydraulic motor to the wrist. Three servo motors positioned from the principal axis to the wrist were used to position the wrist and make it follow the desired trajectory. With the servo motor in the wrist, the axis shift of the end effector was blocked so that the trajectory was followed without any error and oscillation. Thanks to the hydraulic motor placed on the end effector, the tap head was made rotational.

Figures 1 and 2 show the working space suitable for the tapping machine. Due to the geometric constraints for the first limb in this working space, the θ_2 angle must not exceed 90° (Figure 3). If this limit is exceeded, the end effector and upper limbs hit the table placed on the floor. The working space was abided by to avoid damage that might occur in the machine. In the second limb, the angle θ_3 must be between -90° and 160° (Figure 3). Thus, the collision of the first limb with the tail part of the second limb, which is its balance element, is prevented. With these boundaries kept, it can be understood from the figure within what maximum limits the machine will move.

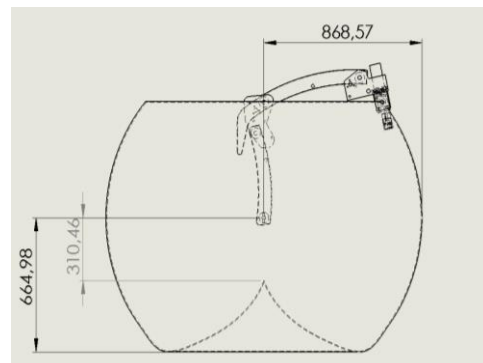


Figure 1 Basic measures for the tapping machine.

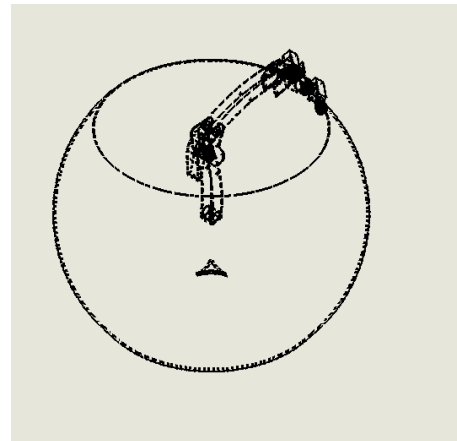


Figure 2 Working space boundaries obtained for the tapping machine.

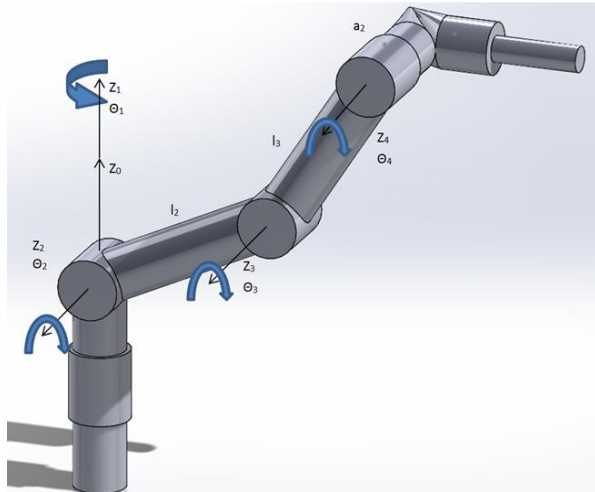


Figure 3. Positioning, rotation angles, and parametric measurements of the axes for the tapping machine.

Tapping is a two-dimensional straight line in terms of the path it is to follow. A robot arm with two joints is sufficient to follow such a line. However, the mobility of two-jointed manipulator is planary. To remove the design from the planarity, a rotary joint was placed at the bottom of the main body. The tapping machine turned into an anthropomorphic structure. Thus, a design having a capacity to operate in two parallel bands based on the need was obtained. Figure 3 shows the joints that were rotated and the ways they were rotated.

The positioning of the end effector is completely provided by the first three joints, which are expressed by the angles θ_1 , θ_2 , and θ_3 . With the help of the joint expressed by θ_4 , oscillations and axis deviations of the end effector are prevented during movement. Thus, the trajectory is followed with fewer errors.

Figure 4 shows the mechanical structure of the tapping machine. The three bar mechanisms on the upper arm ensure that the end effector always works in a perpendicular way to the working space. If an angled operation is required, the desired angle can be applied to the end effector via the fourth servo motor.

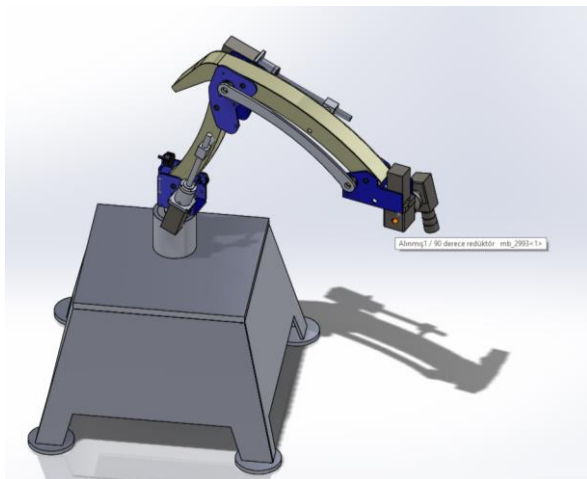


Figure 4 The tapping machine.

3. DYNAMIC ANALYSES FOR THE TAPPING MACHINE

The method of analysis in which the motions and behavioral characteristics of the mechanisms, the tendency of velocity, and the effect of force on motion are analyzed is expressed as dynamic analysis (Figure 5).

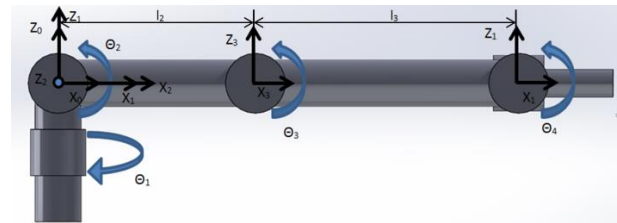


Figure 5. Variable angle values to be used in kinematic analysis (Figure shows the position where the equipment angle values of the device are zero).

In the robotics this becomes more specialized. In this study, the basic principles of robotics were provided, and the mechanical structure of the manipulator was analyzed by Denavit-Hartenberg parameters. Axis sets were placed according to this principle, and the variable parameters of the axes were determined. On the basis of this principle, the mathematical model needed to obtain the position by looking at the angle through forward (direct) kinematic equations was reached. With the inverse kinematic equations, the mathematical model needed to obtain the angle by looking at the angle was showed.

Kinematic Analysis for the Tapping Machine

There are separate vectorial representations for each point of axis and there are matrices defined for each vectorial representation. These matrices are determined by the Denavit Hartenberg principle. Table 1 shows the table of the Denavit Hartenberg parameters defined for the tapping machine [11].

Transformation matrices were formed based on Denavit Hartenberg parameters. $l_2=571.34$ mm and $l_3=649.97$

Table 1. DenavitHartenberg parameters for the tapping machine[11]

Axis	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	$\frac{\pi}{2}$	0	0	θ_1
2	0	l_2	0	θ_2
3	0	l_3	0	θ_3
4	0	0	0	θ_4

mm, the fixed parameters of the chart, were used in the operations.

Matrices were calculated for four axes. Because the rotational motion of the third and fourth axes was the same, the fourth axis turned out to be excess. For this reason, it is unnecessary to use the transformation matrix of the fourth axis in the position analysis by forward (direct) kinematics. Position was calculated through use of the fifth equation method by considering the first three axes.

$${}^0_3T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T \quad (1)$$

When the transformation matrices 1, 2, and 3 are written in their places in the equation 1, matrix components 2, 3, and 4 emerge [12]. Here, Px, Py, and Pz represent the position of the end effector, while r₁₁,r₁₂,r₁₃,...,r₃₃ represent the rotation matrix components.

$$P_x = \cos(\theta_1) * (l_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) + l_2 * \cos(\theta_2)) \quad (2)$$

$$P_y = \sin(\theta_1) * (l_3 * \cos(\theta_2 + \theta_3) + l_2 * \cos(\theta_2)) \quad (3)$$

$$P_z = l_3 * \sin(\theta_2 + \theta_3) + l_2 * \sin(\theta_2) \quad (4)$$

Position-dependent angle equations for the tapping machine were obtained using the inverse kinematic method. Equation 5 provides the transformation matrix existing between the basic joint and the axis where the end effector is located. This matrix is shown here symbolically, but it actually represents numerical values. It is required to represent the variables in numerical values.

$${}^B_WT = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

The matrix in equation 5 can also be written in the format seen in equation 6 [13].

$${}^B_WT = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T \quad (6)$$

$${}^0_1T {}^{B-1}_WT = {}^0_1T {}^{1-1}_1T {}^{2-1}_2T {}^{3-1}_3T \quad (7)$$

Using equation 7, the equations θ₁, θ₂, and θ₃ were obtained as follows [14].

$$\theta_1 = \pi + a \tan 2(P_y, P_x) \quad (8)$$

$$C_3 = \frac{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 - l_3^2 - l_2^2}{2l_2l_3} \quad (9)$$

$$s_3 = \mp \sqrt{1 - c_3^2} \quad (10)$$

$$\theta_3 = \text{atan2}(s_3; c_3) \quad (11)$$

$$s_2 = \frac{(l_2 + l_3 c_3) P_z - l_3 s_3 \sqrt{P_x^2 + P_y^2}}{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (12)$$

$$c_2 = \frac{(l_2 + l_3 c_3) \sqrt{P_x^2 + P_y^2} + l_3 s_3 P_z}{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (13)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}(s_2; c_2) \quad (14)$$

In the tapping machine, θ₄ was externally controlled. For this reason, θ₄ was not included in the calculations. Three bar mechanisms applied in the design of the tapping machine ensure that the end effector is perpendicular to the floor for each angle value of the lower limbs of the system. Therefore, angular input must be externally provided to the end effector for special cases, that is angular operations, with the help of the fourth servo motor.

Tapping machine is a mechanical system with an automation direction. The position equations are obtained through solution of a set of mathematical equations. There are angular positions where equation solutions reach infinite values. These positions are called singular points and are determined by singular point analysis. There is a method to follow to avoid these points. If the determinant of the Jacobian matrix is equal to zero, singularity emerges. The solution of this equation gives information to the designer about the points to be avoided [15].

$$\begin{vmatrix} (-l_3 s_1 c_2 c_3 - l_2 s_1 c_2) & (-l_3 c_1 s_2 c_3 - l_2 c_1 s_2) & -l_3 c_1 s_2 c_3 \\ (l_3 c_1 c_2 c_3 + l_2 c_1 c_2) & (-l_3 s_1 s_2 c_3 - l_2 s_1 s_2) & -l_3 s_1 s_2 c_3 \\ 0 & (l_3 c_2 c_3 + l_2 c_2) & l_3 c_2 c_3 \\ (-l_3 s_1 c_2 c_3 - l_2 s_1 c_2) & (-l_3 c_1 s_2 c_3 - l_2 c_1 s_2) & -l_3 c_1 s_2 c_3 \\ (l_3 c_1 c_2 c_3 + l_2 c_1 c_2) & (-l_3 s_1 s_2 c_3 - l_2 s_1 s_2) & -l_3 s_1 s_2 c_3 \end{vmatrix} \quad (15)$$

$$\det(J) = -l_2 l_3 s_3 (l_2 c_2 + l_3 c_2 c_3) \quad (16)$$

In order to avoid the singular point, the following results were obtained by equalizing the determinant to zero:

Since l₂ and l₃ can never be zero, either of the following has to be true here: s₃=0 or l₂c₂ + l₃c₂c₃ = 0. Considering these principles, θ₃=0 and θ₃=π must not occur. In addition, P_x=P_y=0 values must be avoided. The geometry of the manipulator does not allow this, either. There are angle values that should not be reached technically. These values were completely determined by the geometric properties of the manipulator. The working ranges of θ₂ and θ₃ based on geometric constraints are as follows:

$$\Theta_1 = 0 \sim 360^\circ \quad \Theta_2 = 0 \sim 89^\circ \quad \text{and} \quad \Theta_3 = -90^\circ \sim -160^\circ \quad (17)$$

4. SIMULATION OF THE TAPPING MACHINE BY MATLAB SIMMECHANICS

In this section, the obtained equations were simulated through MATLAB Simmechanics module to analyze what kind of problems could be encountered at the specific points reached by the robot arm.

Simmechanics is a Simulink-based software in which the environmental analysis and research of the controller system is carried out in an interdisciplinary way. Simmechanics enables intuitive and efficient dynamic analysis and meaningful modeling of multi-limbed mechanical systems. All work is done in simulink environment [16].

First, a solid model was created by making necessary simplifications in SolidWorks. Then the solid model was transferred onto MatLab through Simmechanics Link. Here, the mechanical structure of the mechanical system was obtained. Figure 6 shows the scheme of the mechanical system obtained in Simmechanics.

As shown in Figure 6, the robot consists of serially connected limbs and joints. In the figure, Revolute 1, Revolute 2, and Revolute 3 refer to each rotational joint. The part between the two revolutes refers to the limbs. Notmuch work was done on the limbs as the limbs would be actuated from the joint points. The main work was done on the joints as the control of the servo motors placed in the joints constituted the basis of the movement of the system.



Figure 6. The schematic structure of the mechanical system obtained in Matlab Simmechanics module.

Each rotational joint was provided with a joint actuator, and the limb was given a rotational movement. A sensor was connected to the rotational joint as an output. Thus, feedback from the movement given became possible. Figure 7 presents the control scheme and angle values of the manipulator based on position input.

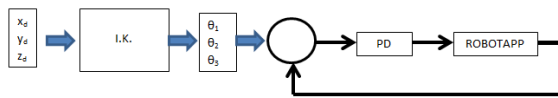


Figure 7. The control scheme and angle values of the manipulator (X_d =desired x position, I.K.=inverse kinematics).

Control information of rotational joints is preferred as angular position, angular velocity, and angular acceleration. As showed in Figure 8, the angular mobility of the system was characterized by use of sub-functions.

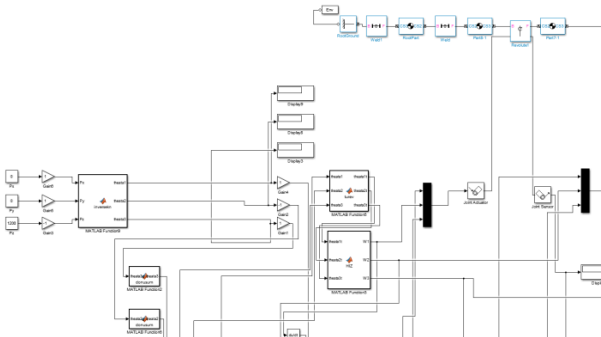


Figure 8. Matlab functions feeding the actuator.

Figure 9 presents the entire manipulator system. Thanks to this system, the end effector of the manipulator in which the position values were given as input reached the

desired position, and the resultant value was obtained correctly with the help of the displays. The movement was given based on time. The orbit equation limiting when it should be in what position was also taken into account in this block diagram.

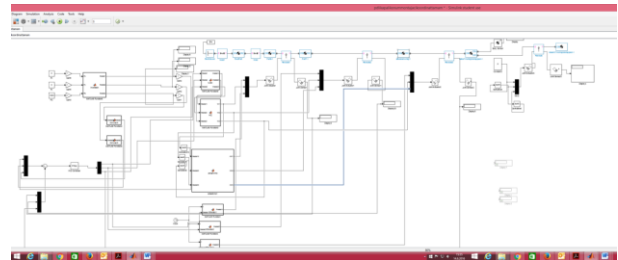


Figure 9. Block diagram for the general simulation of the tapping manipulator.

After the simulation block diagram was constructed, tests were performed for different position coordinates, and the operation tests were performed. Working space values were determined. In Figure 10, images for the positions $P_x = 549.3\text{mm}$, $P_y = 460.9\text{mm}$, and $P_z = -325.1\text{mm}$ within different periods of time during simulation are displayed.



Figure 10. Images for the positions $P_x = 549.3\text{mm}$, $P_y = 460.9\text{mm}$, and $P_z = -325.1\text{mm}$ within different periods of time during simulation.

Figure 11 provides the time-dependent graph of angular position change for each joint. According to the data obtained from it, the correct angle values were seen to have been reached for the desired position.

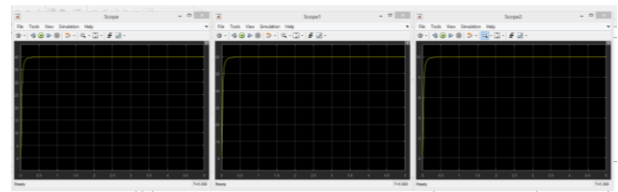


Figure 11. Angular position-time graphs of the first and second joints.

5. CONCLUSION

In this study, tapping machine, which mostly had a manual control, was equipped with computer controlled structure with the help of servo motors. The kinematic equations solved based on the Denavit Hartenberg principle were simulated via Simmechanics. The passive system of the tapping machine was modeled by use of SolidWorks software and exported to SimMechanics. SimMechanics module was found to be a very practical analysis tool for mechanism control in machine manufacturing with its standby blocks and MFunction blocks. The treatment of the system as a passive system

and the determination of its movement characteristics were fruitful for analyzing the compatibility of the system with new orbits. Thanks to PD, errors emerging in the system were compensated. As the operations to be performed in the tapping machine would not produce intense and complex dynamic effects and tapping would be performed at a constant speed, the need for acceleration analysis reduced. For this reason, the use of PD was sufficient for the system design.

In this study, tapping operation was subjected to automation. Automation has many advantages in mass production. The largest contribution of the device is to successfully carry out small tolerance tapping. Another advantage is the reduction in errors due to human factor in mass production. In the experiments, it has been observed that the device reduces labor costs. With the optimum design of the tapping machine, the simulation became effective. Simulation of the device focuses on unobtrusive details at the design stage. Thus the most ideal design has been achieved.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by Republic of Turkey Ministry of Science, Industry and Technology, General Directorate of Science and Technology 0353.STZ.2013-2 (SAN-TEZ, Ankara, Turkey).

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Funding: This study was supported by Republic of Turkey Ministry of Science, Industry and Technology, General Directorate of Science and Technology, (Research project No: 0353.STZ.2013-2).

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Brooks R, "Flesh and Machines", *Pantheon Books*, New York (2002).
- [2] Craig J. J., "Introduction Robotics Mechanics and Control", *Prentice*, New Jersey, (2005).
- [3] Bhowmick S., Lukitsch M. J. and Alpas A. T., "Tapping of Al-Si alloys with diamond-like carbon coated tools and minimum quantity lubrication", *Journal of Materials Processing Technology*, 210(15): 2142-2153, (2010)
- [4] Uzun G., Korkut İ., "Effect of cutting conditions on the cutting torque and tool life in the tapping process for AISI 304 stainless steel", *Materials and Technology*, 50(2):275-280 (2016).
- [5] Uzun G., Korkut İ., "The effect of cryogenic treatment on tapping", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67:857-864 (2013).
- [6] Avuncan G., "Economy of Cutting and Cutting Tools (Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar)", *Mavi Tanıtım ve Pazarlama Ltd. Şti.*, Gebze, (1998).
- [7] Akkurt M., "Machining methods and machine tools (Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları)", *Birsen Yayınevi*, Turkey, (1992).
- [8] Sharma R., Kumar V., Gaur P. , Mittal A. P., "An adaptive PID like controller using mix locally recurrent neural network for robotic manipulator with variable payload", *ISA Transaction*,62: 258-267, (2016).
- [9] Zhao D., Ni W. , Zhu Q., "A framework of neural networks based consensus control for multiple robotic manipulators", *Neurocomputing*, 140: 8-18, (2014).
- [10] Messay T., Ordóñez R., Marcil E. "Computationally efficient and robust kinematic calibration methodologies", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* , 37: 33-48, (2016).
- [11] Malek K. A., Othman S., "Multiple sweeping using the Denavit–Hartenberg representation method", *Computer-Aided Design*, 31:567-583, (1999).
- [12] Balkan T., Özgören M. K., Arıkan M. S., Baykurt H. M., "A method of inverse kinematics solution including singular", *Mechanism and Machine Theory* , 35:1221-1237, (2000).
- [13] Chikhaoui M. T., Rabenoroso K., Andreff N., "Kinematics and performance analysis of a novel concentric tube", *Mechanism and Machine Theory*, 104:234-254, (2016).
- [14] Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G., "Robotics: Modelling, Planning and Control", *Springer*, London, (2009).
- [15] Hijazi A., Brethé J. F. , Lefebvre D., "Singularity analysis of a planar robotic manipulator: Application to an XY-Theta platform", *Mechanism and Machine Theory*, 100: 104-119, (2016).
- [16] Zheng wen L., Guo-liang Z., Wei-ping Z. , Bin J. "A Simulation Platform Design of Humanoid Robot Based on SimMechanics and VRML", *Procedia Engineering*, 15 : 215-219, (2011).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Impact of heat treatment on weight loss during combustion of laminated veneer lumber (LVL)

Isıl işlemin lamine kaplama kerestenin (LVL) yanma esnasındaki ağırlık kaybına etkisi

Yazar(lar) (Author(s)): Osman PERÇİN¹, Mustafa ALTUNOK²

ORCID¹: 0000-0003-0033-0918

ORCID²: 0000-0002-2048-1994

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Perçin O., Altunok M., “Impact of heat treatment on weight loss during combustion of laminated veneer lumber (LVL)”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 437-442, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.404011

Impact Of Heat Treatment On Weight Loss During Combustion Of Laminated Veneer Lumber (LVL)

Araştırma Makalesi / Research Article

Osman PERÇİN^{1*}, Mustafa ALTUNOK²

¹Necmettin Erbakan University, Faculty of Fine Arts, Department of Interior Architecture and Environmental Design, 42100, Konya-Turkey

²Gazi University, Faculty of Technology, Department of Wood Products Industry Engineering, 06500, Ankara-Turkey

(Geliş /Received : 30.01.2018 ; Kabul /Accepted : 14.02.2018)

ABSTRACT

This study was performed to determine the effects of heat treatment on weight loss during combustion of the laminated wood materials produced from Oriental beech (*Fagus orientalis* L.), scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), sessile oak (*Quercus petraea* L.), and poplar (*Populus nigra* L.) veneers bonded with PVAc-D₄, PUR and MF adhesives. For this aim, the weight loss during combustion of the test samples was determined according to ASTM E 160-50. The results of this study indicated that the weight loss percentage was the highest in poplar wood (89.17%), PVAc-D₄ adhesive (89.79%) and control samples (88.69%). In the interaction of the wood materials and type of adhesive, the highest value was measured in poplar+PUR (90.93%), interaction of the wood materials and heat treatment in poplar + control samples (90.87%), in the interaction of the type of adhesive and heat treatment in PVAc-D₄ + 185 °C (91.10%). In the interaction of the wood material, type of adhesive and heat treatment temperature, the highest value was determined in laminated control poplar samples with PUR adhesive (93%), while the lowest in laminated scotch pine samples with MF and heat-treated at 185 °C (81.83%). The use of laminated and heat-treated wood material in places where in high risk of fire, impregnation of wood material with fire-retardant compounds can be suggested.

Keywords: Heat treatment, weight loss, combustion, adhesive, wood material.

Isıl İşlemin Lamine Kaplama Kerestenin (LVL) Yanma Esnasındaki Ağırlık Kaybına Etkisi

ÖZ

Bu çalışma, ısıl işlemin Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.), ve kavak (*Populus nigra* L.) kaplamalardan PVAc-D₄, PUR and MF tutkalları ile lamine edilmiş ağaç malzemelerin yanma esnasında ağırlık kaybına etkilerini belirlemek için yapılmıştır. Bu amaçla yanma esnasındaki ağırlık kayıpları ASTM E 160-50 standartına göre belirlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek ağırlık kaybı, kavak odununda (%89.17), PVAc-D₄ tutkalında (%89.79) ve kontrol (ısıl işlemsiz) örneklerde (%88.69) belirlenmiştir. Ağaç malzeme ve tutkal türü etkileşiminde en yüksek ağırlık kaybı kavak + PUR kombinasyonunda (%90.93), ağaç malzeme ve ısıl işlem etkileşiminde en yüksek ağırlık kaybı kavak + kontrol (ısıl işlemsiz) örneklerde (%90.87), tutkal türü ve ısıl işlem etkileşiminde en yüksek ağırlık kaybı PVAc-D₄ tutkalı + 185 °C'de (%91.10) belirlenmiştir. Ağaç malzeme, tutkal türü ve ısıl işlem etkileşiminde ise en yüksek ağırlık kaybı PUR tutkalı ile lamine edilmiş kontrol kavak örneklerde (%93), en düşük ise MF tutkalı ile lamine edilmiş ve 185 °C'de ısıl işlem uygulanmış sarıçam örneklerde (%81.83) belirlenmiştir. Yangın riskinin yüksek olan yerlerde lamine edilmiş ve ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanılması durumunda yangın geciktirici kimyasal maddelerle empenye edilerek kullanılması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem, ağırlık kaybı, yanma, tutkal, ağaç malzeme

1. INTRODUCTION

Wood is optimal construction material which one of the few renewable and sustainable natural sources. It has been used for many purposes by humans for thousands of years because of its excellent properties [1-3]. The demand for the use of wood materials for implementations in both interior and exterior construction has been raising in recent years and it is still most widely used as building and construction materials [4].

Chemically, wood material is composed mainly of carbon, hydrogen, and oxygen. Generally, the hydrogen concentration is extremely low 6%, the carbon content of wood is about 50% , whereas the oxygen is 44% [5]. For this reason, wood is combustible material [6]. Combustion properties of wood material has been extensively studied because of its use as a construction material in many wood and wood-based systems. The combustibility of the wood is frequently contributed to undesired and unexpected potential fires, leading to numerous wounds and casualties [4]. Making wood incombustible is not possible, however, making wood fire retardant is feasible [7]. Treatment of wood materials

*Corresponding Author
e-mail : opercin@konya.edu.tr

with some fire retardant chemicals is one of the most efficient ways to preserve it from fire and provide safety [8,9]. Some of these chemicals can be harmful to human health and to the environment. The some chemicals provide high protection, while others provide low protection. In addition, always impregnated wood material is not used in interior and exterior applications[4,9].

In a study, Uysal [10] it was found that, Diammonium phosphate chemicals was the most efficient fire-retardant in LVL wood. Another study prepared by Ozciftci et al. [11] studied the combustion characteristics of LVL produced from beech (*Fagus orientalis* L.) wood impregnated with boric acid, borax, and diammonium phosphate. In the study, they reported the lowest values for combustion temperature were obtained in the specimens glued with MF and treated with diammonium phosphate and boron compounds mixture. Atar [12] conducted a study to specify the impacts of varnish process after impregnating with boron compounds on combustion features of oak (*Quercus petraea* L.). The test specimens were impregnated with boric acid and borax. Following impregnation, surfaces were varnished by some varnish systems. As a consequence, used varnish systems showed an enhancing impact but boron compounds displayed diminishing effect on combustion properties of oak. In an another study conducted by Said Fidan et al. [13] they examined the impact of impregnation and surface treatment materials combustion properties of wood. The results of study indicated that the combustion parameters were lower in the 1-year-old samples 89.12% of control values, in the samples impregnated with the use of Wolmanit-CB 89.18% of control values, and in samples treated using water-based varnish 88.43% of control. Ors et al. [14], studied that the effect of some fire retardant chemicals on combustion properties of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. They reported that boron compounds have positive impact on combustion properties of wood material. Martinka et al. [15] investigated that the impact of heat treatment on the heat release rate and propensity for fire propagation in the flashover phase of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and English oak (*Quercus robur*) woods. As a result, test results proved that thermally-modified of spruce and oak wood has no impact on the propensity for fire propagation in the flashover phase. They also reported that applied heat treatment was a significant effect on the heat release rate of spruce and oak woods.

Both laminated wood and heat-treated wood materials have a growing market in indoor and outdoor applications for years. The effect of lamination process and heat treatment on physical, chemical and mechanical properties of wood has been extensively investigated. There have been relatively few studies describing their combustion properties evaluation. Knowledge about combustion properties of the laminated veneer lumbers subjected to heat treatment after the laminating process can be important for scientists in the same topic and

woodworking industry. For this reason this study was performed to determine the effects of heat treatment on combustion properties of the laminated wood materials produced of beech (*Fagus orientalis* L.), scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), sessile oak (*Quercus petraea* L.), and poplar (*Populus nigra* L.) veneers bonded with PVAc-D₄, PUR and MF adhesives.

2. MATERIAL and METHOD

2.1. Material

2.1.1. Wood material

As test materials, the veneers (2mm thickness) were obtained from sessile oak (*Quercus petraea* L.), Oriental beech (*Fagus orientalis* L.), scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) and poplar (*Populus nigra* L.) logs used. Woods were obtained from Ankara province timber management completely randomly. These tree species have been preferred due to their widespread use in the woodworking and furniture industries.

2.1.2. Adhesive

The following adhesives were used in this experiment because of they are widely used in the industry.

Polyvinylacetate-D₄ (PVAc-D₄) (Kleiberit) is an odorless and non-flammable adhesive. The density is 1.120 g/cm³, the viscosity (at 20 °C) 13000±2.000 mPa.s, and pH value 7.5. The gel time is 6-10 min, and amount applied 200g/m². PVAc-D₄ adhesive was obtained from Kleiberit PVAc-303 adhesive with addition of 5% Kleiberit Turbo-hardener 303.5 [16].

Polyurethane Kleiberit 501 (PUR) is a single component adhesive that the bonds are extremely strong and temperature and water resistant. Specific gravity is (at 20 °C) 1.13 g/cm³, viscosity (at 20 °C) 8000 mPa.s, and curing time 2-3 h. The pH value is 7 and, amount applied 200g/m² [16].

Melamine formaldehyde (MF) resins are used widely as adhesives for interior and exterior applications, plywood and particleboard. Density of MF adhesive 1.200g/cm³, pH value 9.3, viscosity (at 20°C) 60 cPs, and amount applied 200g/m² [17,18]. Adhesives were obtained from commercial firms in Turkey.

2.2. Method

2.2.1. Preparation of test samples

The veneers without defects were selected and resized in samples with 150 x 950 mm (width x length). Production of LVL was conducted in laboratory conditions. The adhesives were spread to one surface of veneer by using a roll. The spreading rate of adhesive was approximately 200 g/m². LVL panels were obtained by bonding ten veneers. The pressure applied by the hot press for the LVL boards were 1 N/mm² for poplar and scotch pine veneers and 1.2 N/mm² for oak and beech veneers. The duration of the press and the temperature were 20 min and 80 °C, respectively for MF and PVAc-D₄, and 20 min and 60 °C for PUR adhesive. Enough panels were produced for each of the test groups according to TS EN

386 [19] and they were stored for one week for exact curing.

Panels were heat treated at 185 °C and 212 °C in a heat treatment oven under a normal atmosphere controlled in ±1°C temperature sensitivity under hot steam. The used heat treatment process was divided into three continuous phases (Figure 1). In the first phase oven temperature was increased to 100 °C for 6 h, then temperature was increased to 130°C for 12 h, in the second phase temperature was increased from 130 °C to 185 °C and 212 °C for 6 h and these temperatures were kept constant for 2 h, in the final phase temperature of the oven was decreased to initial temperature for 12 h. At the end of the heat treatment process, 10 mm edges were cut off of the panels.

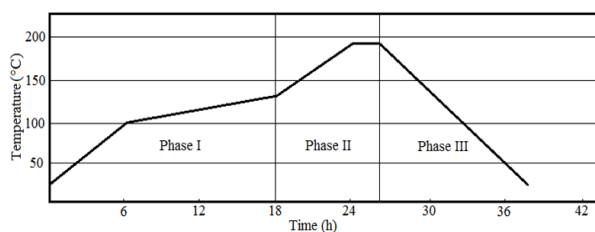


Figure 1. Example of a heat treatment process.

Combustion test samples were prepared from the panels with dimensions of 13 x 13 x 76 mm according to the ASTM E 160-50 [20] principles. In the combustion tests, each sample group was weighed before tests. The combustion test was carried out in three stages. Flame source was centered below sample pile and flame source combustion phase (FSC) was continued for 3 min. Then the flame source was extinguished and were carried out consecutive the other two combustion stages (without flame source (WFSC) combustion, ember combustion (E) stage). After combustion tests, the weights of test specimens were weighed and the weight loss (%) value was calculated by using following formula.

$$WL(\%) = [(Wb - Wa) / Wb] \times 100 \tag{1}$$

Here WL is weight loss (%) of test samples, Wb is weight of test sample before combustion (g), Wa is weight of test sample after combustion (g).

2.3. Statistical analyses

In the evaluation of the data, the MSTAT-C statistical software program was used. In this study, four types of wood, three types of adhesive, two types of temperature and one control samples, a total of 108 samples (4 x 3 x 3 x 3) were prepared with three samples for weight loss during combustion. The values of the factor effects of heat treatment temperature, wood type and adhesive type on weight loss were determined using the analysis of variance (ANOVA) procedure. When the variance among groups were determined to be significant, Duncan test was utilized to specify the variances between average values at the appointed level of α=0.05.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Mean values of weight loss for different wood material, types of adhesive and heat treatment temperature are given in Table 1. Results of ANOVA, for effect of wood material, type of adhesive and heat treatment temperature on the weight loss rate of LVL samples are given in Table 2.

Table 1. Average of the weight loss of wood material, types of adhesive and heat treatment temperature

Type of material and treatment		Statistical Values	
		X(%)	HG
Wood material*	Poplar	89.17	A
	Scotch	88.30	B
	Oak	87.23	C
	Beech	86.08	D
Type of adhesive**	PVAc-D ₄	89.79	A
	PUR	87.90	B
	MF	85.39	C
Heat treatment temperature***	Control	88.69	A
	185 °C	88.00	B
	212 °C	86.39	C

Different letters in the columns refer to significant changes in the weight loss at 0.05 confidence level (*LSD: 0.5756, ** LSD: 0.4985, LSD: 0.3411), HG: Degree of Homogeny

According to the wood material the highest weight loss rate was determined in poplar wood, and the lowest was found in beech wood. This situation may be due to the different density values of wood materials. For type of adhesive, highest result was determined in PVAc-D₄, and the lowest was found in MF adhesive. For heat treatment temperature, the highest weight loss was obtained at 185 °C, and the lowest was found at 212 °C. However, the control samples have the highest rate. The difference in weight loss between the two heat treatment temperature was about 2%. Accordingly, in general it is possible to say that heat treatment decreased weight loss rate. The weight loss values were showed differences in all material and treatment.

Effects of wood material, type of adhesive, heat treatment temperature and all interactions on weight loss rate were found to be significant (α =0.05) (Table 2). Average temperature values according to wood material + type of adhesive, wood material + heat treatment temperature, and type of adhesive + heat treatment temperature combinations are given in Table 3. Duncan test was utilized to specify the variances between average values at the appointed level of α=0.05. Duncan Test results are given in Table 4.

Table 2. Results of variance analysis (ANOVA) on the eight loss rate of LVL samples

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Signature (P<0.05)
Factor A	3	144.609	48.203	42.3418	0.0000
Factor B	2	351.222	175.611	154.2579	0.0000
AB	6	87.967	14.661	12.8785	0.0000
Factor C	2	99.925	49.963	43.8875	0.0000
AC	6	40.911	6.819	5.9894	0.0000
BC	4	89.980	22.495	19.7598	0.0000
ABC	12	163.323	13.610	11.9553	0.0000
Error	72	81.967	1.138		
Total	107	1059.905			

Factor A = Wood material (Beech, Oak, Scotch pine, Poplar); Factor B = Adhesive (PVAc-D₄, PUR, MF)

Factor C = Heat treatment temperature (Control, 185 °C, 212 °C)

According to wood material + type of adhesive weight loss rate was measured as the highest in poplar+PUR, but the lowest in beech + MF adhesive (Table 3). This result may be due to the from difference of the used materials. Atar and Keskin [21] studied impacts of coating with various varnishes after impregnation with boron compounds on the combustion properties of Uludag fir (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) wood. They reported that the tested varnishes showed an increasing impact but boron compounds (Ba and Bx) showed a decreasing impact on combustion properties of Uludag fir wood.

According to wood material + heat treatment, the highest weight loss was in poplar + control samples, but the lowest in beech + 212 °C. This situation may be derived from density differences of wood material and heat treatment temperature. Čekovská et al. [22] studied the fire resistance of heat-treated Spruce (*Picea abies* L.) wood. They reported that applied heat treatment temperatures affected weight loss of wood material. It was the highest in PVAc-D₄ + 185°C, but the lowest in MF+185°C combination according to type of adhesive + heat treatment. This result may be originated from the properties of MF adhesive. Sadiye Yasar et al. [23] stated that better combustion properties for spruce (*Picea orientalis* L.) wood were obtained from the Wolmanit-CB impregnation material and synthetic varnish combination. Atar [24] declared that the varnishes tested revealed an ascending effect, however, boron compounds displayed an diminishing effect on combustion properties of oak (*Quercus petraea* L) wood.).

Table 3. Average weight loss for the combination of type of material and treatment

Wood material + type of adhesive*	X(%)	HG
Poplar+PUR	90.93	A
Poplar+PVAc-D ₄	90.89	A
Scotch pine+PVAc-D ₄	90.70	A
Beech+PVAc-D ₄	89.24	B
Oak+PVAc-D ₄	88.33	BC
Oak+PUR	88.11	C
Scotch pine+PUR	87.54	CD
Scotch pine+MF	86.64	DE
Poplar+MF	85.68	EF
Oak+MF	85.26	F
Beech+PUR	85.01	F
Beech+MF	83.98	G
Wood material+heat treatment**	X(%)	HG
Poplar+Control	90.87	A
Poplar+185°C	90.06	AB
Scotch pine+Control	89.29	B
Oak+Control	88.14	C
Scotch pine+185°C	87.84	C
Scotch pine+212°C	87.76	C
Oak+185°C	87.76	C
Poplar+212°C	86.58	D
Beech+Control	86.44	DE
Beech+185°C	86.36	DE
Oak+212°C	85.80	DE
Beech+212 °C	85.43	E
Type of adhesive+heat treatment***	X(%)	HG
PVAc-D ₄ +185°C	91.10	A
PUR+Control	89.86	B
PVAc-D ₄ +Control	89.33	BC
PVAc-D ₄ +212°C	88.94	CD
PUR+185°C	88.36	D
MF+Control	86.87	E
PUR+212°C	85.48	F
MF+212°C	84.75	FG
MF+185°C	84.55	G

(*LSD: 0.9969,** LSD: 0.9969, LSD: 0.8633),

Table 4. Duncan Test Results

Wood material+ type of adhesive+	X	HG	Wood material+ type of adhesive+heat treatment	X	HG
Poplar+PUR+Control	93.00	A	Scotch pine+MF+Control	88.33	FGHIJ
Poplar+PVA _c -D ₄ +185°C	92.53	AB	Poplar+PUR+212°C	87.90	FGHIJK
Scotch pine+ PVA _c -D ₄ +185°C	92.37	ABC	Beech+ PVA _c -D ₄ +Control	87.73	GHIJK
Poplar+PUR+185°C	91.90	ABC	Beech+PUR+Control	87.67	HIJKL
Beech+ PVA _c -D ₄ +185°C	91.07	BCD	Oak+ PVA _c -D ₄ +212°C	87.43	IJKL
Poplar+ PVA _c -D ₄ +Control	90.50	CDE	Oak+PUR+212°C	86.60	JKL
Scotch pine+ PVA _c -D ₄ +Control	89.97	DEF	Oak+MF+185°C	86.30	KL
Scotch pine+ PVA _c -D ₄ +212°C	89.77	DEFG	Oak+MF+Control	86.10	KLM
Scotch pine+MF+212°C	89.77	DEFG	Poplar+MF+185°C	85.73	LMN
Poplar+ PVA _c -D ₄ +212°C	89.63	DEFGH	Beech+MF+185°C	84.33	MNO
Scotch pine+PUR+Control	89.57	DEFGH	Beech+MF+Control	83.93	NOP
Scotch pine+PUR+185°C	89.33	DEFGHI	Scotch pine+PUR+212°C	83.73	OPQ
Oak+PUR+Control	89.20	DEFGHI	Beech+PUR+212°C	83.70	OPQ
Oak+ PVA _c -D ₄ +Control	89.13	DEFGHI	Beech+PUR+185°C	83.67	OPQ
Poplar+MF+Control	89.10	DEFGHI	Beech+MF+212°C	83.67	OPQ
Beech+ PVA _c -D ₄ +212°C	88.93	EFGHI	Oak+MF+212°C	83.37	OPQ
Oak+PUR+185°C	88.53	EFGHIJ	Poplar+MF+212°C	82.20	PQ
Oak+ PVA _c -D ₄ +185°C	88.43	EFGHIJ	Scotch pine+MF+185°C	81.83	Q

According to the Table 4, the highest weight loss rate was determined in laminated control poplar with PUR adhesive, while the lowest in laminated with MF and heat-treated at 185°C scotch pine samples. In general, the lower weight loss was recorded in beech and oak samples more than scotch pine and poplar. MF also gave better results than PUR and PVA_c-D₄ adhesives, while PUR adhesive was showed lowest thermal strength to the temperature. With increasing temperature PUR bondlines of veneer between deteriorated. Result shows that the weight loss rate decrease with an increase in heat temperature especially beech and oak woods. Osvaldová and Gaff [25] studied that different thermal modifications and the influence of fire retardant on combustion properties of thermally modified spruce (*Picea abies* L.) wood. They reported that the highest burning rate has been reached with heat-treated samples at 210°C. However, those treated with a fire retardant, had the lowest burning rate. The test results show that fire retardant treated and heat-treated spruce wood has lower weight losses than non-treated spruce wood. Also, Müllerová [26] reported thermally treated spruce wood reduce the smoke released when compared with untreated sample. Heat treated pine shows opposite effect. Thermally treated soft wood has decreased ignition time and heat release while burning. In another study was conducted by Wang and Cooper [27] declared that the heat treatment of wood in plant oils decreases its resistance to the spread of flame.

4. CONCLUSION

Heat treatment is one of the methods of protecting wood, which increases its resistance to biological degradation, improves its dimensional stability and color. Based on the findings obtained from the present study, it can be said that the heat treatment changes the natural properties

of the wood. The beech wood had a lower weight loss than the oak, poplar and scotch pine woods. The melamine-formaldehyde (MF) among adhesives give better results than other types of adhesive in the test samples. Weight loss rate of the wood samples which were laminated and then heat treated in an oven were a little lower than the control samples. The weight loss ratio decreased by nearly 1% in the samples which heat-treated at 185 °C and 2.6% at 212 °C when compared with the control samples. For the wood material, adhesive type and heat treatment temperature was the highest weight loss value in poplar + PVA_c-D₄ + 185°C as 92.53%, the lowest in scotch pine + MF + 185°C determined as 81.83%. Consequently, the use of heat-treated wood material in places where in high risk of fire, impregnation of wood material with fire-retardant compounds and extra measurements on combustion properties can be suggested.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is a portion of the Ph.D thesis prepared by Osman Perçin, Institute of Science and Technology, Gazi University, Ankara, Turkey. This study also, is a portion of the Project that was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey, (TUBITAK), TOVAG Project Number: 110O020.

REFERENCES

- Ors Y., Keskin H., "Ağaç malzeme bilgisi", *Atlas Yayın Dağıtım*, ISBN: 975-6574-01-1, İstanbul, (2001).
- Yorur H., Kurt S., and Uysal, B., "Bonding strength of oak with different adhesives after humid-water-heat tests", *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(7): 690–701, (2014).

- [3] Yorur H., Kayahan K., Günay M. N., Altun S., and Şeker, B., "The effects of liquid nitrogen treatment on the some physical and mechanical properties of scots pine and oriental spruce wood", *Turkish Journal of Forestry*, 18(4): 309-313, (2017).
- [4] Lowden L. A., and Hull T. R., "Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction", *Fire Science Reviews*, 2(4): 1-19, (2013).
- [5] Roger C. P., "The chemical composition of wood", in *The Chemistry of Solid Wood*, Edited by Rowell R., Advances in Chemistry Series 207, Chapter 2, 57-126, American Chemical Society, Washington, D.C. (1984).
- [6] Keskin H., "Effects of Impregnation Solutions on weight loss during combustion of laminated veneer lumber", *G.U. Journal of Science*, 22(3): 235-243, (2009).
- [7] Baysal E., "Combustion properties of wood impregnated with commercial fertilizers", *African Journal of Biotechnology*, 10(82): 19255-19260, (2011).
- [8] He X., Li X., Zhong Z., Yan Y., Mou Q., Yao C., and Wang, W., "The fabrication and properties characterization of wood-based flame retardant composites", *Journal of Nanomaterials*, Article ID 878357, 1-6, (2014).
- [9] Keskin H., Atar M., and Izciler M., "Impacts of impregnation chemicals on combustion properties of the laminated wood materials produced combination of beech and poplar veneers", *Construction and Building Materials*, 23: 634-643, (2009).
- [10] Uysal B., "Combustion properties of laminated veneer lumbers bonded with polyvinyl acetate and phenol formaldehyde adhesives and impregnated with some chemicals", *Combustion Science and Technology*, 177(7):1253-1271 (2005).
- [11] Ozcifci A., Toker H., and Baysal, E., "Fire properties of laminated veneer lumber treated with some fire retardants", *Wood Research*, 52(4): 37-46 (2007).
- [12] Atar M., "Impacts of varnishes and impregnation chemicals on combustion properties of oak (*Quercus petraea* lipsky)", *Journal of Applied Polymer Science*, 107(6): 3981-3986, (2008).
- [13] Said Fidan M., Sadiye Yasar S., Yaşar M., Atar M., and Alkan, E., "Characterization of the combustion parameters of impregnated and varnished cedar wood (*Cedrus libani*)". *Forest Products Journal*, 66 (5-6): 290-299, (2016).
- [14] Ors Y., Atar M., and Peker H., "Sarıçam odununun yanma özelliklerinin bazı borlu bileşikler ve su itici maddelerin etkileri", *Türk Tarım Ve Ormancılık Dergisi*, TÜBİTAK Yayınları, Ankara, s. 501 - 509, (1999).
- [15] Martinka J., Kačíkova D., Rantuch P., and Balog, K., "Investigation of the influence of spruce and oak wood heat treatment upon heat release rate and propensity for fire propagation in the flashover phase", *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 58(1): 5-14, (2016).
- [16] Kleiberit product catalog, 2017: <https://www.kleiberit.com/en/media-library/info-sheets.html> (10.04.2017).
- [17] Sahin Kol, H., Ozbay, G. and Altun, S. "Shear strength of heat-treated tali (*Erythrophleum Ivorense*) and iroko (*Chlorophora Excelsa*) woods, bonded with various adhesives", *BioResources*, 4(4): 1545-1554, (2009).
- [18] Pizzi A., "Melamine-formaldehyde resins", in *Handbook of Adhesive Technology*, Pizzi A., and Mittal K. L. (Eds.), Marcel Dekker Inc, (2nd edition) New York, USA. (2002).
- [19] TS EN 386 "Glued laminated timber- Performance requirements and minimum production requirements", Turkish Standards Institution, Ankara, Turkey, (1999).
- [20] ASTM E 160-50 "Standard test method for combustible properties of treated wood by the cribe test", West Conshohocken, PA, USA: ASTM Standards (1975).
- [21] Atar M., and Keskin H., "Impacts of coating with various varnishes after impregnation with boron compounds on the combustion properties of Uludag fir", *Journal of Applied Polymer Science*, 106: 4018-4023, (2007)..
- [22] Čekovská H., Gaff M., Osvald A., Kačík F., and Kubš J., "Fire resistance of thermally Modified Spruce Wood", *BioResources*, 12(1): 947-959, (2017).
- [23] Sadiye Yasar S., Said Fidan M., Yasar M., Atar M., and Alkan, E., "Combustion properties of impregnated spruce (*Picea orientalis* L.) wood", *Construction and Building Materials*, 143: 574-579, (2017).
- [24] Atar M., "Impacts of Varnishes and Impregnation Chemicals on Combustion Properties of Oak (*Quercus petraea* Lipsky)", *Journal of Applied Polymer Science*, 107: 3981-3986, (2008).
- [25] Osvaldová L. M., and Gaff M., "Retardation Effect On Thermally-Modified Spruce Wood", in *Sustainable Development and Planning IX*, Etd. Brebbia C. A., Longhurst J., Marco E., Booth C., WIT Transactions on Ecology and The environment 226: 537-546, (2017).
- [26] Müllerová J., "Fire Safety Properties of Heat Treated Wood", *Research Journal of Recent Sciences*, 2(12): 80-82, (2013).
- [27] Wang J., and Cooper P. A., "Fire, flame resistance and thermal properties of oil thermally-treated wood", *The international research group on wood protection* (IRG/WP) 07, Jackson, MS, USA. IRG/WP 07-40361, (2007).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



A new perspective on the numerical solution for fractional Klein Gordon

Kesirli mertebeden Klein Gordon denkleminin nümerik çözümleri üzerine yeni bir bakış açısı

Yazar(lar) (Author(s)): Berat KARAAGAC¹, Yusuf UCAR², N. Murat YAGMURLU³, Alaattin ESEN⁴

ORCID¹: 0000-0002-6020-3243

ORCID²: 0000-0003-1469-5002

ORCID³: 0000-0003-1593-0254

ORCID⁴: 0000-0002-7927-5941

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karaagac B., Ucar Y., Yagmurlu N. M. ve Esen A., "A new perspective on the numerical solution for fractional Klein Gordon", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 443-451, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.428986

Kesirli Mertebeden Klein Gordon Denklemine Nümerik Çözümleri Üzerine Yeni Bir Bakış Açısı

Araştırma Makalesi / Research Article

Berat KARAAGAC¹, Yusuf UCAR², N. Murat YAGMURLU², Alaattin ESEN²

¹Faculty of Education, Department of Mathematics Education, Adıyaman University, Turkey

²Faculty of Art and Science, Department of Mathematics, Inonu University, Turkey

(Geliş/Received :06.02.2018; Kabul/Accepted :27.05.2018)

ÖZ

Sunulan çalışmada, zamana göre kesirli mertebeden türevli lineer olmayan Klein Gordon denklemini çözmek için yeni bir nümerik şema sunuldu. Kesirli mertebeden denklemin yaklaşık çözümleri kübik B-spline kollokasyon sonlu eleman yöntemi ve L2 algoritmasına dayanmaktadır. Denklemin verilen kesirli türev ise Caputo anlamında ele alınmıştır. Yöntemler kullanılarak, kesirli mertebeden diferansiyel denklem bilgisayar kodlamasına elverişli cebirsel denklem sistemine dönüştürülür. Daha sonra, amaçlanan yöntemin güvenilirliğini ve etkisini göstermek amacı ile iki model problem ele alındı ve hata normları hesaplandı. Yeni hesaplanan hata normları sayısal çözümlerin tam çözümlerle uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu eleman yöntemi, kollokasyon, kesirli mertebeden Klein Gordon denklemi, Caputo türevi.

A New Perspective on The Numerical Solution for Fractional Klein Gordon Equation

ABSTRACT

In the present manuscript, a new numerical scheme is presented for solving the time fractional nonlinear Klein-Gordon equation. The approximate solutions of the fractional equation are based on cubic B-spline collocation finite element method and L2 algorithm. The fractional derivative in the given equation is handled in terms of Caputo sense. Using the methods, fractional differential equation is converted into algebraic equation system that are appropriate for computer coding. Then, two model problems are considered and their error norms are calculated to demonstrate the reliability and efficiency of the proposed method. The newly calculated error norms show that numerical results are in a good agreement with the exact solutions.

Keywords: Finite element method, collocation, Fractional Klein Gordon equation, Caputo derivative.

1. INTRODUCTION

Fractional differential equations own a deep history and also rich theory. Its past is as long as classical calculus and up to date since 1695. Over the years, many mathematician and physicist have been attracted by fractional calculus because of its wide application areas, longterm memory and chaotic behaviour such as physics, biology, finance, fluid dynamics, engineering etc. The development and obtaining numerical and exact solutions of the equations, containing fractional derivative and integral, have gained great and significant importance. So, various methods have been investigated for this purpose. Among others, some of them are [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

In this study, we are going to concern with obtaining numerical solutions of time fractional Klein Gordon equation in terms of Caputo sense derivative which is one of the fundamental equations seen in fractional calculus.

The mathematical expression of the equation is given as

$$D_t^\alpha u(x,t) + au_{xx}(x,t) + bu(x,t) + cu^\beta(x,t)u(x,t) = f(x,t) \quad (1)$$

subject to the following initial and boundary conditions

$$\begin{aligned} u(x,0) &= u_0(x), & u_t(x,0) &= u_1(x) \\ u(0,t) &= h_0(x), & u(1,t) &= h_1(x) \end{aligned} \quad (2)$$

where $D_t^\alpha(\cdot)$ symbolizes α_{th} order fractional derivative according to time variable and the range of α is (1,2].

$f(x,t)$ is a known forced term and in addition to these terms a, b, c and β are real constants and also c can be seen as a variable coefficients in some examples. For $\alpha = 2$, we get the classical Klein Gordon equation which appears in classical relativistic and quantum mechanics and analysing of wave propagation in linear dispersive media. Additionally, The fractional Klein-Gordon equation has many application in nonlocal quantum field theory and stochastic quantization of nonlocal fields [8]

The equation has been solved by several authors using different methods and techniques. Among others, Nagy [7] has solved the problem using a method consisting of

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : bkaraagac@adiyaman.edu.tr

expanding the required approximate solution as the elements of Sinc functions along the space direction and shifted Chebyshev polynomials of the second kind for the time variable. Kheri *et al.* [9] have solved inhomogenous fractional Klein-Gordon equation by the method of separating variables and applied the method for three boundary conditions.

Mohebbi *et al.* [10] have applied a high-order difference scheme for the solution of some time fractional partial differential equations including linear time fractional Klein-Gordon and dissipative Klein-Gordon equations. Lyu and Vong [11] have considered difference schemes for nonlinear timefractional Klein-Gordon type equations. Khader *et al.* [12] have implemented the Chebyshev spectral method for solving the non-linear fractional Klein-Gordon equation and considered the fractional derivative in the Caputo sense. Alqahtani [13] has implemented the spectral collocation method with the help of the Legendre polynomials for solving the non-linear Fractional (Caputo sense) Klein-Gordon Equation. For all that, recent developments in computational methods are lead to improving new numerical methods for solving fractional or ordinary order partial differential equations. One can receive more information about newly research in Refs [14,15,16,17,] and therein.

The manuscript consists of four parts. The first part presents an introduction to the model problem and some research papers on it. The second one covers application of cubic B-spline collocation method to the problem and obtaining numerical formulation. Two different examples of time fractional Klein Gordon equation and their numerical results are considered in the third part for different values of constants and forced term. The last one is conclusion

2. Application of collocation cubic B-spline FEM method to the time fractional Klein Gordon equation

In this part of paper, we are going to obtain numerical solution for the fractional Klein Gordon equation with the help of finite element formulation and cubic spline basis. At first, we discretize the problem in time for fractional derivative with the help of *L2* finite difference approximation. We consider t_j as the grid points for time and Δt are grid size. So time discretization for $t_j = t_0 + j\Delta t (j = 0,1,2,\dots,n)$ is obtain as following [18]

$$D_t^\alpha f(t) = \frac{(\Delta t)^{-\alpha}}{\Gamma(3-\alpha)} \sum_{k=0}^n w^{(1-\alpha)} [f(t_{n+1-k}) - 2f(t_{n-k}) + f(t_{n-1-k})] \tag{3}$$

where $w^{(1-\alpha)} = (k+1)^{(1-\alpha)} - k^{(1-\alpha)}$. $\Gamma(\cdot)$ symbolizes Euler Gamma function and n is the time step as taken $n = \frac{t_{final}}{\Delta t}$. Before construction of numerical scheme, let

us divide the interval $[0,1]$ into N subinterval using $\{x_i\}_{i=0}^N$ nodal points such that

$$0 = x_0 < x_1 < \dots < x_{N-1} < x_N = 1$$

and symbolize each element as a typical element with step size $h = [x_i, x_{i+1}]$. Our aim is to develop an approximate solution for $u(x,t)$ as it will be $U_N(x,t)$ and are used to be linear combination of cubic B-spline basis $(\phi_i(x))$ and time dependent element shape functions $(\delta(t))$ in the form

$$U_N(x,t) = \sum_{m=-1}^{N+1} \delta_m(t) \phi_m(x). \tag{4}$$

In order to define all spline basis in same typical element $[x_i, x_{i+1}]$ and create a systematic procedure for numerical scheme, it is apparent the cubic B-spline basis required a local transformation coordinate instead of global coordinates. So we should use transformation $\xi = x - x_i$ $0 \leq \xi \leq 1$. After the transformation, cubic B-spline basis functions are defined as [19] follows

$$\begin{aligned} \phi_{m-1} &= \frac{(h-\xi)^3}{h^3}, \\ \phi_m &= \frac{h^3 + 3h^2(h-\xi) + 3h(h-\xi)^2 - 3(h-\xi)^3}{h^3}, \\ \phi_{m+1} &= \frac{h^3 + 3h^2\xi + 3h\xi^2 - 3\xi^3}{h^3}, \\ \phi_{m+2} &= \frac{\xi^3}{h^3}. \end{aligned} \tag{5}$$

Moreover the approximate solution can be written in terms of the basis given in (5) as

$$U_N(x,t) = \sum_{i=m-1}^{m+2} \delta(t) \phi_i(\xi). \tag{6}$$

The nodal values of U_N and U'_N at the points x_i are derived using (2) as

$$\begin{aligned} U_N &= \delta_{m-1}(t) + 4\delta_m(t) + \delta_{m+1}(t), \\ U'_N &= \frac{3}{h}(\delta_{m+1}(t) - \delta_{m-1}(t)), \\ U''_N &= \frac{6}{h^2}(\delta_{m-1}(t) - 2\delta_m(t) + \delta_{m+1}(t)). \end{aligned} \tag{7}$$

First all of , we will start to progress with a simple linearization choosing $zm = u_N$. Then substituting (2) into Eq.(1) and using (7), we have

$$\begin{aligned} D_t^\alpha (\delta_{m-1}(t) + 4\delta_m(t) + \delta_{m+1}(t)) \\ + \frac{6a}{h^2} (\delta_{m-1}(t) - 2\delta_m(t) + \delta_{m+1}(t)) \\ + (b + czm^\beta) (\delta_{m-1}(t) + 4\delta_m(t) + \delta_{m+1}(t)) = f(x,t). \end{aligned} \tag{8}$$

going on to obtain numerical scheme, time dependent element shape functions $\delta(t)$ s' are discretized using

L_2 algorithm given in (1.3), forward difference and crank-Nicolson formula as

$$D_t^\alpha \delta(t) = \frac{(\Delta t)^{-\alpha}}{\Gamma(3-\alpha)} \sum_{k=0}^n w^{(1-\alpha)} \left[\delta^{n+1-k}(t) - 2\delta^{n-k}(t) + f\delta^{n-1-k}(t) \right] \quad (9)$$

$$\delta(t) = \frac{\delta^{n+1}(t) + \delta^n(t)}{2}, \quad \dot{\delta}(t) = \frac{\delta^{n+1}(t) - \delta^n(t)}{\Delta t}.$$

At the end, after some calculation and simplification we we get a algebraic equation system consisting $(n+1)_{th}$ time step unknown $\delta^{n+1}(t)$ parameters and n_{th} time step known $\delta^n(t)$ parameters following form

$$\begin{aligned} \delta_{m-1}^{n+1}(t) & \left(1 + \frac{3aS}{h^2} + \frac{(b + czm^\beta)S}{2} \right) + \delta_{m-1}^{n+1}(t) \left(4 - \frac{6aS}{h^2} + 2(b + czm^\beta)S \right) \\ & + \delta_{m+1}^{n+1}(t) \left(1 + \frac{3aS}{h^2} + \frac{(b + czm^\beta)S}{2} \right) = \delta_{m-1}^n(t) \left(2 - \frac{3aS}{h^2} - \frac{(b + czm^\beta)S}{2} \right) \\ & + \delta_m^n(t) \left(8 + \frac{6aS}{h^2} - 2(b + czm^\beta)S \right) + \delta_{m+1}^n(t) \left(2 - \frac{3aS}{h^2} - \frac{(b + czm^\beta)S}{2} \right) \\ & - (\delta_{m-1}^{n-1}(t) + 4\delta_m^{n-1}(t) + \delta_{m+1}^{n-1}(t)) \\ & - \sum_{k=1}^n w^{(1-\alpha)} \left\{ (\delta_{m-1}^{n+1-k}(t) - 2\delta_{m-1}^{n-k}(t) + \delta_{m-1}^{n-1-k}(t)) \right. \\ & + 4(\delta_m^{n+1-k}(t) - 2\delta_m^{n-k}(t) + \delta_m^{n-1-k}(t)) \\ & \left. + \delta_{m+1}^{n+1-k}(t) - 2\delta_{m+1}^{n-k}(t) + \delta_{m+1}^{n-1-k}(t) \right\} + Sf(x,t) \end{aligned} \quad (10)$$

Where $S = \Gamma(3-\alpha)(\Delta t)^\alpha$ and $zm = \delta_{m-1}(t) + 4\delta_m(t) + \delta_{m+1}(t)$. Now we get a system consisting of $(N+1)$ equations and $(N+3)$ unknown variables. Eq. (10) is valid for only interior nodal points so to obtain unique solution one must apply boundary conditions given in (2) to numerical scheme. For this purpose, we employ $u(0,t) = \delta_{-1}(t) + 4\delta_0(t) + \delta_1(t) = h_0(0)$ for $m=0$ and $u(1,t) = \delta_{N-1}(t) + 4\delta_N(t) + \delta_{N+1}(t) = h_1(1)$ for $m=N$. So eliminating $\delta_{-1}(t)$ and $\delta_{N+1}(t)$ from the system we get $(N+1) \times (N+1)$ system of equations. At the last, we have a iterative system. Now, we need an initial vector for begining iteration, so one can obtain $\delta^n(0)$ parameters easily by using initial conditions as $u(x_m,0) = U_N(x_m,0) = u_0(x_m)$. If this is written clearly, we get

$$\begin{aligned} \delta_{-1}(0) + 4\delta_0(0) + \delta_1(0) &= u_0(x_0) \\ \delta_0(0) + 4\delta_1(0) + \delta_2(0) &= u_0(x_1) \\ \vdots & \\ \delta_{N-2}(0) + 4\delta_{N-1}(0) + \delta_N(0) &= u_0(x_{N-1}) \\ \delta_{N-1}(0) + 4\delta_N(0) + \delta_{N+1}(0) &= u_0(x_N) \end{aligned} \quad (11)$$

as seen from the Eq. (11), there exist $(N+1)$ equations and $(N+3)$ unknown variables. $\delta_{-1}(0)$ and $\delta_{N+1}(0)$ parameters can be eliminated using $u(0,0) = U_N(0,0) = \delta_{-1}(0) + 4\delta_0(0) + \delta_1(0)$ and $u(1,0) = U_N(1,0) = \delta_{N-1}(0) + 4\delta_N(0) + \delta_{N+1}(0)$. this system can now be solved with any algorithm and iteration can be started.

3. Numerical Tests for Time Fractional Klein Gordon Equation

In the third section of the manuscript, we are going to demonstrate efficiency and applicability of numerical method using two test problems. For two examples, since the exact solutions of the examples are known, we are going to calculate error norms L_2 and L_∞ using the definition given as below;

$$L_2 = \|u - U_N\|_2 = \sqrt{h \sum_{j=0}^N |u_j - (U_N)_j|^2},$$

$$L_\infty = \|u - U_N\|_\infty = \max_{0 \leq j \leq N} |u_j - (U_N)_j|,$$

where u and U_N represent exact and numerical solutions, respectively. And the order of convergence is calculated with the following formula;

$$\text{order} = \frac{\text{Log} \left(\frac{(L_\infty)_{old}}{(L_\infty)_{new}} \right)}{\text{Log} \left(\frac{h_{old}}{h_{new}} \right)}.$$

Thus, we are able to

compare exact ones with numerical ones.

3.1. Example 1:

In the following first numerical experiment, we have taken time fractional Klein-Gordon equation with the values of the coefficients as $a = -1, b = 0, c = 1, \beta = 1$ for $0 \leq x \leq 1$ and

$t_{final} = 1$. So we can rewrite the equation given in (1) with the forced term, as follows

$$D_t^\alpha u - u_{xx} + u^2 = \frac{\Gamma(5/2)}{\Gamma(5/2 - \alpha)} (1-x)^{5/2} t^{(3/2-\alpha)} - \frac{15}{4} (1-x)^{1/2} t^{3/2} + (1-x)^5 t^3 \quad (12)$$

and with non-zero right boundary condition

$$\begin{aligned} u(x,0) &= 0, \quad u_t(x,0) = 0 \\ u(0,t) &= t^{3/2}, \quad u(1,t) = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

exact solution of the example is given as

$$u(x,t) = (1-x)^{5/2} t^{3/2}. \quad (14)$$

First of all, the results are calculated for various space step (h) and time step (Δt) size for $\alpha = 1.3$. Then the error norms L_2 and L_∞ are presented in Tables 1 and 2, respectively. In addition, error norms and orders are

reported in Table 3 for $\alpha = 1.7$ and $\Delta t = 0.00001$. It is seen from Tables 1, 2 and 3, when the number of time step size are the same, to increase number of collocation points lead to a decrease in the error norms. Additionally,

for the collocation finite element method, time step sizes as important as collocation points. So one can see, decreasing of time step sizes results decreasing in the error norms.

Table 1. A representation of the $L_2 \times 10^3$ norm for various values of Δt and h for $\alpha = 1.3$.

Δt	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005	0.00001
h							
0.25	5.461326	4.731241	4.162181	4.092810	4.037694	4.030666	4.022183
0.125	2.504028	1.724493	1.123959	1.052339	0.996010	0.989010	0.982798
0.1	2.166491	1.375058	0.762329	0.689667	0.632882	0.625871	0.619889
0.05	1.744344	0.937212	0.297653	0.220406	0.161032	0.153902	0.148171
0.025	1.648449	0.838967	0.192712	0.112499	0.049669	0.042201	0.036389
0.0125	1.625804	0.815966	0.168899	0.088131	0.023748	0.015858	0.009760
0.01	1.623192	0.813319	0.166198	0.085399	0.020871	0.012899	0.006696

Table 2. A representation of the $L_\infty \times 10^3$ norm for various values of Δt and h for $\alpha = 1.3$

Δt	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005	0.00001
h							
0.25	7.700108	6.972540	6.394705	6.323344	6.267288	6.260548	6.252998
0.125	3.245500	2.246167	1.569895	1.494217	1.456844	1.452790	1.449505
0.1	2.861628	1.789100	1.034280	0.970713	0.920066	0.913785	0.908673
0.05	2.382455	1.266362	0.385704	0.286827	0.224010	0.217614	0.212481
0.025	2.276125	1.154699	0.259479	0.148555	0.064919	0.056718	0.051215
0.0125	2.250264	1.128478	0.232098	0.120229	0.031186	0.020518	0.013229
0.01	2.247337	1.125460	0.229031	0.117111	0.027784	0.016821	0.008900

Table 3. The error norms and orders for various h values for $\Delta t = 0.0001, 0.00001$ for $\alpha = 1.7$

Δt	0.0001			0.00001		
	$L_2 \times 10^3$	$L_\infty \times 10^3$	$order(L_\infty)$	$L_2 \times 10^3$	$L_\infty \times 10^3$	$order(L_\infty)$
0.25	3.531801	5.748447	—	3.734496	6.148587	—
0.125	0.874420	1.372834	2.06602	0.898053	1.334451	2.20401
0.1	0.561053	0.845099	2.17429	0.567403	0.818875	2.18847
0.05	0.156823	0.217845	1.95582	0.138186	0.194232	2.07586
0.025	0.063585	0.083314	1.38667	0.035906	0.048160	2.01187
0.0125	0.042662	0.058626	0.507018	0.011576	0.015588	1.6274
0.01	0.040366	0.056028	0.203128	0.008835	0.012140	1.120034

Table 4. A comparison of absolute errors for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.5, 1.9$ and $N = 10$.

x	$\alpha = 1.5$		$\alpha = 1.9$	
	[7] ($m = n = 6$)	Present method ($N = 10$)	[7] ($m = n = 6$)	Present method ($N = 10$)
0.1	1.9004×10^{-3}	1.065601×10^{-4}	1.7145×10^{-3}	2.3961723×10^{-3}
0.2	2.0752×10^{-3}	2.479456×10^{-4}	8.3897×10^{-4}	2.7676947×10^{-3}
0.3	2.0682×10^{-3}	3.840470×10^{-4}	5.9801×10^{-5}	1.265934×10^{-4}
0.4	1.8787×10^{-3}	5.107724×10^{-4}	4.2370×10^{-4}	2.8074307×10^{-3}
0.5	1.6102×10^{-3}	6.424084×10^{-4}	7.4383×10^{-4}	1.5788475×10^{-3}
0.6	1.4483×10^{-3}	7.617908×10^{-4}	8.5920×10^{-4}	6.606390×10^{-4}
0.7	1.5545×10^{-3}	8.574570×10^{-4}	5.6969×10^{-4}	1.4651589×10^{-3}
0.8	1.6959×10^{-3}	9.138149×10^{-4}	8.9237×10^{-4}	8.686224×10^{-4}
0.9	1.4757×10^{-3}	8.828905×10^{-4}	7.4789×10^{-5}	1.982566×10^{-4}
L_2		6.18386×10^{-4}		1.648307×10^{-3}
L_∞		9.13815×10^{-4}		2.807431×10^{-3}

Tables 4, 5 and 6 compare absolute errors between three different methods. Tables 4 is consist of a comparisons between [7] and present method for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.5, 1.9$ and $N = 10, 20$, respectively. other one is between [7], VRM and present method for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.4, 1.6$ and $N = 10, 20$. Finally, we tabulated some comparisons of absolute errors and

relative errors for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.6, 1.8$ and $N = 20$ in Table 6 and 7. We can conclude that newly obtained results are more convergent for the $\alpha = 1.3, 1.5$, and 1.6 and agree with for $\alpha = 1.9$ when partition number is chosen as $N = 10$. Also applied method has more converges results for all α values when partition number is chosen as $N > 10$

Table 5. A comparison of absolute errors for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.5, 1.9$ and $N = 20$

x	$\alpha = 1.5$		$\alpha = 1.9$	
	[7] ($m = n = 9$)	Present method ($N = 20$)	[7] ($m = n = 9$)	Present method ($N = 20$)
0.1	8.7105×10^{-4}	2.29860×10^{-5}	4.3675×10^{-4}	3.547459×10^{-4}
0.2	6.7781×10^{-4}	6.14772×10^{-5}	9.8359×10^{-5}	8.937207×10^{-4}
0.3	6.2089×10^{-4}	9.13921×10^{-5}	4.8897×10^{-4}	4.322902×10^{-4}
0.4	5.7015×10^{-4}	1.228082×10^{-4}	7.6534×10^{-4}	4.290707×10^{-4}
0.5	5.1476×10^{-4}	1.538698×10^{-4}	9.3043×10^{-4}	2.275352×10^{-4}
0.6	4.8948×10^{-4}	1.811331×10^{-4}	9.4248×10^{-4}	3.7590×10^{-7}
0.7	5.1671×10^{-4}	2.023530×10^{-4}	7.5585×10^{-4}	1.286623×10^{-4}
0.8	5.3919×10^{-4}	2.136602×10^{-4}	4.2006×10^{-5}	2.716377×10^{-4}
0.9	6.0660×10^{-4}	2.038887×10^{-4}	5.4848×10^{-5}	2.267357×10^{-4}
L_2		1.478850×10^{-4}		4.50187×10^{-4}
L_∞		2.13660×10^{-4}		9.10231×10^{-4}

Table 6. A comparison of absolute errors for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.4, 1.6$ and $N = 10, 20$

α	(x, t)	$N = 10 \quad N = 20$			
1.4	(0.1, 0.1)	9.2852×10^{-3}	8.4385×10^{-4}	4.5158×10^{-6}	7.484×10^{-7}
	(0.2, 0.2)	2.2201×10^{-2}	1.1433×10^{-3}	5.4722×10^{-6}	1.2260×10^{-6}
	(0.3, 0.3)	3.5651×10^{-2}	5.3780×10^{-4}	1.75791×10^{-5}	4.5398×10^{-6}
	(0.4, 0.4)	4.9628×10^{-2}	1.5545×10^{-4}	6.16598×10^{-5}	1.52821×10^{-5}
	(0.5, 0.5)	6.4449×10^{-2}	5.3227×10^{-4}	1.487415×10^{-4}	3.61098×10^{-5}
	(0.6, 0.6)	7.9514×10^{-2}	1.3268×10^{-3}	2.808198×10^{-4}	6.71903×10^{-5}
	(0.7, 0.7)	9.1443×10^{-2}	1.9159×10^{-3}	4.465890×10^{-4}	1.056595×10^{-4}
	(0.8, 0.8)	8.7942×10^{-2}	2.0414×10^{-3}	6.226345×10^{-4}	1.457116×10^{-6}
	(0.9, 0.9)	9.2321×10^{-4}	1.8996×10^{-3}	7.445275×10^{-4}	1.719402×10^{-4}
1.6	(0.1, 0.1)	4.1518×10^{-3}	1.1685×10^{-3}	6.93424×10^{-5}	1.50576×10^{-5}
	(0.2, 0.2)	1.0319×10^{-2}	2.5887×10^{-3}	4.24945×10^{-5}	8.8257×10^{-6}
	(0.3, 0.3)	1.7757×10^{-2}	2.8863×10^{-3}	3.96546×10^{-5}	8.6607×10^{-6}
	(0.4, 0.4)	2.6987×10^{-2}	2.3912×10^{-3}	5.38836×10^{-5}	1.26185×10^{-5}
	(0.5, 0.5)	3.8327×10^{-2}	1.7692×10^{-3}	1.316628×10^{-4}	3.09618×10^{-5}
	(0.6, 0.6)	5.0993×10^{-2}	1.4174×10^{-3}	2.538026×10^{-4}	6.06844×10^{-5}
	(0.7, 0.7)	6.1379×10^{-2}	1.4334×10^{-3}	4.144158×10^{-4}	9.79853×10^{-5}
	(0.8, 0.8)	5.6577×10^{-2}	1.6653×10^{-3}	5.952975×10^{-4}	1.395405×10^{-4}
	(0.9, 0.9)	3.8618×10^{-2}	1.7449×10^{-3}	7.282169×10^{-4}	1.685685×10^{-4}

Table 7. A comparison of absolute errors for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.6$ and $N = 20$.

$\alpha = 1.6$					
[7] (m=9)			Present Method		
t	x	Absolute error	Relative error	Absolute error	Relative error
0.4	0.4	9.3726×10^{-4}	1.3286×10^{-2}	1.26185×10^{-5}	1.789×10^{-4}
	0.6	9.4592×10^{-4}	3.6950×10^{-2}	3.02423×10^{-5}	1.1813×10^{-3}
	0.8	6.5448×10^{-4}	1.4462×10^{-1}	4.52139×10^{-5}	9.9910×10^{-3}
0.8	0.4	1.7359×10^{-4}	8.6999×10^{-4}	7.66008×10^{-5}	3.839×10^{-4}
	0.6	1.2080×10^{-4}	1.6683×10^{-3}	1.075323×10^{-4}	1.4851×10^{-3}
	0.8	2.4657×10^{-4}	1.9263×10^{-2}	1.395405×10^{-4}	1.09016×10^{-2}

Table 8. A comparison of absolute errors for $\Delta t = 0.00001, \alpha = 1.8$ and $N = 20$

$\alpha = 1.8$					
[7] (m=9)			Present Method		
t	x	Absolute error	Relative error	Absolute error	Relative error
0.4	0.4	3.4329×10^{-3}	4.8663×10^{-2}	$1.22000031 \times 10^{-2}$	17.29385×10^{-2}
	0.6	3.4391×10^{-3}	1.3434×10^{-1}	7.7639662×10^{-3}	30.32794×10^{-2}
	0.8	2.1582×10^{-3}	4.7690×10^{-1}	2.8061378×10^{-3}	62.00712×10^{-2}
0.8	0.4	6.9075×10^{-4}	3.4618×10^{-3}	$1.22414817 \times 10^{-2}$	6.13509×10^{-2}
	0.6	6.5491×10^{-4}	9.0448×10^{-3}	$1.22552370 \times 10^{-2}$	16.92529×10^{-2}
	0.8	5.7248×10^{-4}	4.4725×10^{-2}	8.1618789×10^{-3}	63.76431×10^{-2}

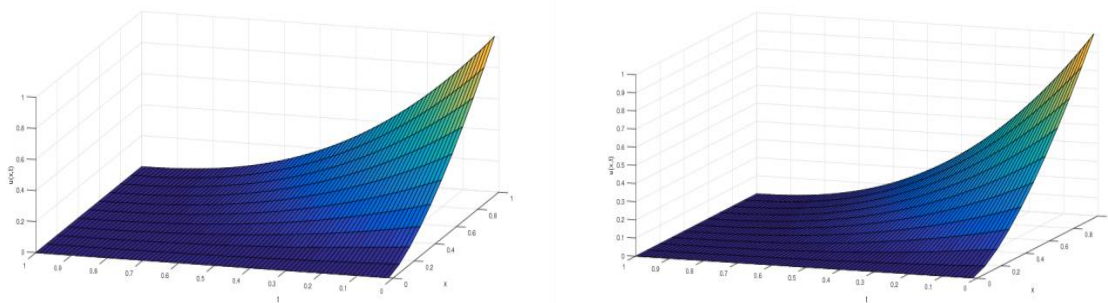


Figure 1. The numerical solutions of Time Fractional Klein Gordon equation for $\alpha = 1.3$ and 1.5 .

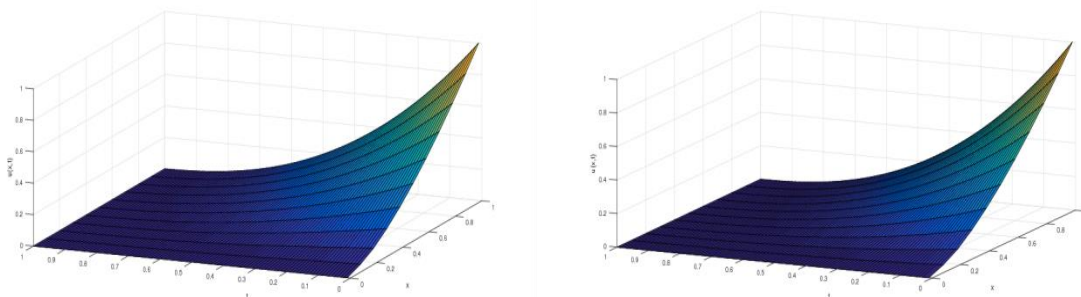


Figure 2. The numerical solutions of Time Fractional Klein Gordon equation for $\alpha = 1.8$ and 1.9 .

3.2 Example 2:

In our second example, we assume that $a = -1, b = 0, c = 2.5e^x, \beta = 3/2$ and the forced term is

$$f(x,t) = \frac{\Gamma(3+\alpha)}{2} x^3 (1-x)^3 t^2 + (30x^4 - 60x^3 + 36x^2 - 6x) t^{2+\alpha} + 2.5e^x x^{4.5} (1-x)^{4.5} t^{3+1.5\alpha}$$

with the boundary conditions and the exact solution is

$$u(x,0) = 0, \quad u_t(x,0) = 0$$

$$u(0,t) = 0, \quad u(1,t) = 0$$

$$u(x,t) = x^3(1-x)^3 t^{2+\alpha}$$

In the considering numerical experiment, we present a series of table according to error norms L_2 and L_∞ . Table 6- 9 consist of error norms results for various values of time step Δt . and space step h for $\alpha = 1.3$ and

1.5 , respectively. It can be seen from the tables, the most convergent results are found for the values $h = 0.01$ and $\Delta t = 0.00001$.

Numerical results have same behaviour as first example i.e decreasing in time and space step size ends up with decreasing in the error norms. At the end of this part, numerical simulations of example 2 are depicted for the various choosing of α parameters in Figures 1 and 2.

Table 9. A representation of the $L_2 \times 10^3$ norm for various values of Δt and h for $\alpha = 1.3$.

Δt	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005	0.00001
h							
0.25	0.916627	0.916267	0.916166	0.916172	0.916182	0.916184	0.942900
0.125	0.271518	0.271585	0.271579	0.271572	0.271566	0.275610	0.275609
0.1	0.175499	0.175609	0.175612	0.175604	0.175596	0.175594	0.187200
0.05	0.044173	0.044332	0.044348	0.044338	0.044327	0.045241	0.062025
0.025	0.010973	0.011106	0.011124	0.011113	0.030162	0.011342	0.011340
0.0125	0.002817	0.002784	0.002801	0.002789	0.002777	0.002837	0.002835
0.01	0.001940	0.001788	0.001803	0.175604	0.001778	0.001817	0.032412

Table 10. A representation of the $L_\infty \times 10^3$ norm for various values of Δt and h for $\alpha = 1.3$.

Δt	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005	0.00001
h							
0.25	1.178927	1.177854	1.177550	1.177568	1.177597	1.177603	1.236302
0.125	0.416998	0.416427	0.416247	0.416252	0.416265	0.419592	0.419595
0.1	0.256970	0.256507	0.256359	0.256363	0.256373	0.256375	0.282494
0.05	0.062948	0.062482	0.062332	0.062336	0.062346	0.063598	0.111092
0.025	0.016361	0.015783	0.015599	0.015604	0.053928	0.016170	0.016159
0.0125	0.004637	0.004063	0.003995	0.003950	0.003910	0.004070	0.004059
0.01	0.003248	0.002660	0.002603	0.002558	0.002500	0.002612	0.051111

Table 11. A representation of the $L_2 \times 10^3$ norm for various values of Δt and h for $\alpha = 1.5$.

Δt	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005	0.00001
h							
0.25	0.933111	0.933327	0.933555	0.916172	0.916182	0.916184	0.916186
0.125	0.281918	0.281729	0.281544	0.271572	0.271566	0.271565	0.271564
0.1	0.187800	0.187536	0.187273	0.175604	0.175596	0.175594	0.175593
0.05	0.063206	0.062689	0.062171	0.044338	0.044327	0.044325	0.044323
0.025	0.038371	0.037691	0.036999	0.011113	0.011102	0.011100	0.011098
0.0125	0.034415	0.033709	0.032989	0.002789	0.002777	0.002775	0.002773
0.01	0.002590	0.001788	0.032617	0.001791	0.001778	0.001776	0.001775

Table 12. A representation of the $L_\infty \times 10^3$ norm for various values of Δt and h for $\alpha = 1.5$.

Δt	0.01	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.00005	0.00001
h							
0.25	1.213214	1.213791	1.214409	1.177568	1.177597	1.177603	1.177608
0.125	0.406493	0.406761	0.407052	0.416252	0.416265	0.416267	0.416270
0.1	0.284914	0.283863	0.282795	0.256363	0.256373	0.256375	0.256377
0.05	0.113572	0.112493	0.111400	0.062336	0.062346	0.062348	0.062349
0.025	0.066852	0.065765	0.064665	0.015604	0.015616	0.015619	0.015621
0.0125	0.055051	0.053957	0.052853	0.003950	0.003910	0.003912	0.003914
0.01	0.004670	0.002660	0.051422	0.002558	0.002500	0.002501	0.002503

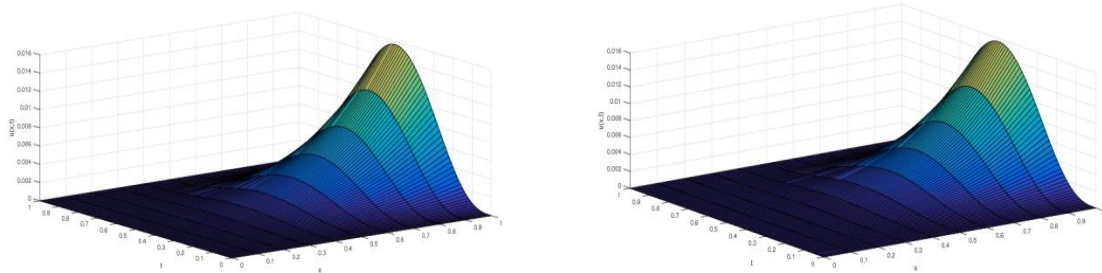


Figure 3. The numerical solutions of Time Fractional Klein Gordon equation given in example 2 for $\alpha = 1.3$ and 1.5 .

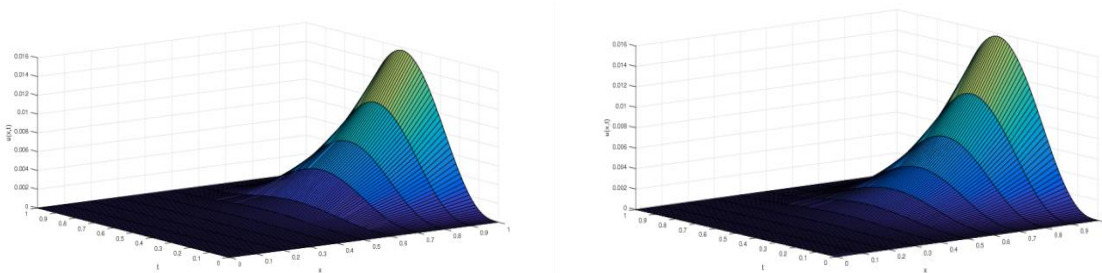


Figure 4. The numerical solutions of Time Fractional Klein Gordon equation given in example 2 for $\alpha = 1.8$ and 1.9 .

4. CONCLUSION

In conclusion, this study has introduced to obtain numerical approximations using the finite element method. We have started with the application of the method to the time fractional Klein Gordon equation. Then, the problem has converted into ordinary differential equation system with the help of cubic B-spline basis and element shape parameters. Using mathematical coding, the newly obtained numerical scheme is solved with an iterative method uses an initial vector to purpose of generate approximate solution for two test problem. Additionally, the newly numerical results with the calculation have shown that has a reasonable agreement with exact ones. After all the numerical experiments examined in this paper, we can conclude that finite element collocation method and L2 algorithm can be a useful tool for obtaining numerical solutions of wide variety problems on fractional order partial differential equations.

REFERENCES

[1] Kumara D., Seadawy A. R. and Joardare A. K., "Modified Kudryashov method via new exact solutions for some conformable fractional differential equations arising in mathematical biology", *Chinese Journal of Physics*, 56: 75–85, (2018).
 [2] Kumara D., Seadawy A. R. and Joardare A. K., "Modified Kudryashov method via new exact solutions for some conformable fractional differential equations arising in mathematical biology", *Chinese Journal of Physics*, 56: 75–85, (2018).
 [3] Sohail A., Maqbool K. and Ellahi R., "Stability analysis for fractional-order partial differential equations by

means of space spectral time Adams-Bashforth Moulton method", *Numerical solution for Partial Differential Equations*, 34: 19–29, (2018).

[4] Singh J., Kumar D., Hammouch Z. And Atangana A., "A fractional epidemiological model for computer viruses pertaining to a new fractional derivative", *Applied Mathematics and Computation*, 316: 504–515,(2018).
 [5] Tasbozan O. and Esen A., "Quadratic B-Spline Galerkin Method for Numerical Solutions of Fractional Telegraph Equations" *Bulletin of Mathematical Sciences and Applications*, 18: 23-39, (2017).
 [6] Bulut F., Oruç, Ö. And Esen A., "Numerical Solutions of Fractional System of Partial Differential Equations By Haar Wavelets" *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 108 :263-284,(2015).
 [7] Nagy A. M., "Numerical solution of time fractional nonlinear Klein–Gordon equation using Sinc–Chebyshev collocation method", *Applied Mathematics and Computation*, 310:139-148,(2017).
 [8] Lim S. C. and S. V. Muniandy. "Stochastic quantization of nonlocal fields." *Physics Letters A* 324: 396-405(2004).
 [9] Kheiri H., Shahi S. and Mojaver A., "Analytical solutions for the fractional Klein-Gordon equation", *Computational Methods for Differential Equations*, 2:99-114,(2014).
 [10] Mohebbi A., Abbaszadeh M. and Dehghan M., "High-Order Difference Scheme for the Solution of Linear Time Fractional Klein–Gordon Equations, Numerical solution for Partial Differential Equations" *Numerical solution for Partial Differential Equations*, 30: 1234-1253.(2014).
 [11] Lyu P. and Vong S., "A linearized second-order scheme for nonlinear time fractional Klein-Gordon type equations", *Numerical Algorithms*, 78:485-511,(2018).

- [12] Khader M. M., Swetlam N. H. and Mahdy A. M. S., "The Chebyshev Collection Method for Solving Fractional Order Klein-Gordon Equation", *Wseas Trans. Math*, 13: 31-38,(2014).
- [13] Alqahtani R. T., "Approximate Solution of Non-Linear Fractional Klein-Gordon Equation Using Spectral Collocation Method", *Applied Mathematics*, 6: 2175-2181,(2015).
- [14] Li C., and Chen A., "Numerical methods for fractional partial differential equations." *International Journal of Computer Mathematics* 95: 1048-1099, (2018).
- [15] Ara A., Khan N. A., "Wavelets optimization method for evaluation of fractional partial differential equations: an application to financial modelling." *Advances in Difference Equations* 2018.1:8. (2018)
- [16] Liu Y. , Khan M., and Yan Y., "Fourier spectral methods for stochastic space fractional partial differential equations driven by special additive noises." *Journal of Computational Analysis and Applications* 24: 290-309, (2018).
- [17] Baseri, A., Abbasbandy S., and Babolian E., "A collocation method for fractional diffusion equation in a long time with Chebyshev functions." *Applied Mathematics and Computation* 322:55-65, (2018)
- [18] Yuste S. B., "Weighted average finite difference methods for fractional diffusion equations", *Journal of Computational Physics*, 216:264-274 ,(2006).
- [19] Prenter P. M., "*Splines and Variational Methods*", Wiley, (1975)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



PID güç sistemi kararlı kılıcısı parametrelerinin belirlenmesi için böbrek- ilhamlı algoritma

Kidney-inspired algorithm for determination of PID power system stabilizer parameters

Yazar(lar) (Author(s)): Serdar EKİNCİ¹, Baran HEKİMOĞLU², Ethem UYSAL³

ORCID¹: 0000-0002-7673-2553

ORCID²: 0000-0002-1839-025X

ORCID³: 0000-0002-0714-7481

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ekinci S., Hekimoğlu B. ve Uysal E., "PID güç sistemi kararlı kılıcısı parametrelerinin belirlenmesi için böbrek-ilhamlı algoritma", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 453-460, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417765

PID Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı Parametrelerinin Belirlenmesi için Böbrek-ilhamlı Algoritma

Araştırma Makalesi / Research Article

Serdar EKİNCİ^{1*}, Baran HEKİMOĞLU², Ethem UYSAL²

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Batman, Türkiye

²Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Batman, Türkiye

(Geliş/Received : 10.02.2018 ; Kabul/Accepted : 12.03.2018)

ÖZ

Güç sistemi kararlı kılıcısı (PSS), düşük frekanslı salınımların bastırılması için etkili bir araçtır. Bu makalede, tek makinalı sonsuz baralı (TMSB) şebeke için Oransal İntegral Türevsel (PID) PSS'nin optimal tasarımında yeni bir algoritma kullanılmıştır. Kontrolör tasarım problemi, bir optimizasyon problemine dönüştürüldü ve kontrolörün PID parametreleri, güçlü bir optimizasyon metodu olan böbrek-ilhamlı algoritma (KA) kullanılarak ayarlandı. Yeni tasarlanmış PIDPSS'in verimliliği, diferansiyel evrim (DE) ve yapay arı kolonisi algoritması (ABC) tabanlı PIDPSS tasarım yöntemlerine kıyaslanarak büyük ve küçük arızalar altındaki TMSB'ye uygulandı. Lineer olmayan zaman domeni simülasyon sonuçları, önerilen KA tabanlı kontrolörün (KA-PIDPSS) diğer yöntemlere göre daha mükemmel bir sönümleme performansı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Böbrek-ilhamlı algoritma, PID kontrolör tasarımı, güç sistemi kararlılığı, düşük frekanslı salınımlar.

Kidney-inspired Algorithm for Determination of PID Power System Stabilizer Parameters

ABSTRACT

Power system stabilizer (PSS) is an operative tool for the suppression of low frequency oscillations. In this article, a novel algorithm is used for the optimal design of Proportional Integral Derivative (PID) PSS for a single machine infinite bus (SMIB) network. The controller design problem is converted to an optimization problem and the PID parameters of controller are tuned by using kidney-inspired algorithm (KA) which is a powerful optimization method. The efficiency of the newly designed PIDPSS is applied to the SMIB under large and small disturbances in comparison with the differential evolution (DE) and artificial bee colony algorithm (ABC) based PIDPSS design methods. Nonlinear time-domain simulation results show that the proposed KA based controller (KA-PIDPSS) gives an excellent damping performance compared to other methods.

Keywords: Kidney-inspired algorithm, PID controller design, power system stability, low frequency oscillations.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Büyük enterkonnekte güç sistemlerinde 0.1–3 Hz aralığındaki düşük genlikli salınımlar, maksimum güç aktarımı ve optimum güç sistemi güvenliği hedefleri için zararlıdır [1]. Bu düşük frekanslı salınımlar, generatörün şebekeden ayrılması ve hatta önemli sistem kesintilerinin oluşması gibi ciddi sonuçlara sebep olabilir. Güç sisteminin kararlılığı, elektrik mühendisleri tarafından araştırılan en önemli sorunlardan biri olan güç sistemi güvenlik korumasının özüdür [2]. Geçici hal kararlılık sınırlarını iyileştirmek için kullanılan hızlı hareket eden statik uyarma sistemleri, düşük frekanslı salınımları sönümlemeye büyük bir katkıda bulunur. Güç sistemi kararlı kılıcıları (PSS), düşük frekanslı salınımları azaltmak ve güç sistemi kararlılığını arttırmak için yaygın şekilde kullanılmaktadır. [3] Endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen PSS türü PID (oransal, integral, türevsel) tipi kontrolörlerdir.

PSS kullanmak suretiyle güç sistemi düşük frekanslı salınımların sönümlenmesi konusu üzerine çok sayıda

çalışma yapıldı. Farklı çalışma koşullarında PSS parametrelerinin tasarımı için gradyan prosedürün bir örneği olarak klasik optimizasyon yöntemleri [4] 'te önerilmiştir. Ne yazık ki, iterasyonda optimizasyon süreci için duyarlılık ve özvektörlerin hesaplanması gerekmektedir ve ağır hesaplama işlemi ile yavaş yakınsama oranı bu sürecin olumsuz yanlarıdır. Buna ek olarak, yerel minimuma yakalanma ve en uygun cevapları alamama karşılaşılan diğer problemlerdir. PSS tasarım problemi karmaşık bir multimodal optimizasyon problemidir, bu nedenle türev ve gradyan kullanan geleneksel optimizasyon teknikleri global optimumun yerini belirleyemedikleri için böyle bir problem için uygun değildir. Bunun için sezgisel yöntemler bu türden global optimizasyon problemleri için daha yararlıdır.

Literatürde genellikle evrimsel ve sürü zekası yaklaşımlarına dayanan çok sayıda akıllı teknik, küçük işaret salınımlarını bastırmak için PSS tasarımına uygulanmıştır. Bu teknikler arasında genetik algoritma (GA) [5,6], parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) [7,8], diferansiyel evrim (DE) [9], yarasa arama algoritması (BA) [10], bakteriyel yem arama algoritması (BFA) [11],

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ekinciser@yahoo.com

yapay arı kolonisi (ABC) [12,13], armoni arama algoritması (HSA) [14], guguk kuşu arama algoritması (CS) [15], hibrit PSO-ABC [16] ve geri izleme arama algoritması (BSA) [17] güç endüstrisinde parametrelerin ayarlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Nispeten daha iyi performans ve dayanıklılık için sezgisel optimizasyon teknikleri geleneksel tekniklerden çok fazla önem kazanmıştır ancak sezgisel yöntemler ayrıntılıdır ve tam olarak optimize edilmiş bir çözümü garanti etmez. Yakın geçmişte, çeşitli yayınlar, bazı sezgisel yöntemlerin bir takım dezavantajlarını ve kısıtlılıklarını ortaya koymuştur. Örneğin, GA algoritmaları, birbiriyle oldukça ilişkili parametrelerin ayarlanması durumunda çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ayrıca, en uygun çözümü bulamama ve yavaş yakınsama gibi sorunlara sahip olduğu tespit edilmiştir [18].

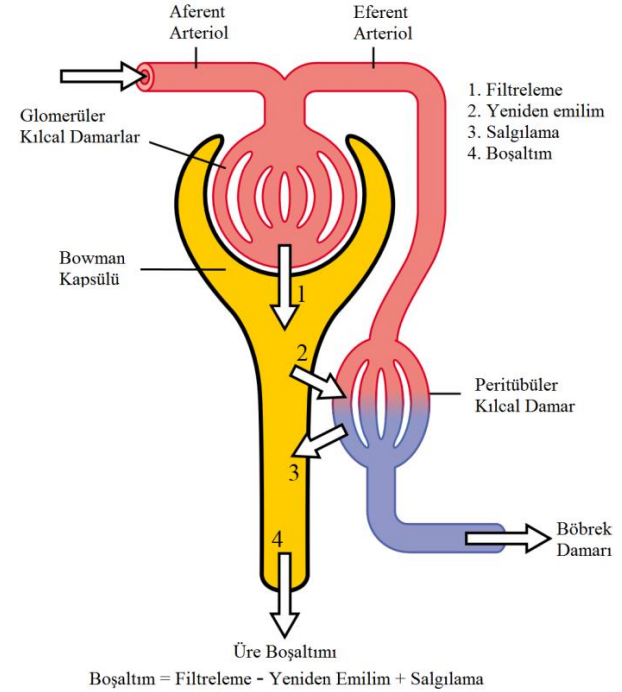
Böbrek-ilhamlı algoritma (KA) etkin ve güçlü bir global optimizasyon tekniği olarak ilk kez Jaddi ve arkadaşları tarafından 2017 yılında önerildi [19]. Bu optimizasyon tekniği, böbreklerin üriner sisteminin fizyolojik yapısındaki dört işlevi (filtreleme, yeniden emilim, salgılama ve boşaltım) taklit eder [19]. Ön çalışmalar, KA'nın optimizasyon yeteneği kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmek için literatürde mevcut olan GA, PSO, BA vb. diğer optimizasyon algoritmalarından daha üstün olduğunu göstermiştir, çünkü bu yöntemler multimodal optimizasyon problemlerinin çözümünde başarısızdırlar [19]. Keşif (exploration) ve sömürme (exploitation) arasındaki denge, bu optimizasyon tekniğinin temel avantajıdır [19]. Bu yeni algoritma birkaç uygulama dışında [20,21] mühendislik alanındaki birçok konuya henüz uygulanmamıştır.

Bu çalışmada, KA metodu güç sistemi kararlı kılıcısı için PID kontrolör parametrelerinin optimal ayarlanmasında ilk kez önerilmiştir. Lineer olmayan optimizasyon problemi olan PID tipi PSS tasarımı KA çalıştırılarak hatanın mutlak değerinin integrali (IAE) olan amaç fonksiyonu optimize edilmiştir. KA ile parametreleri belirlenen PID kontrolörün etkinliği DE ve ABC tabanlı PID kontrolörle karşılaştırılarak büyük ve küçük bozunumlara maruz kalan tek makinalı sonsuz baralı bir güç sisteminde test edildi. Simülasyon sonuçları, önerilen KA tabanlı kontrolörün başarılı sönümleme performansına sahip olduğunu göstermiştir.

2. BÖBREK İLHAMLI ALGORİTMA (KIDNEY-INSPIRED ALGORITHM)

Nispeten yeni bir optimizasyon tekniği olan böbrek-ilhamlı algoritma (KA) ilk olarak Jaddi vd. tarafından 2017 yılında önerilmiştir ve insan vücudundaki böbreklerin işlevine dayalıdır [19]. Şekil 1'de böbreğin temel fizyolojik mekanizması gösterilmektedir. İnsan üre sistemindeki ana biyolojik yapı olan böbrekler, kandaki iyon miktarını idare edebilmek için kanı filtrelemekte ve ayrıca fazla suyu ve atıkları üre yoluyla atarak gidermektedir. Böbreklerdeki filtreleme işlemi, çözünmüş maddelerin tüplere taşındığı ve yeniden

emilimin gerçekleştirildiği glomerüler kılcal damarlardan başlar. Yeniden emilim ile tüplerden çıkan çözünmüş maddeler kan dolaşımına geri gönderilir. Çözünmüş maddelerin renal tüpe doğru hareketi ise fazlalıkların üre yoluyla atılmasından dolayı bir salgılama işlemi olarak düşünülür. Böylece, böbreklerin işlevsel süreci dört aşamada özetlenebilir: filtreleme (filtration), yeniden emilim (reabsorption), salgılama (secretion) ve boşaltım (excretion) [19].



Şekil 1. Böbreğin temel fizyolojik mekanizması [22] (Main physiologic mechanism of the kidney [22])

Diğer popülasyon tabanlı algoritmalarda olduğu gibi KA'nın başlangıç aşamasında da rasgele bir çözüm popülasyonu oluşturulur ve bunlara ait amaç fonksiyonları hesaplanır. Her iterasyonda, tüm çözümler için şimdiye kadar bulunan en iyi çözüm yönünde ilerleyen yeni bir çözüm oluşturulur. Bu algoritmada, yeni bir çözümün hareketi aşağıdaki gibi formüle edilir [23]:

$$Sol_{i+1} = Sol_i + rand(Sol_{best} - Sol_i) \quad (1)$$

Burada Sol KA popülasyonu içindeki bir çözümü, Sol_i i .nci iterasyondaki bir çözümü, $rand$ rastgele bir sayıyı ve Sol_{best} şimdiye kadar bulunan en iyi çözümü temsil etmektedir. Popülasyondaki daha kaliteli çözümler filtreleme operatörü uygulanarak filtrelenmiş kan (FB) içine süzülürken kalan çözümler de atık çöpüne (W) taşınır. KA'da filtreleme, her iterasyonda hesaplanıp güncellenen bir filtreleme oranı kullanılarak gerçekleştirilir. Filtreleme oranı aşağıdaki gibi hesaplanır [23]:

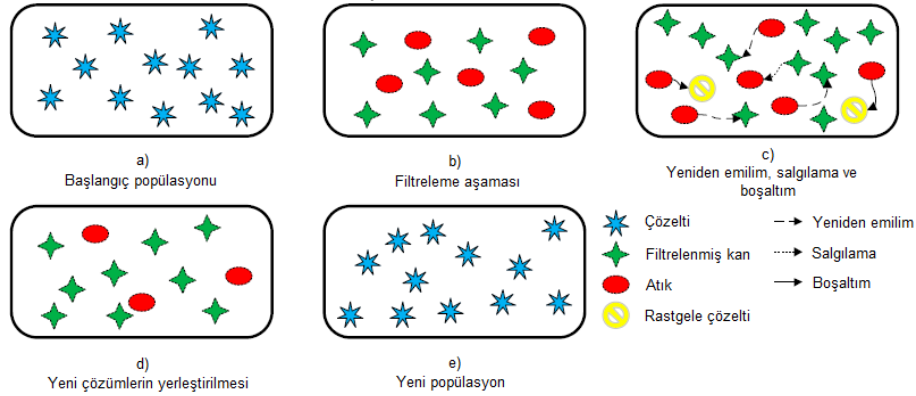
$$f_r = \alpha \times \frac{\sum_{i=1}^p f(x_i)}{p} \quad (2)$$

Burada f_r filtreleme oranını, α $[0, 1]$ aralığında sabit bir sayıyı, p popülasyon büyüklüğünü ve $f(x_i)$ i . iterasyondaki x çözümüne ait amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Çözümün FB veya W üyesi olup olmayacağını belirlemek için algoritmanın izleyeceği kural ise aşağıdaki gibidir:

- Çözümün kalitesi $> f_r$ ise, çözümü bir FB üyesi olarak kabul et.
- Çözümün kalitesi $< f_r$ ise, çözümü bir W üyesi olarak kabul et.

Eğer bir çözüm W 'ye kabul edilirse, çözümün kendisini iyileştirmesi ve daha sonra FB 'ye taşınabilmesi için ona başka bir fırsat verilir. Bu fırsat tatmin edici bir şekilde

kullanılmazsa (yani çözüm kalitesi filtreleme oranından küçük olursa) çözümün W 'den boşaltımı yapılır ve bunun yerine başka bir rastgele çözüm W 'ye eklenir. Diğer taraftan, eğer, filtreleme işleminden sonra, bir çözüm FB 'ye yerleştirilir ve bu çözümün kalitesi FB 'deki en kötü çözümden daha iyi değilse FB 'den salgılanır (atılır). Ancak, eğer çözüm FB 'deki en kötü çözümden daha iyi ise bu takdirde FB 'deki en kötü çözüm salgılanır. Daha sonra FB 'deki çözümler sıralanır ve şimdiye kadar bulunan en iyi çözüm güncellenir. Bu süreç sonlandırma kriterine ulaşana dek tekrar edilir. KA'nın çalışma mekanizması şematik olarak Şekil 2'de gösterilmektedir [19].



Şekil 2. KA'nın çalışma mekanizması a) Başlangıç popülasyonu b) Filtreleme aşaması c) Yeniden emilim, salgılama ve boşaltım d) Yeni çözümlerin yerleştirilmesi e) Yeni popülasyon [19]. (The operating mechanism of the KA a) Initial population b) Filtration stage c) Reabsorption d) New solutes placement e) New population [19].)

3. GÜÇ SİSTEMİ MODELİ (POWER SYSTEM MODEL)

Şekil 3'te şematik diyagramı gösterilen sonsuz baraya bağlı tek makinalı güç sistemi; bir iletim hattı, generatör, otomatik gerilim regülatörü, uyarma sistemi ve güç sistemi kararlı kılıcısından (PSS) meydana gelmektedir.

Uyarma ve PSS ilaveli akı-sönümlü modele ilişkin senkron makinanın diferansiyel ve cebirsel denklemleri aşağıdaki şekilde tanımlanır [24, 25]:

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_s (\omega - 1) \quad (3)$$

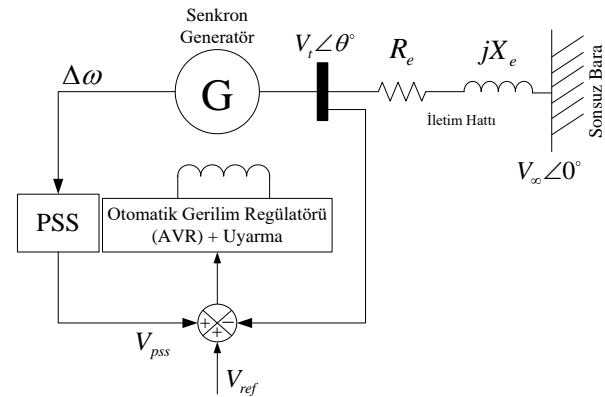
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P_m - [E'_q i_q + (x_q - x'_d) i_d i_q] - D(\omega - 1)}{M} \quad (4)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{E_{fd} - E'_q - (x_d - x'_d) i_d}{T'_{do}} \quad (5)$$

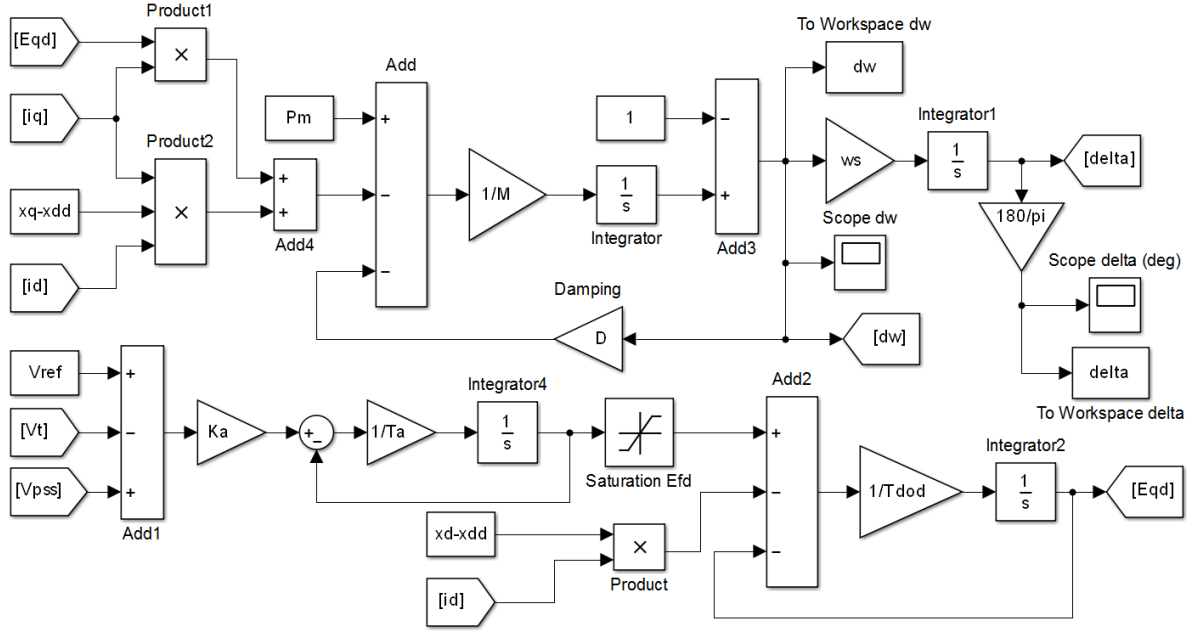
$$\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{K_a (V_{ref} - V_t + V_{pss}) - E_{fd}}{T_a} \quad (6)$$

Eş. (3)–(6) güç sisteminin diferansiyel denklemleridir. Burada, δ rotor açısı, ω rotor hızı, ω_s senkron hızı, P_m mekanik giriş gücü, E'_q q-ekseni geçici gerilimi, E_{fd} uyarma gerilimi, M atalet sabiti, D sönüm katsayısı, T'_{do} d-ekseni geçici zaman sabiti, x_d ve x_q sırasıyla d-ekseni

ve q-ekseni senkron reaktans bileşenleri, x'_d d-ekseni geçici reaktansı, i_d ve i_q sırasıyla d-ekseni ve q-ekseni endüvi akımları, V_t generatör terminal gerilimini, V_{ref} referans gerilimi, V_{pss} PSS'nin çıkış gerilimi, K_a ve T_a sırasıyla uyarma geriliminin kazanç ve zaman sabitleridir. Eş. (3)–(6)'nin hesaplanması ile ilgili Simulink modeli Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Tek makinalı sonsuz baralı sistemin şematik diyagramı (Schematic diagram of single machine infinite bus system)



Şekil 4. Simulink ile diferansiyel denklemlerin modellenmesi (Modeling of differential equations with Simulink)

$$x_q i_q - V_d = 0 \quad (7)$$

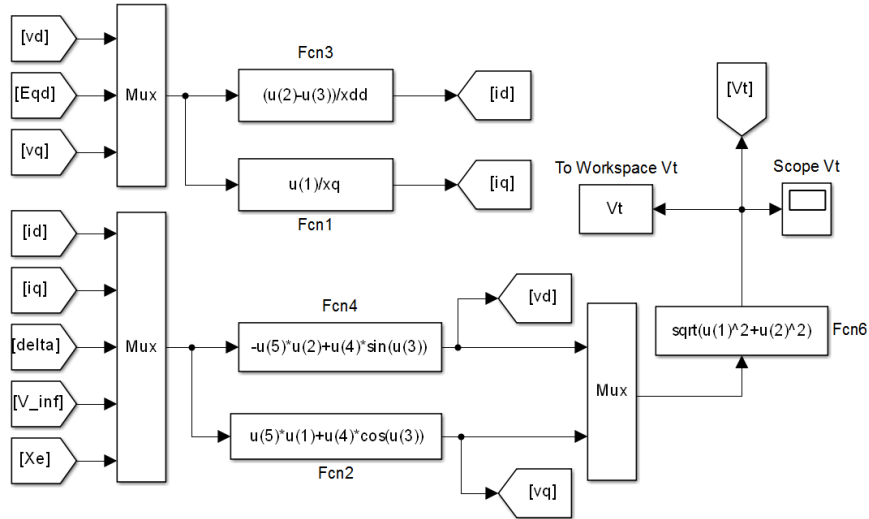
$$E'_q - x'_d i_d - V_q = 0 \quad (8)$$

$$R_e i_d - X_e i_q = V_d - V_\infty \sin \delta \quad (9)$$

$$X_e i_d + R_e i_q = V_q - V_\infty \cos \delta \quad (10)$$

$$V_t = (V_d^2 + V_q^2)^{1/2} \quad (11)$$

Eş. (7) ile Eş. (8) stator cebirsel denklemlerini ve Eş. (9)–(11) ise şebeke denklemlerini ifade etmektedir. Burada, V_d ve V_q sırasıyla V_t terminal geriliminin d -eksenli ve q -eksenli bileşenleridir. Eş. (7)–(11)'e ilişkin Simulink modeli Şekil 5'te gösterilmiştir. Şebeke denklemlerinde R_e hat direnci ihmal edilmiştir. Geçici hal kararlılık analizlerinde tek makinalı sonsuz baralı güç sistemi için tasarlanan bu iki Simulink tabanlı modellerden yararlanılacaktır.



Şekil 5. Simulink ile cebirsel denklemlerin modellenmesi (Modeling of algebraic equations with Simulink)

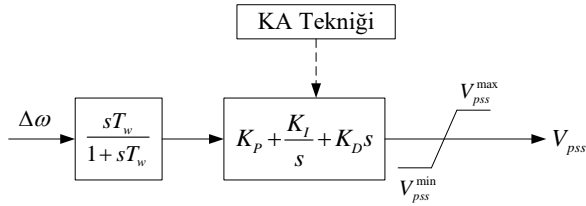
4. ÖNERİLEN TASARIM YÖNTEMİ (PROPOSED DESIGN METHOD)

4.1. PSS'nin Yapısı (Structure of PSS)

PID tipi güç sistemi kararlı kılıcısının temel görevi, makine elektriksel momenti ve uyarma girişi arasında faz

gecikmesini kompanse ederek, generatörün rotorunda uygun bir moment oluşturmaktır [24]. PID kararlı kılıcısı K_p oransal, K_I integral, K_D türevsel kazançları, T_w yüksek geçiren filtre devre zaman sabiti ve çıkış sınırlamalarından oluşur (V_{pss}^{\max} ve V_{pss}^{\min}). T_w 'nin değeri

kritik olmamakla beraber genellikle 1–20 s aralığındadır [13]. PID kontrolörünün yapısı Şekil 6’da gösterilmiştir.



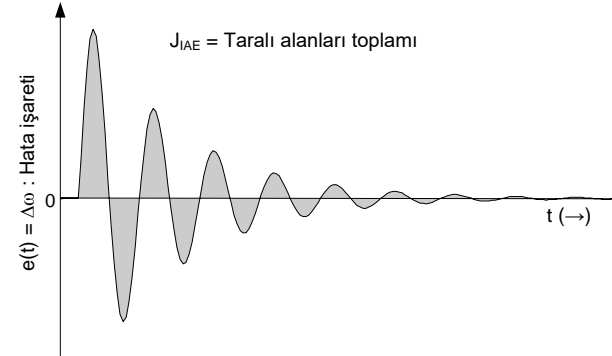
Şekil 6. PID tipi PSS’nin yapısı (The structure of PID type PSS)

4.2. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Bu çalışmada, T_w temizleme zaman sabiti 10 s olarak alınmıştır [13]. K_p , K_I ve K_D kontrolör kazançlarının belirlenmesi gereklidir. Büyük bir arızanın ardından güç sistemi kararlılığının iyileştirilmesi ve düşük frekanslı salınımların minimize edilmesi için PSS tasarlanır. Bu salınımlar, güç açısı (δ), rotor hızı ($\Delta\omega$), ve hat gücündeki (PL) sapmalardan görülebilir. Bu sapmalardan herhangi birinin veya tümünün birden minimize edilmesi temel amaçtır. Bu çalışmada, hata işareti olarak $\Delta\omega$ hız sapmasını kullanan hatanın mutlak değerinin integrali

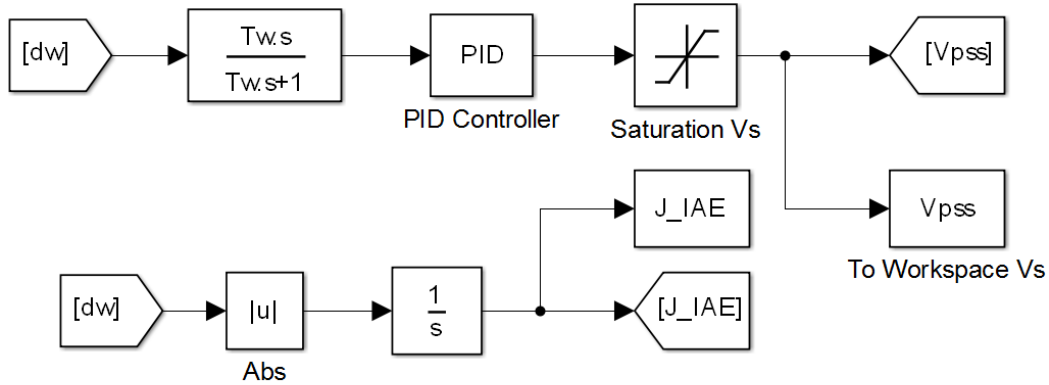
(IAE) amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir [26]. Şekil 7’de gösterilen IAE matematiksel olarak aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$J_{IAE} = \int_0^{t_s} |\Delta\omega(t)| dt \quad (12)$$



Şekil 7. IAE amaç fonksiyonu (Objective function IAE)

Burada t_s simülasyon zamanıdır. Şekil 8’deki Simulink modeli, PID-PSS işaret çıkışının ve J_{IAE} amaç fonksiyonunun hesaplanmasını göstermektedir.



Şekil 8. PID-PSS ve J_{IAE} için Simulink modeli (Simulink model for PID-PSS and J_{IAE})

Sistem cevabının yerleşme zamanı ve aşım açısından iyileştirilmesi için J_{IAE} amaç fonksiyonunun en küçük değerini alması gerekmektedir. Tasarım problemi için PID tipi kontrolörün parametrelerinin sınırlarının belirlenmesi gereklidir ve bu kısıtlamalar Eş. (13)–(15)’te verilmiştir.

$$K_p^{\min} < K_p < K_p^{\max} \quad (13)$$

$$K_I^{\min} < K_I < K_I^{\max} \quad (14)$$

$$K_D^{\min} < K_D < K_D^{\max} \quad (15)$$

K_p , K_I ve K_D kazanç parametrelerinin alt sınırı 0.001 ve üst sınırı 15 olarak alınmıştır [27]. Önerilen yaklaşımdan yararlanmak suretiyle, MATLAB ortamında kodlanan KA tekniği çalıştırılarak bu optimizasyon problemi çözülür ve en uygun PSS parametreleri elde edilir.

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

5.1. Test Sistemi (Test System)

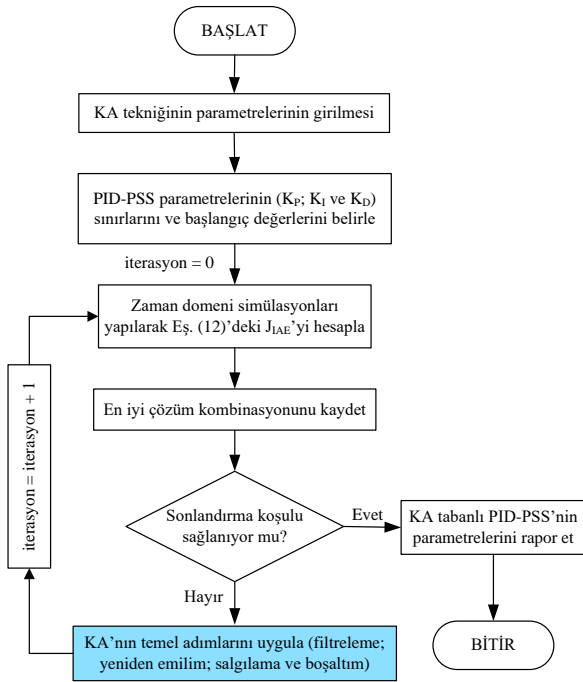
Bu çalışmada kullanılan tek makinalı sonsuz baralı güç sisteminin hat, generatör ve uyarma parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir [24].

Çizelge 1. Sistem verileri [24] (System data [24])

Generatör	$M = 2H = 6$; $x_d = 1.6 \text{ pu}$; $x_q = 1.55 \text{ pu}$; $x'_d = 0.32 \text{ pu}$; $T'_{do} = 6 \text{ s}$; $\omega_s = 2\pi \times 60 \text{ rad/s}$; $P = 0.8 \text{ pu}$; $Q = 0.4 \text{ pu}$; $D = 0$
Hat	$R_e = 0.0 \text{ pu}$; $X_e = 0.4 \text{ pu}$; $V_\infty = 1.0 \text{ pu}$
Uyarma	$K_a = 50$; $T_a = 0.05 \text{ s}$

5.2. PID-PSS Tasarımına KA Tekniğinin Uygulanması (Implementation of KA technique to PID-PSS design)

PID tipi kontrolörün optimum parametrelerini ayarlayan KA'nın etkinliğini ve üstün performansını göstermek amacıyla elde edilen sonuçlar, DE ve ABC kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır. Bu çalışmada karşılaştırma için seçilen bu iki algoritma optimizasyon problemlerinin çözümünde çokça tercih edilmektedir. KA, DE ve ABC tekniklerinin PID-PSS tasarım problemlerine uygulanması için gerekli kodlamalar MATLAB programında gerçekleştirilmiştir. Düzgün bir kıyaslama yapılabilmesi açısından üç algoritma için popülasyon ve iterasyon sayısı sırasıyla 50 ve 20 seçilmiştir. PID-PSS tasarımında kullanılan KA tekniğinin hesaplamalı akış diyagramı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Önerilen KA tabanlı PID-PSS tasarımının akış diyagramı (Flowchart of the proposed KA based PID-PSS design)

Zaman domeni simülasyonlarında sistemin maruz kaldığı iki arıza türü düşünüldü.

- Büyük Arıza Türü: $t=1$ s'de generatör uçlarındaki üç-fazlı 6 periyotluk kısa devre arızası
- Küçük Arıza Türü: $t=1$ s'de mekanik güç girişinde %12.5'lik ani bir artışın olması ($\Delta P_m=0.10$ pu)

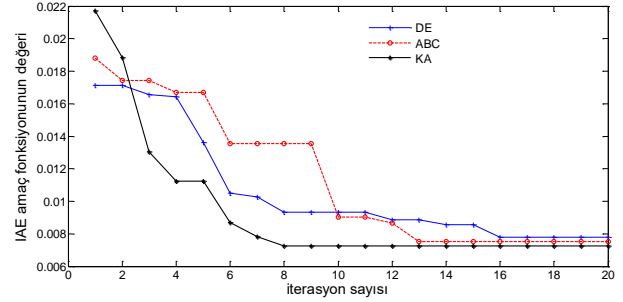
Üç-fazlı büyük arızanın sistem davranışı üzerinde çok ciddi bir etkisi olduğundan, PID-PSS kontrolörü bu arıza türüne göre tasarlanmıştır. Üç yöntem kullanılarak elde edilen PID kontrolör parametrelerinin optimum değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Tüm metodların yakınsama karakteristiği Şekil 10'da gösterilmiştir. J_{IAE} amaç fonksiyonunun yakınsama

grafinden görüleceği üzere KA metodu diğer iki metoda göre daha hızlı ve iyi bir yakınsamaya sahiptir.

Çizelge 2. Optimum PID-PSS parametreleri (Optimal PID-PSS parameters)

Ayarlama Metodu	PID Kazançları		
	K_P	K_I	K_D
KA	14.6908	2.7639	4.8424
DE	11.4825	0.8173	3.1350
ABC	4.2629	0.0019	6.0334

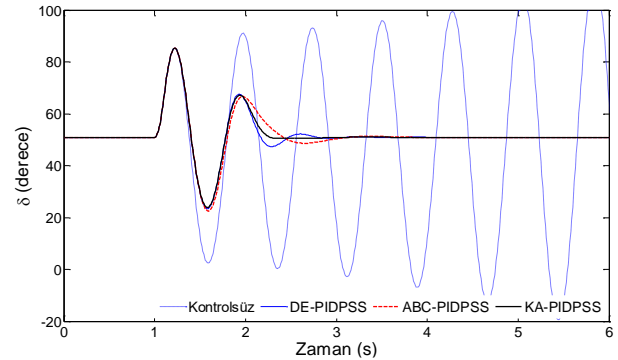


Şekil 10. J_{IAE} amaç fonksiyonunun yakınsama hızı (Convergence rate of the objective function J_{IAE})

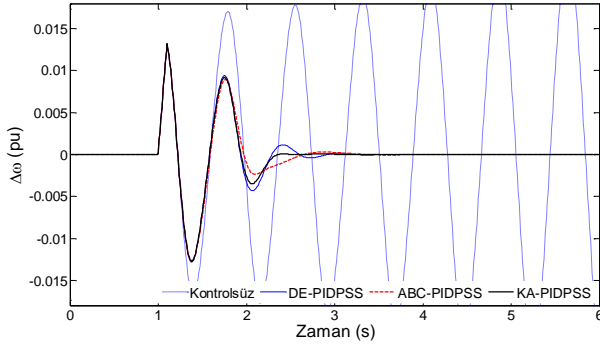
5.3. Geçici Hal Kararlılık Analizi (Transient Stability Analysis)

Büyük ve küçük arıza durumlarında önerilen KA tabanlı PID-PSS'li sistemin performansını değerlendirmek için zaman domeni simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Büyük Arıza Durumu: $t=1$ s'de generatör terminal barasına üç-fazlı bir arıza uygulandı ve 6 periyot ($t_{arıza}=0.1$ s) sonra arızanın temizlendiği düşünüldü. İlgili arızanın giderilmesiyle sistem eski çalışma koşullarına döndürüldü. Bu üç-fazlı arıza ihtimalinde tek makinalı sonsuz baralı sistemin rotor açısı (δ) ve hız sapmasının ($\Delta\omega$) cevapları sırasıyla Şekil 11 ve 12'de gösterilmiştir. Bu şekillerdeki cevaplardan anlaşılacağı üzere kontrolsüz sistem kararsızdır. Bununla birlikte diğer iki algoritma tabanlı PIDPSS'ye nazaran KA tabanlı PIDPSS daha kısa yerleşme zamanına sahip olarak düşük frekanslı salınımlara en iyi sönüm karakteristiği sağlar ve sistemi daha çabuk kararlı hale getirir.

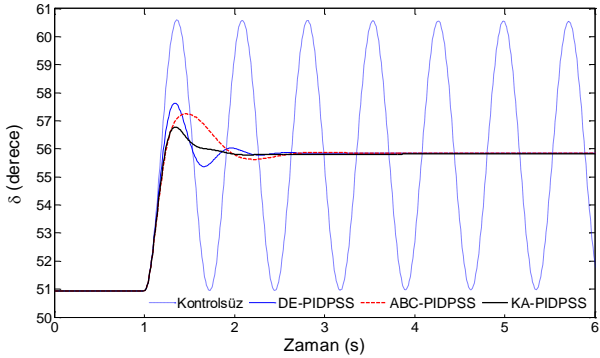


Şekil 11. Büyük arıza için rotor açısı cevabı (Rotor angle response for large disturbance)

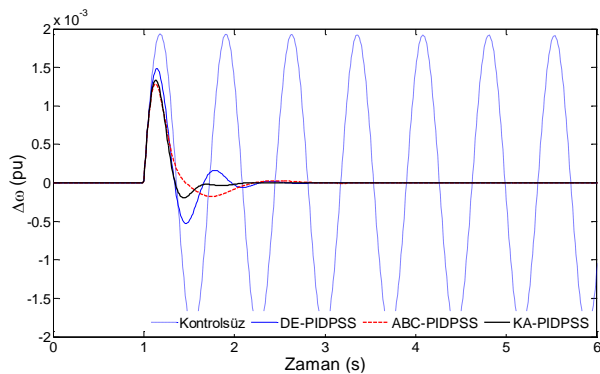


Şekil 12. Büyük arıza için hız sapması cevabı (Speed deviation response for large disturbance)

Küçük Arıza Durumu: Önerilen kontrolörün performansı, $t=1$ s'de mekanik güç girişine %12.5'lik ani bir artış uygulanarak doğrulandı. Küçük arıza durumunda, Şekil 13 ve 14 sırasıyla δ ve $\Delta\omega$ 'nın cevaplarını göstermektedir. Sistemde PID kontrolör olmadığına sistem kararlı olmasına rağmen salınımlar çok geç sönmektedir. Ayrıca önerilen KA-PIDPSS bu küçük arıza durumunda da daha az aşım ve daha kısa süreli yerleşme zamanına sahiptir.



Şekil 13. Küçük arıza için rotor açısı cevabı (Rotor angle response for small disturbance)



Şekil 14. Küçük arıza için hız sapması cevabı (Speed deviation response for small disturbance)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makalede PID tipi güç sistemi kararlı kılıcısının optimizasyonu, insan vücudundaki böbreğin çalışma fizyolojisinden esinlenen KA tekniği kullanılarak ilk kez

araştırılmıştır. KA'nın mevcut olan diğer tekniklere kıyasla daha iyi dengelenmiş mekanizmaya (üstün keşif ve sömürme yetilerine) sahip ve yakın zamanda önerilmiş sezgisel bir teknik olduğunu belirtmek gerekir. KA tekniğinde IAE performans indeksi amaç fonksiyonu olarak seçildi ve minimum hale getirildi. Tasarım tipik bir tek makinalı sonsuz baralı güç sisteminde uygulandı. Rotor açısı ve hız sapması için sistemin simülasyon sonuçları, optimum tasarlanan KA optimizasyon yöntemi tabanlı PID-PSS (KA-PIDPSS)'nin güç sisteminin kararlılığını ve performansını DE-PIDPSS ve ABC-PIDPSS'ye oranla daha iyi şekilde artırdığını göstermiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmanın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında emeği geçen Sayın Yusuf Ali Ekinci'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Guesmi T., Alshammari B.M., "An improved artificial bee colony algorithm for robust design of power system stabilizers", *Engineering Computations*, 34(7): 2131-2153, (2017).
- [2] Rogers G., "Power System Oscillations", *Kluwer Academic Publishers*, Boston, (2000).
- [3] Ghasemi A., Shayeghi H. and Alkhatib H., "Robust design of multimachine power system stabilizers using fuzzy gravitational search algorithm", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 51: 190-200, (2013).
- [4] Chow J.H. and Sanchez-Gasca J.J., "Pole-placement designs of power system stabilizers", *IEEE Transactions on Power Systems*, 4(1): 271-277, (1989).
- [5] Sebaa K. and Boudour M., "Optimal locations and tuning of robust power system stabilizer using genetic algorithms", *Electric Power Systems Research*, 79(2): 406-416, (2009)
- [6] Hassan L.H., Moghavvemi M., Almurib H.A., Muttaqi K.M. and Ganapathy V.G., "Optimization of power system stabilizers using participation factor and genetic algorithm" *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55: 668-679, (2014).
- [7] Ekinci S. and Demiroren A., "PSO based PSS design for transient stability enhancement", *IU-Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 15(1): 1855-1862, (2015).
- [8] Labdelaoui H., Boudjema F. and Boukhetala D., "A multiobjective tuning approach of power system stabilizers using particle swarm optimization", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(5): 3898-3909, (2016).
- [9] Sun Z., Wang N., Srinivasan D. and Bi Y., "Optimal tuning of type-2 fuzzy logic power system stabilizer based on differential evolution algorithm", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 62: 19-28, (2014).
- [10] Sambariya D.K. and Prasad R., "Robust tuning of power system stabilizer for small signal stability enhancement using metaheuristic bat algorithm" *International Journal*

- of Electrical Power & Energy Systems*, 61: 229-238, (2014).
- [11] Abd-Elazim S.M. and Ali E.S., “Power system stability enhancement via bacteria foraging optimization algorithm” *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(3): 599-611, (2013).
- [12] Eke İ., Taplamacıoğlu M.C., Kocaarslan İ., “Design of robust power system stabilizer based on Artificial Bee Colony Algorithm”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3): 683-690, (2011).
- [13] Ekinci S. and Demiroren A., “Modeling, simulation, and optimal design of power system stabilizers using ABC algorithm”, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(3): 1532-1546, (2016).
- [14] Hameed K.A. and Palani S., “Robust design of power system stabilizer using harmony search algorithm”, *Automatika*, 55(2): 162-169, (2014).
- [15] Elazim S.A. and Ali E.S., “Optimal power system stabilizers design via cuckoo search algorithm”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 75: 99-107, (2016).
- [16] Ekinci S., Hekimoğlu B., “Multi-machine power system stabilizer design via HPA algorithm”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(4): 1271-1285, (2017).
- [17] Islam N.N., Hannan M.A., Shareef H. and Mohamed A., “An application of backtracking search algorithm in designing power system stabilizers for large multi-machine system”, *Neurocomputing*, 237: 175-184, (2017).
- [18] Farah A., Guesmi T. and Abdallah H.H., “A new method for the coordinated design of power system damping controllers”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 64: 325-339, (2017).
- [19] Jaddi N.S., Alvankarian J. and Abdullah S., “Kidney-inspired algorithm for optimization problems”, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 42: 358-369, (2017).
- [20] Taqi M.K. and Ali R., “Obka-Fs: An Oppositional-Based Binary Kidneyinspired Search Algorithm for Feature Selection”, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95(1): 9-23, (2017).
- [21] Liang Y., Niu D., Wang H. and Chen H., “Assessment Analysis and Forecasting for Security Early Warning of Energy Consumption Carbon Emissions in Hebei Province, China”, *Energies*, 10(3): 391, (2017).
- [22] Hall J.E. “Guyton and Hall textbook of medical physiology”, *Elsevier Health Sciences*, (2015).
- [23] Jaddi N.S. and Abdullah S., “Optimization of neural network using kidney-inspired algorithm with control of filtration rate and chaotic map for real-world rainfall forecasting”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67: 246-259, (2018).
- [24] Sauer P.W., Pai M.A., Chow, J.H., “Power System Dynamics and Stability: With Synchrophasor Measurement and Power System Toolbox”, Hoboken, NJ, USA: *IEEE Press, Wiley*, (2017).
- [25] Mondal D., Chakrabarti A., Sengupta A., “Power System Small Signal Stability Analysis and Control”, *Academic Press*, London, (2014).
- [26] Dorf R.C., Bishop R.H., “Modern Control Systems”, *Prentice Hall*, (2010).
- [27] Shayeghi H., Shayanfar H.A., Asefi S. and Younesi A., “Optimal Tuning and Comparison of Different Power System Stabilizers Using Different Performance Indices Via Jaya Algorithm”, *In Proceedings of the International Conference on Scientific Computing (CSC)*, 34-40, (2016).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Duvardan radyant soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan sıcaklığının ısı konforuna etkisinin incelenmesi

Investigation of coolant temperature effect on thermal comfort in wall mounted radiant cooling systems

Yazar(lar) (Author(s)): Merve ÖZTÜRK¹, Onur ORUÇ²

ORCID¹: 0000-0002-4414-0916

ORCID²: 0000-0002-5459-2342

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Öztürk M. ve Oruç O., “Duvardan radyant soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan sıcaklığının ısı konforuna etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 461-468, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.444374

Duvardan Radyant Soğutma Sistemlerinde Soğutucu Akışkan Sıcaklığının Isıl Konfora Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Merve ÖZTÜRK*, Onur ORUÇ

Makine Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 12.02.2018 ; Kabul/Accepted : 12.06.2018)

ÖZ

Radyant sistemler geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine göre daha iyi ısı konfor şartları sağlamalarının yanında düşük enerji tüketimleriyle de ön plana çıkmaktadırlar. Radyant panel sistemlerinin enerji ve ekserji açısından gösterdikleri performanslar dünya çapında akademisyenlerin ilgisini çekmiştir. Bu çalışmada, duvardan radyant soğutma sisteminin ısı konfora etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda radyant panellerin içerisinde bulunan soğutucu akışkan sıcaklığı sırasıyla 18°C, 20°C ve 22°C tanımlanarak sonuçlar PMV-PPD parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Tüm durumların ASHRAE 55 standardında belirtilen ısı konfor şartlarını sağladığı, en iyi ısı konfor değerine yakın durumun 20°C soğutucu akışkan sıcaklığında gerçekleştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor, PMV-PPD, radyant soğutma, HAD.

Investigation of Coolant Temperature Effect on Thermal Comfort in Wall Mounted Radiant Cooling Systems

ABSTRACT

Radiant systems provide better thermal comfort conditions than traditional heating and cooling systems, as well as low energy consumption. The performance of radiant panel systems in terms of energy and exergy have attracted the attention of the academicians around the world. In this study, the effect of the wall mounted radiant cooling system on thermal comfort was investigated numerically. For this purpose, the coolant temperature inside the radiant panels was defined as 18°C, 20°C and 22°C respectively and the results were compared according to the PMV-PPD parameters. It has been found that all cases fulfilled the thermal comfort conditions specified in ASHRAE 55 standard and the best conditions were obtained at 20°C water temperature.

Keywords: Thermal comfort, PMV-PPD, radiant cooling, CFD.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isıl konfor basit olarak insan ile ortam arasındaki enerji dengesine dayanmaktadır. İnsan vücudu sıcak bir ortamda bulunduğu sırada ısı kaybetmek için terleme durumuna, soğuk ortamda bulunduğu sırada ise ısınmak için titreme durumuna geçer. Bu nedenle günlük hayatta ısı konfor insanların yaşam kalitesini oldukça etkilemektedir. Isıl konfor hesaplama metodu Fanger'in [1] 1970 yılında geliştirmiş olduğu PMV-PPD yöntemine dayanmaktadır. Radyant panel sistemleri kullanılarak yapılan soğutma diğer konvansiyonel sistemler kullanılarak yapılan soğutmaya göre daha iyi ısı konfor değerleri sunmaktadır.

Oxizidis ve Papadopoulos yaptıkları çalışmada [2]; ofis odasını temsil eden bir test hücresi içerisinde yer alan radyant ve ısı taşınım sistemlerini enerji tüketimi ve ısı konfor açısından karşılaştırmışlardır. Radyant yüzey-

lerin, özellikle radyant zeminler, doğal havalandırılmış binalar için ısı konfor şartlarını geliştirmek için en uygun model olduğunu belirtmişlerdir.

Catalina vd. yaptıkları çalışmada [3]; bir test odasında kontrollü şartlar altında kurulan tavadan radyant soğutma sistemini deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile incelemişlerdir. HAD analizlerinden elde edilen hava hızı değerlerinin ayak/bilek bölgesinde yerel konforsuzluk oluşturduğu, fakat test odasının geri kalan bölgelerinde hava hızı değerlerinin standartlara uygun olduğu gözlenmiştir. Çizilen PMV dağılımı grafikleri ısı konforun sağlandığını ve odanın içerisinde düzgün dağıldığını göstermiştir. Bu çalışmada tavadan soğutma, düşük dikey hava sıcaklığı gradyanı oluşturarak ısı konforu sağlamıştır. Aynı zamanda yüksek metabolizma hızı ve/veya giysi yalıtımı değerleri için de ısı konforun sağlandığı gözlenmiş, bu nedenlerle tavadan soğutmanın ısı konfor açısından avantajlı olduğu belirtilmiştir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : merveoz@yildiz.edu.tr

Lim vd. yaptıkları çalışmada [4]; radyant zemin soğutma sistemlerinin kontrol metodlarının performansını ve uygulanabilirliğini, zemin yüzey yoğunlaşması ve konfor parametrelerine göre deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Radyant soğutmalı model için yapılan deneylerin sonucuna göre; zemin yüzey sıcaklığının 21°C, yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının 6°C ve dikey sıcaklık farkının 1.9°C'nin altında kalarak ısı konfor standartlarının/şartlarının sağlandığı görülmüştür.

Hodder vd. yaptıkları çalışmada [5]; deplasmanlı havalandırmanın soğutulmuş tavan ile birlikte ısı konfora etkilerini incelemiştir. Soğutulmuş tavana ve deplasmanlı havalandırmaya sahip ofis içeren test odası inşa edilmiş, tavan sıcaklığı belirli bir aralıkta tutularak, sekiz kadın denek ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Dikey radyant sıcaklık asimetrisinin toplam ısı konfora etkileyen en büyük problem olduğu gözlemlenmiştir.

İmanari vd. yaptıkları çalışmada [6]; radyant tavan panel sistemiyle konvansiyonel hava şartlandırma sistemini ısı konfor, enerji tüketimi ve maliyet açısından karşılaştırmışlardır. Radyant tavan panel sisteminin soğutma durumunda çok etkili bir ısı çevre oluşturduğu, deneklerden daha iyi ısı konfor sağladığına dair olumlu oy aldığı ve enerji tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır.

Zhao vd. çalışmalarında [7]; büyük alanlara sahip binalar için radyant zemin soğutma uygulamaları hakkında araştırma yapmışlardır. Havalimanları, konferans merkezleri ve oditoryumlar gibi büyük alanlara sahip binalarda dış bina zarfı camdan olduğu için, iç ısı çevre yüksek güneş radyasyonundan etkilenecektir. Bu çalışmada geniş alanlı binalarda radyant soğutma performansı üzerinde durulmuştur. Radyant sistemlerin ısı konforu sağlamanın yanında, sistem verimliliği açısından oldukça iyi bir performans sergilediğini göstermişlerdir.

Hernández vd. yaptıkları çalışmada [8]; yeni bir havalandırma terminali kurarak bunu radyant zemin ile kombinlemişlerdir. Çalışmalarında hem deneysel hem de sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Deney ve sayısal analizler sonucunda sayısal analizlerin deneylerle örtüştüğü görülmüştür. Zemindeki borular sıcaklık dağılımını homojen şekilde sağlamıştır. Dikey sıcaklık farkının 2.7°C olduğu ve böylelikle ısı konfor şartlarının sağlandığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada, radyant panel kullanılarak yapılan soğutma durumunda panellere beslenen soğutucu akışkan sıcaklıklarının ısı konfora etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üç farklı soğutucu akışkan sıcaklığı kullanılarak, iki boyutlu bir modelde analizler gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1 2B Model (2D Model)

Bu çalışmada, sağ ve sol duvar kesitlerinin derinlikle değişmediği göz önüne alınarak 4 m genişliğinde ve 3 m yüksekliğinde 2 boyutlu bir oda kesiti modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelin şematik gösterimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. 2B oda modeli (2D room model)

Odanın yapısında ve yalıtımında kullanılan malzemelerin kalınlıkları ile ısı geçiş katsayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2 HAD Modeli ve Sınır Şartları (CFD Model and Boundary Conditions)

2.2.1 Matematik Model (Mathematical Model)

Bu çalışmada akışın 2B, kararlı olduğu ve yoğunluk, viskozite, ısı iletkenlik gibi termofiziksel özelliklerin sabit olduğu kabul edilmiştir. Böylece kartezyen koordinatlar için korunum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir [10]. Oda içerisinde hava ile panel arasındaki ısı transferi doğal taşınım ile gerçekleşmektedir. Boussinesq yaklaşımı çok çeşitli doğal taşınım problemlerinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre momentum denklemleri düzenlenerek yazılmıştır [11]:

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemleri

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - g \beta (T - T_0) + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Enerji denklemi

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Çizelge 1. Yapı elemanları ve diğer malzemelerin özellikleri [9] (Properties of structuring and other materials)

No	Malzeme	Kalınlık [mm]	Isı geçiş katsayısı [W/mK]
1	Alçı	30	0.37
2	Pex Boru (Polietilen Çapraz bağlı)	-	0.41
3	Xps (Ekstrude polistren köpük)	20	0.035
4	Tuğla	240	0.5
5	Sıva	20	1

Doğal taşınımında sınır tabaka laminer bölge ile sınırlı değildir. Doğal taşınımında geçiş bölgesi kaldırma ve viskoz kuvvetlerin değerine oldukça bağlıdır. Geçiş bölgesinin tayini Rayleigh numarasıyla belirlenir. Rayleigh numarası denklem 5 ile hesaplanabilir. Dikey düzlem plakalar için kritik Rayleigh sayısı 10^9 olarak tayin edilmiş, bu değerler üzerindeki değerler türbülanslı akış olarak kabul görmektedir [11].

$$Ra = Gr Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu\alpha} \approx 10^9 \quad (5)$$

Bu çalışmada Rayleigh sayısı yaklaşık olarak 1.6×10^3 olarak bulunmuş, akışın türbülanslı olduğu anlaşılmıştır. Türbülans modeli olarak Standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Standart k- ϵ türbülans modeli en çok bilinen ve çokça kullanılan iki denklemlilik eddy viskozite modelidir [12]. Bu modelin viskozitenin ve türbülanslı akışın etkili olduğu duvar yakınlığında doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [13]. Doğal taşınım için en uygun model olduğu deneysel olarak kanıtlanmıştır [14]. Bu model için transport denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho k u) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \epsilon u) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (7)$$

Burada

$$\mu_t = \rho C_\mu \mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (8)$$

Bu denklemlerde G_k ortalama hız gradyanlarından dolayı oluşan türbülans kinetik enerji üretimini, G_b kaldırma kuvvetinden dolayı oluşan türbülans kinetik enerji üretimini, Y_M sıkışabilirliğin türbülans üzerindeki etkisini temsil etmektedir. σ_k ve σ_ϵ sırasıyla k ve ϵ için Prandtl sayılarıdır. $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, $C_{3\epsilon}$ k- ϵ türbülans modeli sabitleridir [12].

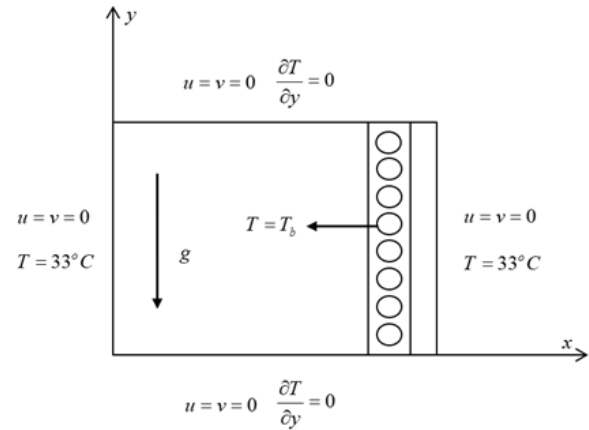
Isı üretiminin olmadığı iki boyutlu sürekli rejim ve sabit ısı iletim katsayısına sahip tuğla ve sıva içerisindeki ısı iletimi aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (9)$$

Bu çalışmada ışınlama olan ısı geçişi taşınım olan ısı geçişine göre daha önemli olduğundan ışınlama etkileri dikkate alınmıştır. Bu nedenle genel geçer, hemen hemen bütün uygulamalara uyarlanabilen ve doğruluğu kanıtlanmış Discrete Ordinates (DO) ışınlama modeli kullanılacaktır. Bu model saçılmayı, yarı saydam ortamı,

yansıtıcı yüzeyleri ve dalga boyuna bağlı geçirmeyi hesaba katmaktadır. Discrete Ordinate radyasyon modeli, saydam olmayan duvarların her iki yanında da akışkan veya katı ortam olduğu problemleri çözebilmektedir. Bu modelin avantajı hem güneşten gelen ışınlama hem de katı ve opak yüzeylerdeki ışınlama çözümleridir [15].

Ansys-Fluent programı [16] kullanılırken, çözücü ayarlarında çözücü tipi olarak Pressure-based modeli seçilmiştir. Analizlerin tümü sürekli hal göz önüne alınarak yapılmıştır. Oda modelinde doğal taşınım analizleri yapılacağından yer çekimi ivmesi y doğrultusunda -9.81 m/s^2 olarak tanımlanmıştır. Çözümlerde ısı geçişini hesaplanabilmesi için enerji modeli aktif hale getirilmiştir. Panellerden ısı geçişi taşınım ve ışınlama ile olduğundan, ışınlama ile geçen ısıyı hesaplayabilmek için enerji modeline ek olarak ışınlama modeli de aktifleştirilmiştir. Işınlama modeli olarak discrete ordinates (DO) modeli kullanılmıştır. Çözüm alanı içerisinde akışın Rayleigh sayısının türbülanslı akışı göstermesi nedeniyle, türbülans modelleri içerisinden standart k- ϵ modeli kullanılmıştır. Standart k- ϵ modeli yaygın model olup, doğal taşınım çözümlemesine uygun ve çözüm süresi kısalığı bakımından oldukça kullanışlıdır [15].



Şekil 2. Sınır Şartları (Boundary conditions)

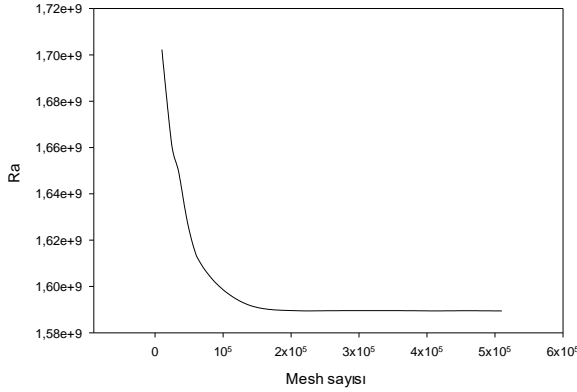
Şekil 2'de sınır şartları gösterilmiştir. Oda içerisinde bulunan havanın sıcaklık değeri 24°C olarak belirlenmiştir. Dış ortam sıcaklığı olarak İstanbul için tasarım sıcaklığı olan 33°C [17] tanımlanmıştır. Dış ortam sıcaklığı direkt olarak sıvanın yüzeyine tanımlanmıştır. Radyant panellerin içerisinde bulunan soğutucu akışkan sıcaklığı sırasıyla 18°C , 20°C ve 22°C tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Radyant panellere tanımlanan sıcaklıklar boru yüzey sıcaklığı olarak tanımlanmış, boru içerisindeki akışım etkileri hesaba katılmamıştır. Her biri 10 mm çapa sahip, 72 adet boru kullanılmıştır.

2.2.2 Çözüm Alanı ve Mesh Bağımsızlığı

(Computational Domain and Grid Independency)

Şekil 1'de belirtilen geometri çözüm alanını oluşturmaktadır. Mesh bağımsızlığı için 10×10^3 ile 510×10^3 aralığında mesh sayısına sahip olan 8 farklı

analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te mesh sayısına bağlı olarak Rayleigh sayısının değişimi verilmiştir. Mesh sayısının 130×10^3 olduğu durumdan sonra çalışmanın mesh sayısından bağımsız olduğu anlaşılmış, bu çalışmada mesh sayısı 135×10^3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Mesh Bağımsızlığı (Grid independency)

2.3 Isıl Konfor Hesaplama Yöntemi (Thermal Comfort Calculation Methods)

Isıl konfor kısaca ortamdaki duyulan memnuniyet olarak tanımlanır [18]. İnsandan insana değişen fizyolojik, psikolojik ve buna benzer birçok varyasyona bağlıdır. Bu çalışmada ısı konforu değerlendirmek için; PMV-PPD değerleri ve yerel ısı konfor kriterleri ASHRAE 55 [19] ve ISO 7730 [18] standartlarına göre hesaplanmıştır.

2.3.1 Tahmini ortalama oy (Predicted Mean Vote)

PMV, insan vücudunun ısı dengesini baz alarak, bir grup insanın yedi farklı ısı his ölçeğine göre belirlediği ısı konfor sınıflandırmasıdır [19]. ASHRAE ısı his ölçeği Çizelge 2'de gösterilmiştir.

PMV metabolizma hızı, giysi yalıtımı, hava sıcaklığı, ortalama radyant sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem parametrelerine bağlı olarak denklem 10 ile hesaplanır [19].

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot M} + 0.028) \cdot$$

$$\left[\begin{array}{l} (M - W) \\ -3.05 \cdot 10^{-3} \cdot \{5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_a\} \\ -0.42 \cdot \{(M - W) - 58.15\} \\ -1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) \\ -0.0014M (34 - T_a) \\ -3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \{(T_{cl} + 273)^4 - (T_r + 273)^4\} \\ -f_{cl} \cdot h \cdot (T_{cl} - T_a) \end{array} \right] \quad (10)$$

Burada

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) \\ -I_{cl} \cdot \left[\begin{array}{l} 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \{(T_{cl} + 273)^4 - (T_r + 273)^4\} \\ + f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) \end{array} \right] \quad (11)$$

$$h = \begin{cases} 2.38 \cdot |T_{cl} - T_a|^{0.25} \leq 2.38 \cdot |T_{cl} - T_a|^{0.25} > 12.1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \\ 12.1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \leq 2.38 \cdot |T_{cl} - T_a|^{0.25} < 12.1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (12)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1.29 \cdot I_{cl} \leq I_{cl} \leq 0.078m^2 \cdot K / W \\ 1.05 + 0.645 \cdot I_{cl} \leq I_{cl} > 0.078m^2 \cdot K / W \end{cases} \quad (13)$$

Çizelge 2. ASHRAE ısı his ölçeği (ASHRAE thermal sensation scale) [19]

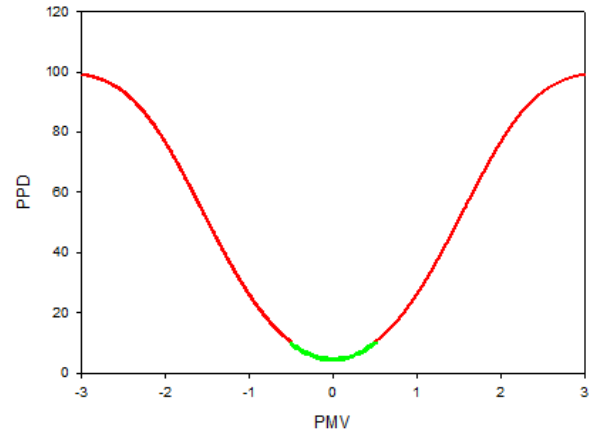
+3	Sıcak
+2	Ilık
+1	Hafif Ilık
0	Nötr
-1	Hafif serin
-2	Serin
-3	Soğuk

2.3.2 Tahmini memnuniyetsizlik oranı (Predicted Percentage of Dissatisfied)

PMV değerlerini kullanıp ısı olarak memnuniyetsiz (sıcak, ılık, serin ve soğuk oyu kullanmış) olan insan sayısının oranını belirtmektedir [18]. PPD değeri denklem 14 ile hesaplanır [19].

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \quad (14)$$

PMV ve PPD değerleri arasındaki ilişki Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. PMV ile PPD arasındaki ilişki (The relationship between PMV and PPD)

2.3.3 Yerel ısı konforsuzluklar (Local discomforts)

PMV ve PPD bütün vücudu baz alan ısı konfor parametreleridir. Fakat ısı konforsuzluk bölgesel olarak gerçekleşebilir. En yaygın yerel ısı konforsuzluklar hava akışı, baş ile ayak bileği arasında gerçekleşen normal olmayan dikey sıcaklık farkları, çok yüksek veya çok düşük zemin sıcaklıkları ve yüksek radyant asimetri sıcaklıkları olarak gösterilebilir [18].

ASHRAE 55 [19] ve ISO 7730 [18] standartları: Standartlarla belirlenen ısı konfor değerleri Çizelge 3’de görülmektedir.

Çizelge 3. Isıl Konfor Kriteri (Thermal Comfort Criteria)

Parametre	Sınırlı Değer
PMV	$-0.5 < PMV < 0.5$
PPD	$PPD < 10$

3. BULGULAR (RESULTS)

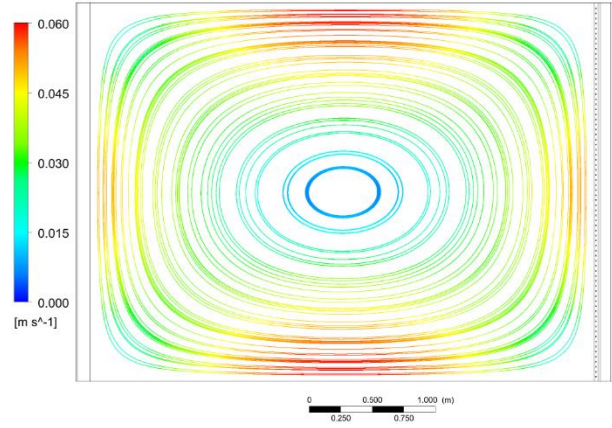
Soğutucu akışkan sıcaklığının 18°C, 20°C ve 22°C olduğu durumlar için hız akım çizgileri sırasıyla Şekil 5, Şekil 6, ve Şekil 7’de gösterilmiştir. Oda kesiti içerisindeki hava sıcak olan sol duvar boyunca yükselirken, soğuk sağ duvar boyunca alçalarak saat yönünde hareket etmektedir. Kırmızı renkte görünen bölgelerde akım çizgilerinin birbirine yaklaştığı ve hızın artış gösterdiği görülmektedir.

Soğutucu akışkan sıcaklığının 18°C, 20°C ve 22°C olduğu durumlar için oda içerisindeki sıcaklık konturları sırasıyla Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekil 8’de radyant panel yakınında bölge hariç sıcaklığın homojen dağıldığı gözlenmektedir.

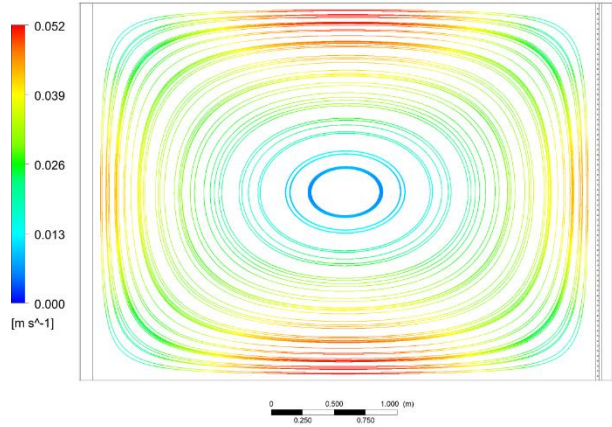
Şekil 9 ve 10’da ise sol duvar yakınındaki bölgeler hariç oda kesiti genelinde sıcaklık homojen dağılmıştır. Soğutucu akışkan sıcaklığı arttıkça oda içerisindeki sıcaklık değeri artmıştır.

Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13’de boyutsuzlaştırılmış genişlik ve yüksekliğe göre hız değerlerinin değişimi grafikleri verilmiştir. Burada x duvardan olan uzaklığı tanımlarken, G oda genişliğini tanımlamaktadır. Radyant panel içerisindeki soğutucu akışkan sıcaklığının artmasıyla hız değerleri düşmüştür. Tüm grafiklerde x/G 0.25 ve 0.75 olduğu durumlara hız değerleri benzerlik göstermiş, 0.50 olduğu durumda ise hava hareketlerinden dolayı farklı değerler almış, 1.5 m yükseklikte ise hava durağanlaşmıştır. Hava akış hızının yerel konforsuzluklar oluşturmaması için ASHRAE 55 standardına göre maksimum 0.18 m/s olması gerekmektedir [19]. Tüm durumlar için hız değerlerinin bu standarda uygun olduğu görülmüştür.

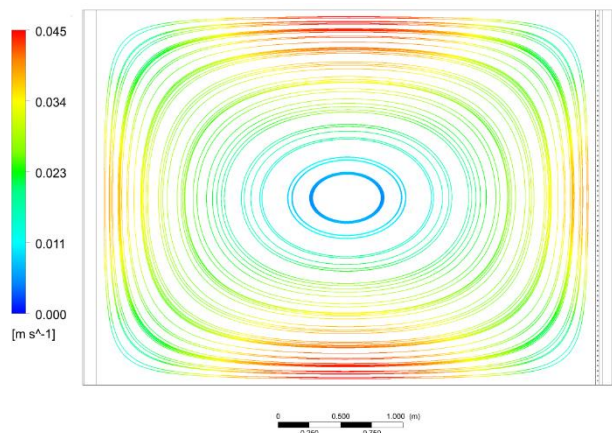
Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’da boyutsuzlaştırılmış genişlik ve yüksekliğe göre sıcaklık değerlerinin değişimi grafikleri verilmiştir. Burada x duvardan olan uzaklığı tanımlarken, G oda genişliğini tanımlamaktadır. Her üç durumda soğutucu akışkan sıcaklığının artmasıyla, oda kesitinde sıcaklıklar artış göstermiştir. Dikey hava sıcaklık farkının yerel konforsuzluklar oluşturmaması için ASHRAE 55 standardına göre maksimum 3°C olması gerekmektedir [19]. Tüm durumlar için dikey hava sıcaklık fark değerlerinin bu standarda uygun olduğu görülmüştür.



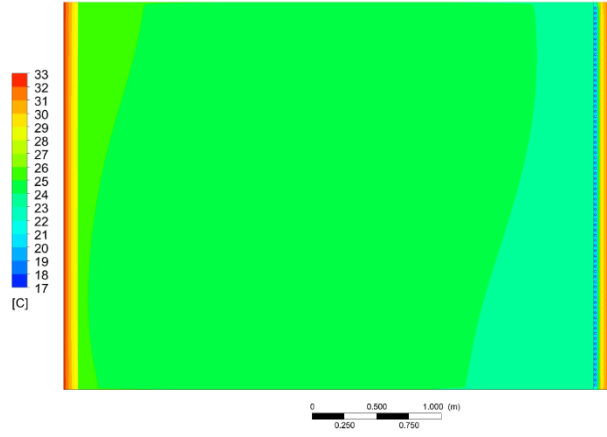
Şekil 5. Soğutucu akışkan sıcaklığının 18°C olması durumunda hız akım çizgileri (Streamlines for 18°C coolant temperature)



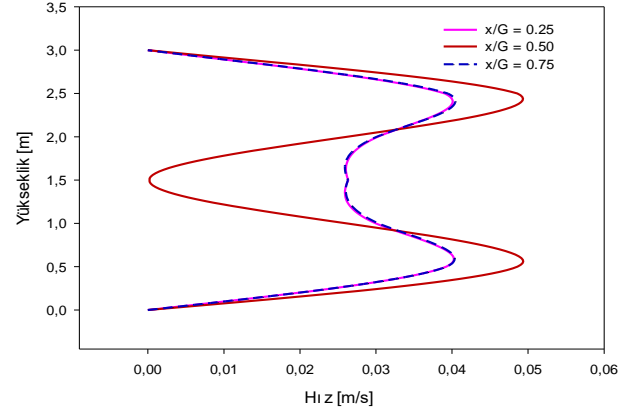
Şekil 6. Soğutucu akışkan sıcaklığının 20°C olması durumunda hız akım çizgileri (Streamlines for 20°C coolant temperature)



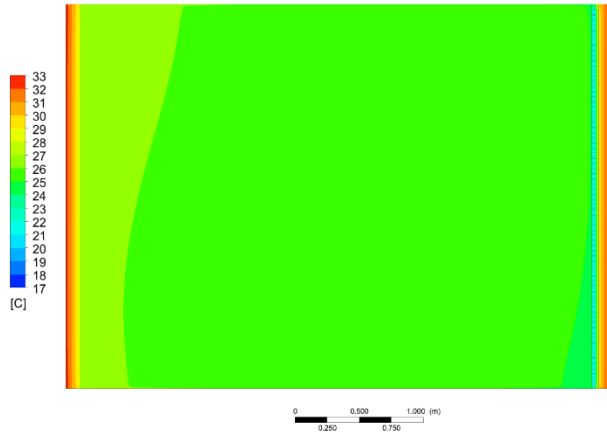
Şekil 7. Soğutucu akışkan sıcaklığının 22°C olması durumunda hız akım çizgileri (Streamlines for 22°C coolant temperature)



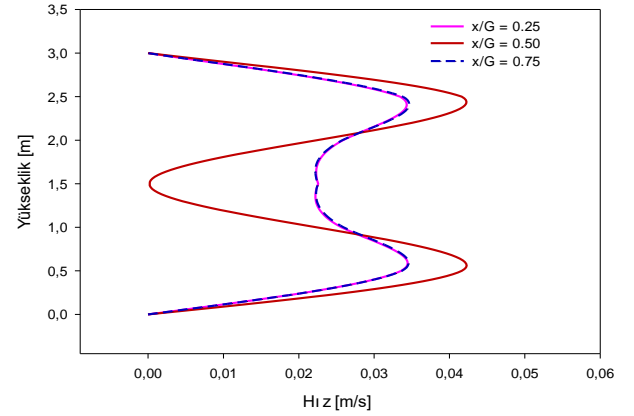
Şekil 8. Soğutucu akışkan sıcaklığının 18°C olması durumunda sıcaklık konturları (Temperature contours for 18°C coolant temperature)



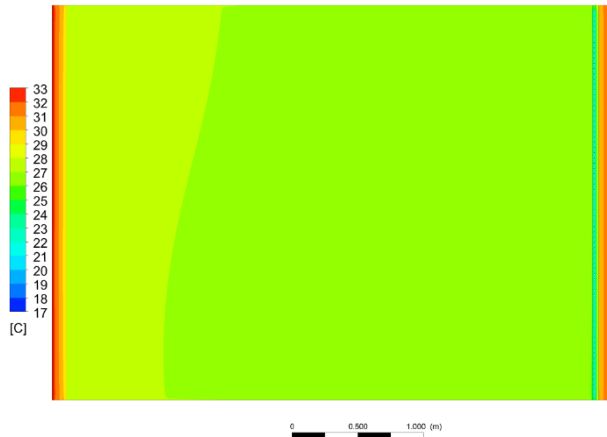
Şekil 11. Soğutucu akışkan sıcaklığının 18°C olması durumunda hava hızının yüksekliğe göre değişimi (Change of air speed according to height when the coolant temperature is 18°C)



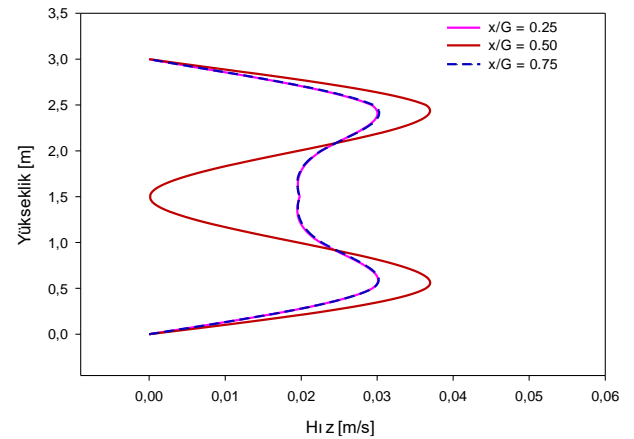
Şekil 9. Soğutucu akışkan sıcaklığının 20°C olması durumunda sıcaklık konturları (Temperature contours for 20°C coolant temperature)



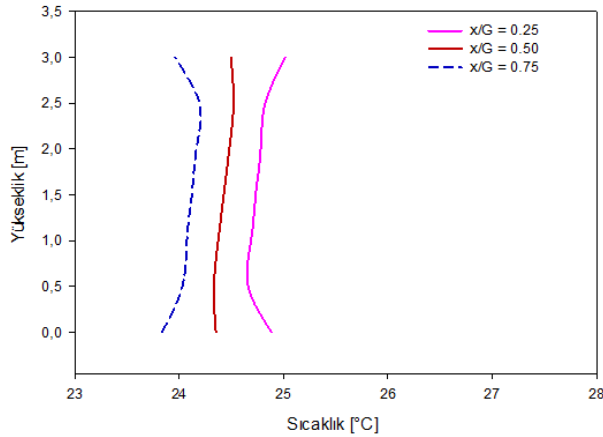
Şekil 12. Soğutucu akışkan sıcaklığının 20°C olması durumunda hava hızının yüksekliğe göre değişimi (Change of air speed according to height when the coolant temperature is 20°C)



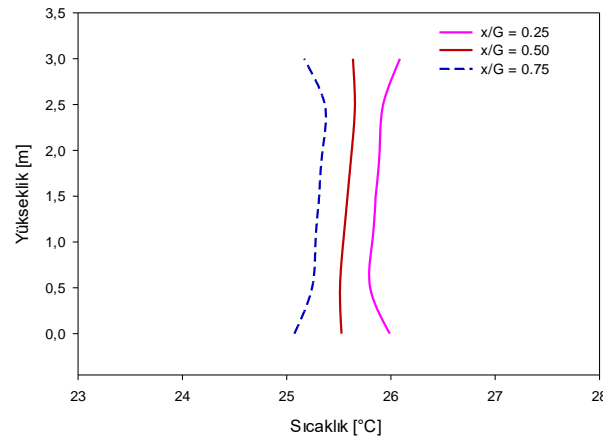
Şekil 10. Soğutucu akışkan sıcaklığının 22°C olması durumunda sıcaklık konturları (Temperature contours for 22°C coolant temperature)



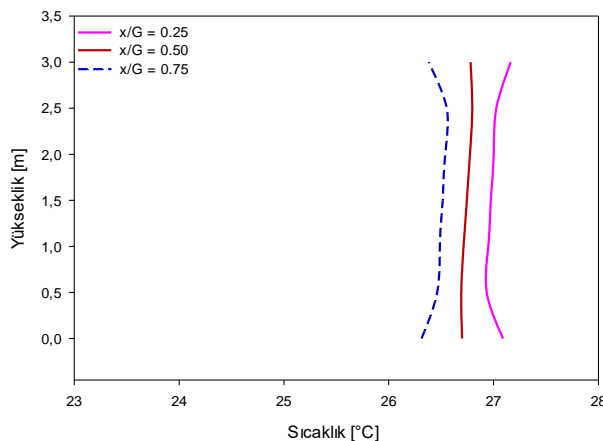
Şekil 13. Soğutucu akışkan sıcaklığının 22°C olması durumunda hava hızının yüksekliğe göre değişimi (Change of air speed according to height when the coolant temperature is 22°C)



Şekil 14. Soğutucu akışkan sıcaklığının 22°C olması durumunda hava hızının yüksekliğe göre değişimi (Change of air speed according to height when the coolant temperature is 22°C)



Şekil 15. Soğutucu akışkan sıcaklığının 20°C olması durumunda hava sıcaklığının yüksekliğe göre değişimi (Change of air temperature according to height when the coolant temperature is 20°C)



Şekil 16. Soğutucu akışkan sıcaklığının 22°C olması durumunda hava sıcaklığının yüksekliğe göre değişimi (Change of air temperature according to height when the coolant temperature is 22°C)

Çizelge 4’de tüm durumlar için PMV-PPD değerleri tablo halinde verilmiştir. Tüm durumların ASHRAE 55 standardına göre [19] genel konfor şartlarını sağladığı görülmüştür. PMV değerinin hesaplanmasında % 50 bağıl nem, 1.0 clo ve 1.2 met değerleri baz alınmıştır. Bu değerler ASHRAE 55 standardına göre [19] soğutma durumları için tasarım değerleridir. Hesaplama yapılırken, PMV değerlerinin ısı konfor standardını sağlayacağı düşünülen üç farklı soğutucu akışkan sıcaklığı kullanılmıştır. Soğutucu akışkan sıcaklığının azaltılması durumunda, PMV değerinin negatif yönde, artırılması durumunda ise PMV değerinin pozitif yönde artış göstereceği gözlenmiştir. Bu üç durum incelendiğinde, soğutucu akışkan sıcaklığının 20°C olduğu durumun, diğer durumlara göre daha iyi bir ısı konforuna sahip olacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. Bütün durumlar için PMV-PPD değerleri (PMV-PPD values for all cases)

	PMV	PPD
18°C	-0.45	9.23
20°C	-0.12	5.30
22°C	0.31	7.00

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, duvardan radyant soğutma sisteminin ısı konforuna etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda radyant panellerin içerisinde bulunan soğutucu akışkan sıcaklığı sırasıyla 18°C, 20°C ve 22°C tanımlanarak sonuçlar PMV - PPD parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Tüm durumların hesaplanan PMV - PPD parametreleri ısı konfor şartlarını sağlamıştır.

Tüm durumlar için dikey sıcaklık farkı ASHRAE 55 standardında belirtilen 3°C limit değerini aşmamıştır. Yine aynı standartta belirtilen limit hız 0.18 m/s değeri aşılmamıştır. Bu nedenlerle, yerel konforsuzluklar üç durum için de gözlenmemiştir.

Oda kesitinde hava sirkülasyonunun olduğu, sıcak olan sol yüzeyden yukarıya ve soğuk olan sağ yüzeyden aşağıya doğru hareket ettiği görülmüştür.

İleriki çalışmalarda soğutmanın havalandırma ile desteklenebileceği ve farklı ısı konfor yöntemleriyle araştırmaların yapılabileceği öngörülmektedir.

SİMGE LİSTESİ (NOMENCLATURE)

α	Isı yayılma katsayısı
β	Hacimsel ısı genleşme katsayısı
C_{1e}	k-ε türbülans modeli sabiti
C_{2e}	k-ε türbülans modeli sabiti
C_{3e}	k-ε türbülans modeli sabiti
C_{μ}	k-ε türbülans modeli dinamik viskozite sabiti
ε	Türbülans sönümlenme hızı, yajma oranı

f_{cl}	Giysili vücut yüzey faktörü
G	Odanın genişliği
G_b	Kaldırma kuvvetinden dolayı türbülans kinetik enerjinin üretimi
G_k	Ortalama hız gradyanından dolayı türbülans kinetik enerjinin üretimi
G_r	Grasshoff sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Taşınım katsayısı
I_{cl}	Giysi yalıtımı
k	Türbülans kinetik enerjisi, ısı iletim katsayısı
L	Karakteristik uzunluk
M	Metabolik hız
μ	Dinamik viskozite
μ_t	Türbülans dinamik viskozitesi
ν	Kinematik viskozite
p	Basınç
p_a	Su buharı kısmi basıncı
Pr	Prandtl sayısı
Ra	Rayleigh numarası
ρ	Yoğunluk
σ	Stefan-Boltzmann sabiti
$\sigma_k, \sigma_\epsilon$	k- ϵ için prandtl sayıları
T	Sıcaklık
T_a	Hava sıcaklığı
T_b	Borunun yüzey sıcaklığı
T_{cl}	Giysi yüzey sıcaklığı
T_r	Ortalama radyant sıcaklık
T_s	Yüzey sıcaklığı
T_0	Çalışma sıcaklığı
T_∞	Çevre sıcaklığı
u, v, w	Akışkanın ortalama hız bileşenleri
u_i	Anlık hız
V_{ar}	Bağıl hava hızı
W	Etkin mekanik güç
x, y, z	Kartezyen koordinatlar
Y_M	Sıkışabilirliğin türbülans üzerindeki etkisi

KISALTMA LİSTESİ (ABBREVIATION LIST)

ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CFD	Computational Fluid Dynamics
DO	Discrete Ordinates
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ISO	International Standards Organization
PMV	Predicted Mean Vote (Tahmini Ortalama Oy)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied (Tahmini Memnuniyetsizlik Oranı)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Fanger, P. O., "Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering", (1970).

[2] Oxizidis, S., Papadopoulos, M. A., "Performance of radiant cooling surfaces with respect to energy consumption and thermal comfort", *Energy and Buildings*, 57: 199-209, (2013).

[3] Catalina, T., Virgone, J. ve Kuznik, F., "Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling", *Building and Environment*, 44: 1740-1750, (2009).

[4] Lim, J.H., Jo, J.H., Yong, Y.K., Souk, M., Kim, K.W., "Application of the control methods for radiant floor cooling system in residential buildings", *Building and Environment*, 41: 60-73, (2006).

[5] Hodder, S. G., Loveday, D. L., Parsons, K. C. ve Taki, A. H., "Thermal comfort in chilled ceiling and displacement ventilation environments: vertical radiant temperature asymmetry effects", *Energy and Buildings*, 27: 167-173, (1998).

[6] Imanari, T., Omori, T. ve Bogaki, K., "Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system: Comparison with the conventional all-air system", *Energy and Buildings*, 30: 167-175 (1999).

[7] Zhao, K., Liu, X. H. ve Jiang, Y., "Application of radiant floor cooling in large space buildings - A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 1083-1096, (2016).

[8] Fernandez Hernandez, F., Cejudo Lopez, J. M., Fernandez Gutierrez, A. ve Dominguez Munoz, F., "A new terminal unit combining a radiant floor with an underfloor air system: Experimentation and numerical model", *Energy and Buildings*, 133: 70-78, (2016).

[9] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", (2008).

[10] White, F. M., "Fluid Mechanics", *McGraw-Hill*, 3. Baskı, New York, (2003).

[11] Incropera, F.P. ve Dewitt, P.D., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", *John Wiley and Sons*, 3. Baskı, New York (2013).

[12] ANSYS, "Ansys Fluent Theory Guide, Yayın No: 15", (2013).

[13] Bardina, J.E., Huang, P.G. ve Coakley, T.J., "Turbulence Modeling Validation, Testing, and Development", *NASA technical memorandum*, California, (1997).

[14] Yuan, X., "Wall Functions for Numerical Simulation of Natural Convection along Vertical Surfaces", *Yüksek Lisans Tezi*, ETH Zürich, Zürich, (1995).

[15] ANSYS, "Ansys Fluent User's Guide, Yayın No: 16", (2015).

[16] <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>

[17] Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş., "Şehirlerin Yaz ve Kış Dış Hava Tasarım Sıcaklıkları", <https://www.alarko-carrier.com.tr/tr/TeknikDestek/DisHavaTasarimSicakliklari.pdf>, 30 Haziran 2017

[18] ISO 7730, "Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria", (2015).

[19] ASHRAE 55, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", (2013).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Farklı üretim parametrelerinin katı faz kristalizasyon (SPC) tekniği kullanılarak üretilen polikristal silisyum ince filmlerin kalitesi üzerine etkileri

The effects of different fabrication parameters on the quality of polycrystalline silicon thin films formed by solid phase crystallization (SPC) technique

Yazar(lar) (Author(s)): Özge TÜZÜN ÖZMEN¹, Salar Habibpur SEDANİ², Mehmet KARAMAN³, Kadir GÖKŞEN⁴, Raşit TURAN⁵

ORCID¹: 0000-0002-5204-3737

ORCID²: 0000-0002-3810-9402

ORCID³: 0000-0002-9008-4011

ORCID⁴: 0000-0001-8790-582X

ORCID⁵: 000-0002-2612-8972

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tüzün Özmen Ö., Sedani S. H., Karaman M., Gökşen K. ve Turan R., “farklı üretim parametrelerinin katı faz kristalizasyon (SPC) tekniği kullanılarak üretilen polikristal silisyum ince filmlerin kalitesi üzerine etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 469-475, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.457955

Farklı Üretim Parametrelerinin Katı Faz Kristalizasyon (SPC) Tekniği Kullanılarak Üretilen Polikristal Silisyum İnce Filmlerin Kalitesi Üzerine Etkileri

Araştırma Makalesi / Research Article

Özge TÜZÜN ÖZMEN^{1,2,*}, Salar Habibpur SEDANİ^{3,4}, Mehmet KARAMAN^{3,4}, Kadir GÖKŞEN¹, Raşit TURAN^{4,5}

¹Fizik Bölümü, Düzce Üniversitesi, 81620 Düzce, Türkiye

²DÜTEM, Düzce Üniversitesi, 81620 Düzce, Türkiye

³Mikro ve Nanoteknoloji Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06800 Ankara, Türkiye

⁴GÜNAM, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06800 Ankara, Türkiye

⁵Fizik Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06800 Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 20.02.2018 ; Kabul/Accepted : 15.08.2018)

ÖZ

Yüksek elektronik kaliteleri ve optimize edilmiş eklem yapıları nedeniyle SiN_x kaplı cam alttaşı üzerindeki polikristal silisyum (poly-Si) ince filmler, hacimsel silisyum bazlı güneş hücrelerine karşı umut vaat edici alternatif yaklaşımlardır. Bu çalışmada, poly-Si filmler katı faz kristalizasyonu (SPC) tekniği ile üretilmişlerdir. Filmler, klasik tüp fırında 600°C 'de 8-26 saat aralığında kristalleştirilmişlerdir. SiN_x kaplı cam alttaşı üzerindeki poly-Si ince filmlerin yapısal ve optiksel özellikleri araştırılmıştır. Poly-Si ince filmlerin yönelimi ve kristalit büyüklüğü X-ışını kırınımı (XRD) kullanılarak incelenirken filmlerin kristallenme derecesi mikro Raman spektroskopisi ile çalışılmıştır. Kristalizasyon süresinin filmin kalitesi üzerine önemli etkileri olduğu bulunmuştur. Deneyler sonucunda, tavlama süresi 8 saatten 26 saate arttırıldığında kristallenme derecesinin %10'dan %95'e arttığını göstermiştir. 600°C 'de kristalenen SPC poly-Si filmlerin tercihli yönelimi tüm tavlama zamanları için $\langle 111 \rangle$ 'dir. Diğer yandan, artan tavlama süresi kristalit boyutunu 29,6nm'den 36,3nm'e büyütüştür. Bu analizlere ek olarak, bu çalışmada, e-demeti sistemi ile büyütülen a-Si'un üretim esnasında kullanılan potanın SPC poly-Si filmin kristal kalitesi üzerine etkileri de araştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki e-demeti sisteminde kullanılan potanın malzemesinin grafit yerine molibden (Mo) olması gerektiği ve SPC tekniğini ile oluşturulan poly-Si filmlerin kalitesi üzerine önemli etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnce film, polikristal silisyum, katı faz kristalizasyon, üretim parametreleri.

The Effects of Different Fabrication Parameters on the Quality of Polycrystalline Silicon Thin Films Formed by Solid Phase Crystallization (SPC) Technique

ABSTRACT

Polycrystalline silicon (poly-Si) thin films on SiN_x -coated glass substrates are the promising alternative approach to bulk silicon based solar cells thanks to those of the high electronic qualities and optimized junction structures. In this work, the poly-Si films have been fabricated by Solid Phase Crystallization (SPC) technique. The films were crystallized in a classical tube furnace at 600°C for 8–26 hours. The structural and optical properties of poly-Si thin films on SiN_x -coated glass substrates were investigated. The degree of crystallinity of films were studied by micro-Raman Spectroscopy while the orientation and the crystallite size of poly-Si thin films were studied using X-Ray Diffraction (XRD). It is found that crystallization duration has a great effect on the quality of the film. The results of experiments show that the degree of crystallinity increases from 10% to 95% by increasing the annealing duration from 8 hours to 26 hours. The preferential orientation of SPC poly-Si films crystallized at 600°C is $\langle 111 \rangle$ for all annealing times. On the other hand, enhanced annealing duration scales grain size up from 29.6nm to 36.3nm. In addition to these analyses, in this work, the effects of crucible on the crystal quality of SPC poly-Si films are also investigated. The results show that the material of crucible used in e-beam system should be molybdenum (Mo) instead of graphite and has the significant effects on the quality of poly-Si films formed by SPC technique.

Keywords: Thin film, polycrystalline silicon, solid phase crystallization, fabrication parameters.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş hücreleri geleneksel güç kaynaklarına en etkili alternatif enerji kaynağıdır. Çoğu güneş hücresinin yapısı

c-Si, a-Si, CdTe, CIS, CIGS, II–VI veya III–V bileşenleri gibi oldukça geniş aralıktaki yarıiletken malzemelerdir [1]. Tek kristalli silisyum (c-Si) hücreleri yüksek verimliliğe sahiptirler. Fakat, c-Si pul (wafer) üretiminin oldukça yüksek üretim maliyeti vardır. Yüksek saflıktaki

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ozgetuzun@duzce.edu.tr

c-Si tüketimini azaltmak yoluyla, maliyet önemli derecede azaltılabilir. Kristal silisyum güneş hücrelerinde kullanılan pul kalınlıkları genellikle 200-220µm civarındadır. Si pulların ana fonksiyonlarından birisi mekanik destek sağlamalarıdır. Bu pullar külçelerden kesilmektedir. Kesme işlemi sırasında önemli miktarda Si malzemesi kaybolur. Bu da maliyet üzerinde önemli bir baskı oluşturur. Optik soğurma, Si pulun üstteki 30µm'lik kısmında gerçekleşir [1]. Bu nedenle, yüksek verimi riske atmadan silisyum kalınlığını azaltma imkânı mevcuttur. Hücrelerdeki kristal silisyum miktarını azaltmak için birkaç yaklaşım dikkate alınmıştır: (i) daha ince pul kesme ve bunları kırmadan hücre üretme işleminde kullanılması, ya da (ii) kristal yapıya sahip ince film güneş hücreleri üretilmesi yaklaşımlarıdır. Malzeme tüketimini azaltmak için kesme işleminin optimize edilmesi, kesme işlemi sırasında oluşan ve pul kalınlığı azalışına paralellik göstermeyen kayıplar tarafından sınırlanmıştır. Hem düşük maliyetli olması hem yüksek verimli ve kaliteli olması hem de geniş uygulama alanlarında uygulanabilir olması silisyum ince film güneş hücrelerinin tek kristalli güneş hücrelerine umut verici bir alternatif olmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, silisyum ince film malzemeler içerisinde 0,1 ve 100µm tanecik büyüklüğüne sahip polikristal silisyum (poly-Si) ince filmler en avantajlı yapılarıdır [2,3]. Poly-Si ince filmler, amorf silisyum (a-Si) ince filmlere göre 10 ile 100 kat arası daha fazla taşıyıcı mobilitesine sahiptirler [4]. Yabancı alttaş üzerine üretilen poly-Si filmler düşük malzeme maliyeti, yüksek verimlilik ve kristal silisyumun kararlılığı avantajlarını birleştirir [5,6,7]. Bununla birlikte, poly-Si filmlerin, elektriksel engel olan ve yük taşıyıcıları için rekombinasyon merkezleri olan tanecik sınırları (grain boundary) vardır. Bu nedenle, dönüşüm verimliliği tanecik büyüklüğünü artırarak makul değerlere ulaşabilir [8]. Bundan başka, tanecik sınır rekombinasyonlarının etkisini düşürmek için tanecik büyüklükleri film kalınlığından daha büyük olmalıdır [9]. Optimum poly-Si ince film malzemelerin kalınlığı 1-4µm arasında olduğuna göre iyi bir poly-Si filmin ortalama tanecik büyüklüğü $\geq 2\mu\text{m}$ olmalıdır [10,11].

Poly-Si ince film malzemelerin üretimi için farklı kristalizasyon teknikleri kullanılabilir [5,7]: Bölgesel eritme kristalizasyonu (zone melting crystallization - ZMC), lazer indüklemeli kristalizasyon (laser induced crystallization - LIC), katı faz kristalizasyonu (solid phase crystallization - SPC) ve metal indüklemeli kristalizasyon (metal induced crystallization - MIC) bunların başlıcalarıdır.

SPC tekniği bugüne kadar en yaygın kullanılan poly-Si film üretme yöntemidir [5,12]. Burada, a-Si film PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), püskürtme veya buharlaştırma sistemleri kullanılarak yabancı alttaş üzerine doğrudan kaplanır ve elde edilen film ısısal tavlama işlemi ile poly-Si film'e dönüştürülür. Amorf halindeki yapı, sıcaklık sayesinde elde edilen yeterli enerji ile faz değiştirmeye başlar ve daha kararlı

olan kristal yapısına doğru geçer. Yani, kararsız haldeki bağlar kırılıp daha kararlı halde atomların yeniden düzenlenmesi sonucunda kristal yapı oluşturulur. Sabit sıcaklıkta tavlanan amorf faz belirli bir süre sonra içerisinde rastgele çekirdeklenmeler oluşturur. Bu ilk çekirdeklenmenin başlamasına kadar geçen süreye kuluçka süresi denir. Sıcaklık ne kadar düşüğe bu süreç o kadar uzun olur. Zaman ilerledikçe çekirdek çevresindeki başka atomların çekirdeğe doğru difüzyonuyla çekirdek boyutları büyümeye başlar. Sonuç olarak kristal halindeki çekirdekler birbirlerine dokununcaya kadar büyümeye devam ederler ve tanecikleri oluştururlar. Sıcaklık ne kadar yüksek ise başlayacak çekirdeklenme sayısı o kadar fazla olur ve bunun sonucunda ortalama tanecik boyutu azalır [13]. A-Si'un kristallenme işlemi 550-700°C aralığında yapılmakta olup kristallenme süresi sıcaklığa bağlı olarak 24 ile 48 saat arasında değişmektedir [5,14]. Genel olarak kullanılan standart sıcaklık ise 600°C'dir [5]. Sıcaklık yükseldikçe kristallenme süresi azalır. Bunun yanında yüksek sıcaklık rastgele oluşan çekirdek sayılarını arttıracak için tanecik boyutları küçülür ve ortalama tanecik boyutu 1-3µm civarında olur. Sonuç olarak her biri kendi içerisinde kristal olan farklı taneciklerin oluşturduğu poly-Si film elde edilmiş olur. Küçük tanecikli oluşu, tanecik sınır yoğunluğunu arttıracak yani filmdeki kusurları ve rekombinasyon sayısını arttıracak yani üretilen filmin kalitesini düşürecektir. Ancak bu durum iyi optimize edilmiş bir hidrojenasyon işlemi ile çözülebilir. 2000'li yıllarda SPC üzerine oldukça çok sayıda araştırma yapılmış ve üretilmiş güneş hücrelerinde %8-9 civarlarında verim elde edilmiştir [15]. Son yıllarda SPC tekniği kullanılarak cam alttaş üzerine üretilen poly-Si ince film güneş hücresinin verimliliği %10,4 değerine ulaşmıştır [16].

Bu çalışmada, ilk olarak SPC tekniği ile poly-Si ince filmin üretiminde standart kristalizasyon sıcaklığı olan 600°C'de 8-26 saat aralığındaki farklı kristalizasyon tavlama sürelerinde üretilen malzemelerin yapısal analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, SPC yönteminde a-Si'un 600°C'deki optimum kristalizasyon tavlama süresi belirlenmiştir. İkinci olarak, a-Si'un SPC tekniği ile kristalizasyonunda a-Si'un üretimi esnasında kullanılan potanın malzemesinin (grafit veya molibden (Mo)) a-Si'un kristallenmesi üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda a-Si'un üretim koşulları optimize edilerek en iyi kalitede a-Si'un üretimi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, ısıya borosilikat camdan daha dayanıklı ve 850°C'ye kadar dayanabilen yeni tip camlar yani 1,1mm kalınlığında SCHOTT AF32 ECO camlar alttaş olarak kullanılmıştır. Cam alttaş üzerine SPC tekniği kullanılarak poly-Si ince film üretiminde cam ile silisyum film arasına Vaksis Ltd. marka PECVD sisteminde silan (SiH₄) ve amonyak (NH₃) gazları kullanılarak SiN_x ara (bariyer)

tabaka kaplanmıştır. SiN_x kaplı camın üzerine elektron demeti (e-beam) buharlaştırma yöntemi kullanılarak büyüme hızı 10Å/s olarak yaklaşık 1µm kalınlığa sahip a-Si üretilmiştir. İlk olarak, SiN_x üzerine e-demeti yöntemiyle a-Si filmler kaplanarak üretilmiş örnekler tüp fırında (PROTHERM Ltd.) 600°C'de 8 saatten 26 saate kadar değişik sürelerde ısısal işleme tavlama yapılmıştır. Diğer yandan, bu çalışma kapsamında, a-Si'nin büyütülmesi esnasında Mo pota ve grafit pota kullanılması durumunda SPC filmin kristallenmesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Üretilen örneklerin amorf, kristal ve geçiş fazları Horiba 800 JobinYvon marka Raman spektroskopisi ve Rigaku MiniFlex marka X-ışını kırınımı (XRD) deneyleriyle ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Ölçümlerden, kristallenme miktarı, gerilim miktarı, kristalit yönelimi ve kristalit boyutu analizleri yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

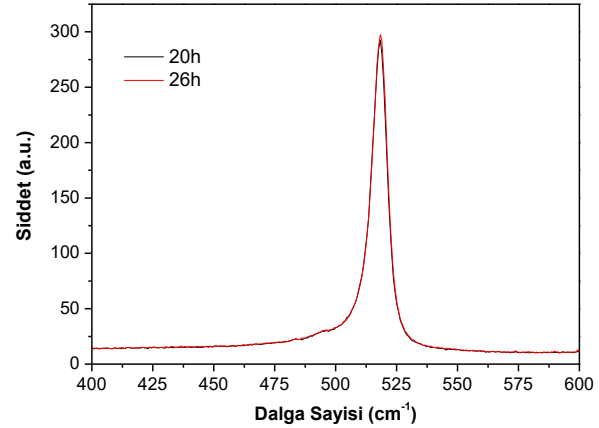
3.1.600°C Tavlama Sıcaklığında Farklı Tavlama Süreleri Kullanılarak SPC Poly-Si Filmin Üretimi (Fabrication of SPC poly-Si films by using various annealing durations at annealing temperature of 600°C)

Çalışmanın bu kısmında, elektron demeti (e-beam) buharlaştırma yöntemi ile SiN_x kaplı camlar üzerinde üretilen a-Si ince filmlerin herhangi bir (metal, lazer, gibi) indükleyici etki olmadan kristallenmesi yöntemi olan Katı Faz Kristalizasyonu (SPC) çalışması incelenmiştir. Daha çok standart kristalizasyon sıcaklığı olan 600°C'deki değişik sürelerde ortaya çıkan yapı ile ilgilenilmiştir. Çünkü sıcaklığı 600°C'nin üzerine çıkarırsak ısı tavlama sırasında çekirdeklenme oranı artacak böylece üretilen poly-Si filmlerin tanecik boyutu küçülecektir. 600°C'nin altındaki sıcaklıklara inerse kristallenme için gereken ısı tavlamanın süresi çok uzun olacaktır (48 saat ≤ t). Genel olarak 600°C sıcaklıkta a-Si kristalizasyonu 24-36 saat aralığında yapılmaktadır [17].

Malzeme amorf fazdan kristal hale geçerken tanecikli kristal yapısı oluşmaktadır, dolayısı ile bu tanecikler ne kadar büyük olursa o kadar az tanecik sınırları olacak, taşıyıcı rekombinasyonları azalacak (çünkü tanecik sınırları rekombinasyon merkezleridir) ve malzeme içerisinde elektron hol gibi taşıyıcıların hareketi, mobilitesi daha kolay olacaktır. Taşıyıcı mobilitesinin fazla olması güneş hücrelerinin verimliliğini arttıracak önemli bir faktördür. Değişik sıcaklıklarda üretilen polikristal silisyum filmlerde tanecik boyutları da değişmektedir. Özellikle 600°C üzerindeki sıcaklıklarda kristalizasyon süresi ciddi derecede azalırken tanecik boyutları da önemli ölçüde küçülmektedir [18]. Çünkü yüksek kristalizasyon sıcaklıklarında, çekirdeklenme oranı artacağı için kısa sürede çok fazla çekirdeklenme olacak, bunun sonucunda da tanecik boyutu azalacaktır. Bu ise güneş hücreleri açısından istenmeyen bir durumdur. Bunun için bu çalışmada SPC kristalizasyonu

için 600°C sıcaklık kullanılacak olup ilk olarak tavlama süresi optimize edilmiştir.

Bu nedenle, SiN_x kaplanmış cam alttaşın üzerine yaklaşık 1µm kalınlığında a-Si büyütülmüştür. SiN_x kaplı camların üzerine büyütülen a-Si'nin kristallenmesi için örnekler tüp fırında, azot gazı akışında, 600°C'de 20 ve 26 saat ısısal işleme maruz bırakıldı. Tavlama sonunda elde edilen silisyum filmler için Raman analizi sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



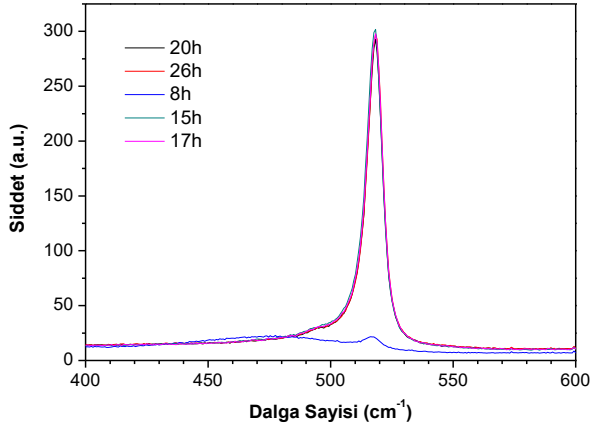
Şekil 1. 600°C'de 20 ve 26 saat tavlanan SPC örnekleri için Raman ölçümü sonuçları. (Results of Raman measurements for SPC samples annealed for 20 and 26h at 600°C)

Şekil 1'de açıkça görüldüğü üzere 600°C'deki 20 ve 26 saatlik ısı tavlama sonucunda oluşan filmlerin Raman grafikleri hem Raman şiddeti hem de Raman pik pozisyonu açısından tamamen aynı sonuçları vermiştir. Bu sonuçlar gösteriyor ki 600°C'deki kristallenme tavlama süresi kısaltılsa da örnekler oldukça iyi kristallenmişlerdir. Çünkü Raman piki dar ve simetrik şekillidir. Aynı zamanda pik pozisyonu sc-Si'ninkine oldukça yakındır.

Şekil 1'deki Raman analizi sonucu göz önüne alındığında 600°C'de 20 saatte oldukça yüksek kristallenme elde edilmiştir. Burada amaç poly-Si filmin kalitesini düşürmeden kristalizasyon süresini kısaltmaktır. 600°C'de 20 saatlik tavlama sonucunda elde edilen yüksek kristallenme dolayısıyla sürenin biraz daha kısaltılması durumunda yine yüksek kristallenme elde edilip edilmeyeceğinin araştırılması amacıyla 600°C'deki tavlama süresi 17, 15 ve 8 saat olarak a-Si'nin kristallenmesi deneyleri yapılmıştır. Burada 8 saat gibi oldukça kısa tavlamanın denenmesinin amacı Raman ölçümlerine göre hangi sürelerde kristalizasyonun başladığını anlayabilmektir. 600°C'de bu tavlama süreleri kullanılarak üretilen SPC filmlerin Raman analizleri Şekil 2'de verilmektedir.

Şekil 2'de verilen Raman analiz sonuçlarında görüldüğü üzere 600°C'de 8 saat tavlama maruz kalan filmin Raman analizi sonucu dışında diğer tüm filmlerin Raman analizi sonuçları gerek pik pozisyonu gerekse pik genişliği dikkate alındığında tamamen aynı çıkmıştır. Sadece 8 saat tavlanan örneğin Raman analizi sonucunda 480cm⁻¹'de geniş bir pik pozisyonu verdiği ve bununla

birlikte 520cm⁻¹ civarında oldukça küçük de olsa bir pik verdiği gözlenmiştir. Bu sonuç onun az da olsa kristallenmeye başladığını göstermektedir. Bu örnekler için elde edilen Raman ölçümü sonuçları detaylı olarak tavlanan örnek haricinde diğer tüm Raman ölçümleri hem pik pozisyonu hem pik yüksekliği hem de pik genişliği bakımından aynı sonuçları vermiştir. Dolayısı ile Raman analizi sonuçlarına göre 8 saat tavlama dışındaki tüm örneklerin FWHM değerleri ve gerilim değerleri aynı olacaktır. Buna göre, 15-26 saat arası tavllanmış örneklerin Raman pikleri dikkate alındığında bu örnekler için FWHM değeri 7.530 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. 600°C’de 8, 15, 17, 20 ve 26 saat tavlanan SPC örnekleri için Raman analizi sonuçları. (Results of Raman measurements for SPC samples annealed for 8, 15, 17, 20 and 26h at 600°C)

SPC poly-Si filmler için elde edilen bu FWHM değeri c-Si ile karşılaştırdığımızda, SPC poly-Si filmlerin çok daha yüksek FWHM değerlerine sahip oldukları gözlenmektedir. Bu durum, SPC poly-Si filmlerin tamamen kristallenmediğini göstermektedir. Yani bir miktar a-Si’un SPC poly-Si filmlerde bulunduğunu işaret etmektedir. Ancak FWHM değeri kendi başına bu analizi detaylandıramaz. Daha ayrıntılı bir kristalizasyon analizi için Peak Fit programı kullanılarak kristallenme oranı hesaplanabilir. Bunun için Raman piki üç bölgeye ayrılıyor: amorf piki (480cm⁻¹ civarında), geçiş piki (510cm⁻¹ civarında) ve kristal piki (520cm⁻¹ civarında). Bu piklerin şiddetleri kullanılarak XRC kristallenme oranı şu şekilde hesaplanabilir [19]:

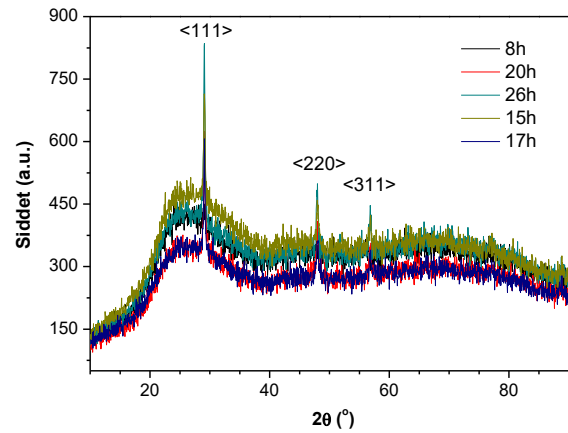
$$X_{RC} = \frac{I_2+I_3}{I_1+I_2+I_3} \times \%100 \quad (1)$$

Burada I₁, I₂ ve I₃ değerleri sırasıyla amorf, geçiş ve kristal piklerinin Raman piki şiddetlerini ifade etmektedir.

Eş. (1) kullanılarak yapılan hesaba göre 600°C’de 15-26 saat arası tavlanaarak kristalizasyonu sağlanan SPC poly-Si filmlerin %95 oranında kristallendiği bulunmuştur. Diğer yandan 8 saat tavlanan filmin sadece %10 oranında kristallendiği, halen daha çok büyük bir kısmının (%90) a-Si olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmada, SPC tekniği kullanılarak poly-Si film üretiminde literatürdeki çalışmaya [20] göre daha düşük bir sıcaklık olan 600°C’de 15-26 saat arası tavlanan örnekler için %95

kristallenme miktarı elde edilmiştir. Bu sonuç, SPC ile üretilen poly-Si filmler için oldukça yüksek bir kristallenme miktarıdır.

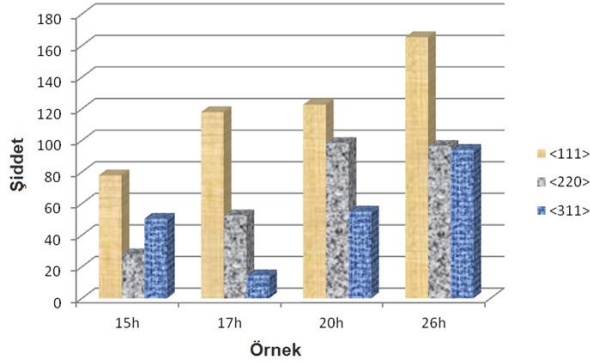
Polikristal silisyum malzemeler için kristallenme miktarının yanında diğer bir önemli parametre de kristal yönelimleridir. Polisilisyum farklı büyüklüklerde tanecikler içerir ve her bir tanecik farklı yönelime sahiptir. Bu nedenle poly-Si yapıda tek bir yönelim değil, pek çok yönelimden bahsedilir. Ancak kristalin yapısına göre tercih edilen yönelim miktarı ve herbir yönelimin birbirine göre oranı değişmektedir. SPC tekniği ile 600°C’de 8-26 saat ısı tavlama sonucunda üretilen filmlerin kristal yönelimleri ile ilgili çalışmalar X-Işını Kırınımı (XRD) ölçümleri ile yapılmıştır. SiN_x kaplı cam alttaşın üzerine büyütülen a-Si film 600°C’deki farklı sıcaklıklarda tavlanamıştır ve elde edilen poly-Si filmlerin XRD ölçümleri Şekil 3’de verilmiştir.



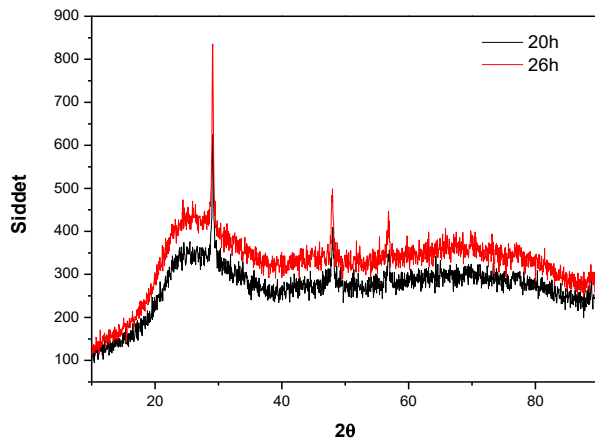
Şekil 3. 600°C’de 8-26 saat arasındaki sürelerde tavlanan filmlerin zamanın fonksiyonu olarak XRD analizi sonuçları. (The results of XRD analysis as a function of annealing time for films annealed at 600°C for 8-26h)

Şekil 3’de görüldüğü üzere tüm filmler (8 saat tavlama hariç) belirli 2θ değerlerinde keskin pikler vermiştir. Bu durum bu şartlar altında büyütülen tüm filmlerin polikristal yapıda olduğunu göstermektedir. 2θ piklerinin hangi yönelimlere ait olduğu şekil üzerinde gösterilmiştir. 8 saat tavlama sonucunda herhangi bir XRD piki görülmemiştir. Bu durum 8 saat tavlama ile a-Si’un kristallenmesinin ihmal edilecek kadar az olduğunu Raman analizinin yanında XRD analizi ile doğrulanmaktadır. Şekil 3’de ifade edildiği gibi 600°C’deki tavlama süresine bağlı olmaksızın tüm SPC örnekler için çoğunluk kristal yönelimi <111>’dir. Bu durum SPC tekniği ile üretilen numuneler için tercih edilen kristal yönelimidir. Yani elde ettiğimiz bu sonuçlar literatür ile uyumludur [2,21]. <111> çoğunluk yönelimine ek olarak tavlama süresinden bağımsız olarak tüm filmler için <220> ve <311> yönelimleri de filmlerde bulunmaktadır. Bununla birlikte, 15-26 saat arası tavlanan tüm örneklerin pik alan dağılımı grafik olarak Şekil 4’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi tüm tavlama süreleri için çoğunluk kristalit yönelimi <111> olarak bulunmuştur.

XRD ölçümlerine daha detaylı bakılırsa Raman analizi sonuçları aynı olan numuneler farklı XRD profillerine sahip olabilirler. Bunun üzerinde daha ayrıntılı çalışmak için 600°C'de 20 ve 26 saat tavlanan örneklerin XRD analizleri çalışılmıştır. Şekil 5'de bu örneklerin XRD analiz sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4. SPC örneklerinin kristal yönelim dağılımları. (Crystal orientation distributions of SPC samples)



Şekil 5. 600°C'de 20 ve 26 saat tavlanan filmlerin XRD analizi sonuçları. (The results of XRD analysis for films annealed at 600°C for 20 and 26h)

Şekil 2 dikkate alındığında 600°C'de 20 ve 26 saat tavlanan SPC örneklerinin Raman ölçümleri tamamen aynı sonucu vermekteyken bu iki örneğin XRD ölçümleri incelendiğinde 26 saatlik örneğin XRD sinyallerinin şiddetlerinin 20 saatlik örneğe kıyasla daha fazla olduğu gözükmemektedir. Bu sonuç, 26 saat tavlanan filmin kristallenmesinin 20 saat tavlanan filmin kristallenmesinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Bu sonuç dikkate alındığında, örneklerin XRD pikleri arasındaki şiddet ve genişlik farklılığı örneklerde farklı özelliklere neden olacaktır. Bu nedenle, Şekil 3'de XRD pikleri verilen 15-26 saat arasında tavlanan (8 saat tavlama XRD piki gözlenmiyor) örneklerin yapılarının daha iyi anlaşılabilmesi için XRD pikleri daha ayrıntılı analiz edilmiştir. 15-26 saat arası tavlanan SPC örneklerinin Raman ölçümleri sonucunda aynı şiddette sinyaller elde edilmesine rağmen aynı örneklerin Şekil 3'de görüldüğü üzere XRD sinyallerinin şiddetinde ve

FWHM genişliğinde farklılıklar vardır. Bu durum, SPC örneklerinin farklı kristalit büyüklüğüne sahip olmalarını ifade etmektedir. XRD analizi sonuçları ve Scherrer eşitliği kullanılarak poly-Si filmler için kristalit boyutlarını belirlemek mümkündür [22];

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

Burada, D kristalit büyüklüğü, λ dalga boyunu (1.54059Å), β piklerin FWHM değerini, θ ise kırınım açısını temsil etmektedir. Eş. (2) kullanılarak her bir XRD pikinin FWHM değerlerinden kristalit büyüklükleri hesaplanmış olup SPC poly-Si filmlerin tavlama sürelerine bağlı olarak hesaplanan bu değerler Tablo 1'de verilmiştir. En güçlü XRD sinyali <111> yöneliminden geldiği için kristalit büyüklükleri bu pike göre hesaplanmıştır.

Çizelge 1. 600°C'de farklı tavlama süreleri kullanılarak üretilen SPC poly-Si örneklerinin kristalit büyüklükleri. (Crystallite sizes of SPC poly-Si samples annealed at 600°C for various annealing durations)

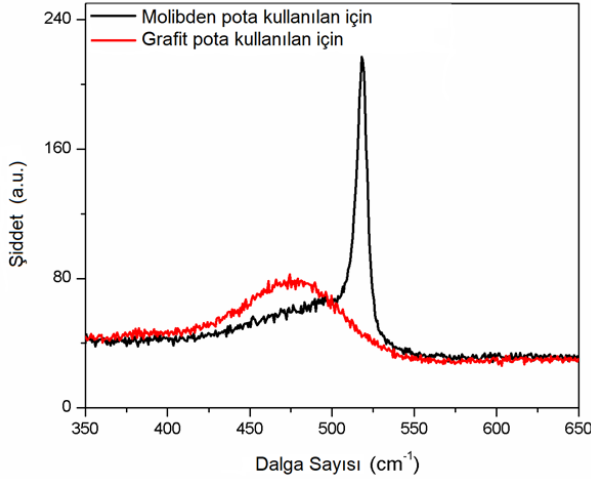
Tavlama süresi (saat)	Kristalit büyüklüğü (nm)
15	29,6
17	33,1
20	33,8
26	36,3

Çizelge 1'de verildiği gibi SPC tekniği kullanılarak üretilen poly-Si filmler 29,6-36,3nm arası kristalit büyüklüğüne sahiptirler. Burada 26 saat tavlamanın sonucunda elde edilen poly-Si filmin kristalit büyüklüğü 36,3nm büyüklüğüne çıkmıştır. Bunun sebebi artan tavlama süresi ile silisyum film içerisinde silisyum atomlarının yeniden düzenlenmesi (reorder) ve buna bağlı olarak kristalit büyüklüğünde artış sağlanması olabilir. Ayrıca, Tablo 1'den elde edilecek diğer bir önemli sonuç ise SPC tekniği kullanılarak 600°C'de elde edilen poly-Si ince film malzemelerin kristalit büyüklükleri, diğer bir ifade ile film kalitesi artan tavlama süresi ile artmaktadır. Kristalit büyüklüğünün artması, kristalitleri ayıran sınırların rekombinasyon merkezleri olması dolayısıyla rekombinasyon miktarını azaltacaktır. Böylece üretilen poly-Si film güneş hücrelerinden elde edilecek akım miktarı artacaktır.

3.2. E-demeti Sisteminde Kullanılan Potanın a-Si'un Kristalizasyonu Üzerine Etkisi (The effect of crucible used in e-beam system on the crystallization of a-Si)

A-Si'un SPC tekniği ile kristalizasyonunda katkılı a-Si'un üretim koşullarının a-Si'un kristallenmesi üzerine etkileri bu kısımda incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda katkılı a-Si'un üretim koşulları optimize edilerek en iyi kalitede a-Si'un üretimi amaçlanmaktadır. Çalışmanın bu kısmında, e-demeti sisteminde a-Si büyütmeye kullanılan potanın a-Si'un kristalizasyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Mo ve grafit pota kullanılmış ve farklı potaların kristal silisyum film üzerine etkileri araştırılmıştır. Mo ve grafit pota kullanılarak

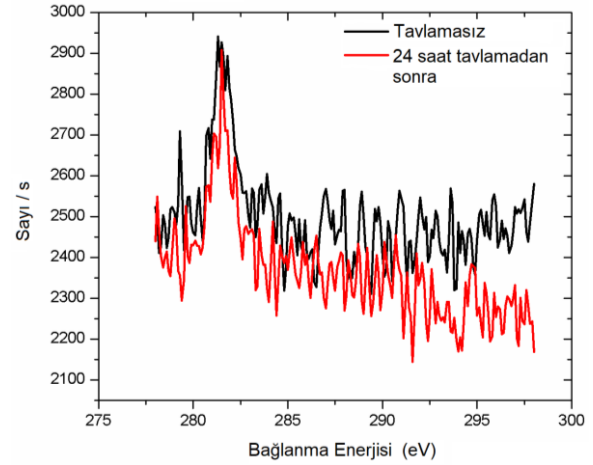
üretilen a-Si filmler kristallenme amacıyla 600°C'de 26 saat boyunca tüp fırında tavlammıştır. Şekil 5 ve Tablo 1'deki sonuçlar ele alındığında a-Si filmin kristallenmesinin en yüksek olduğu ve en iyi film kalitesini veren 600°C'de 26 saat ısıtılma olduğu için e-demeti sisteminde kullanılan potanın a-Si'un kristalizasyonu üzerine etkisi 600°C'de 26 saat tavlama örnekler için incelenmiştir. Tavlama işlemi sonucundaki üretilen filmlerin e-demeti sisteminde kullanılan potanın malzemesine bağlı olarak elde Raman ölçümü sonuçları Şekil 6'da verilmektedir.



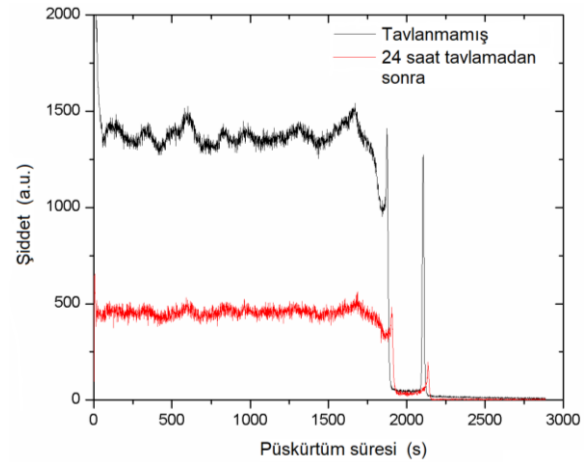
Şekil 6. Karbon (grafit) ve molibden (Mo) potanın kullanılması ile elde edilen filmlerin 600°C'de 26 saat ısıtılma sonrasında Raman ölçümü sonuçları. (The Raman measurement results after annealing at 600°C for 24h for films formed by using carbon (graphite) and molibdenium (Mo) crucible)

Şekil 6'da verilen Raman analizi sonuçları dikkate alındığında e-demeti sistemi ile a-Si üretimi esnasında kullanılan potanın, SPC tekniği ile a-Si'un kristallenmesi üzerine büyük etkileri olduğu gözlenmiştir. Şekilden görüldüğü gibi molibden potanın kullanılması durumunda silisyum ince filmin, c-Si'un Raman pikine çok yakın vererek hemen tamamen kristallendiği gözlenmiştir. Diğer yandan, grafit pota kullanılarak üretilen ince filmin pota dışındaki tüm SPC kristalizasyon parametreleri aynı olmasına rağmen herhangi bir kristalizasyon olmadığı (480cm⁻¹'de geniş bir Raman piki olmasından anlaşılmıştır) gözlenmiştir. Bu durumun, ısıtılma esnasında grafitten, pota içerisinde buharlaştırılacak silisyuma karbon kirliliği bulaşması dolayısıyla kaplanan a-Si'un saf silisyum olmaması kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Bu varsayımı daha ayrıntılı olarak incelemek amacıyla e-demeti sisteminde üretilen a-Si filme herhangi bir ısıtılma uygulanmaksızın Uçuş Zamanlı-İkincil İyon Kütleli Spektroskopisi (ToF-SIMS) ve X-ray Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) tekniğiyle elemental analizine bakılmıştır. Grafit pota kullanılarak üretilen filmlerin ToF-SIMS ve XPS analizlerinin sonuçları Şekil 7'de verilmektedir. Bu analizlerde incelenen filmler, a-Si'a herhangi bir ısıtılma uygulamadan (tavlamasız) ve

üretilen a-Si'a 600°C'de 26 saat ısıtılma uygulanarak üretilmişlerdir. Böylece, kristallenme ısıtılma işlemi sırasında potadan gelebilecek kirliliklerin daha detaylı analizleri yapılmış olacaktır.



(a)



(b)

Şekil 7. E-demeti sisteminde grafit pota kullanılarak üretilen a-Si için (a) XPS ve (b) ToF-SIMS teknikleri kullanılarak elde edilen karbon (C) profilleri. (Carbon (C) profiles deduced from (a) XPS and (b) ToF-SIMS techniques for a-Si films fabricated by using graphite crucible in e-beam system)

Şekil 7'de verilen XPS ve ToF-SIMS sonuçları incelendiğinde hem kristallenme tavlama işlemi uygulanmadan hem de 600°C'de 26 saat SPC kristallenme tavlama uygulanarak elde edilen Si ince filmlerin içerisinde yüksek miktarda C kirliliği bulunduğu görülmektedir. E-demeti sisteminde yapılan kaplama sonrasında herhangi bir dış ortam (ex-situ) ısıtılma uygulanmadan elde edilen karbon analizi sonuçları, grafit potadan ciddi miktarda karbon miktarının potada bulunan silisyuma geçtiği ve buharlaştırma esnasında da bu karbon kirliliği bulunan silisyumun cam alttaşa kaplandığı görülmektedir.

Hem grafit ve molibden pota kullanılarak kaplanan a-Si'un ısıtılma uygulanması sonucunda elde edilen Raman analizi sonuçları hem de karbon atomunun XPS ve ToF-SIMS sonuçları dikkate alındığında a-Si'un e-

demeti ile kaplanması sırasında molibden pota kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Poly-Si ince film üretmek için pek çok teknik bulunmakla birlikte bu teknikler içerisinde hem yüksek kaliteli poly-Si film üretmesi hem de kolay olması bakımından katı faz kristalizasyon (SPC) oldukça yaygın kullanılan bir tekniktir. Bu çalışmada, poly-Si ince filmler SPC tekniği kullanılarak 600°C'de 8-26 saat arası tavlama süresi 8 saatten 26 saate artırılarak kristallenme derecesi %10'dan %95'e artmıştır. SPC tekniği kullanılarak çoğunluk tanecik yönelimi <111> olan ve ortalama kristalit büyüklüğü 29,6-36,3nm olan poly-Si filmler üretilmiştir. Diğer yandan, elde edilen sonuçlar doğrultusunda e-demeti sisteminde a-Si büyütmede kullanılan potanın a-Si'un kristalizasyonu üzerine oldukça önemli etkileri olduğu ilk kez bu çalışma ile bulunmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda, a-Si'un e-demeti sisteminde grafit pota kullanılmasıyla filmin kristallenmesi için uygulanan ısı tavlama esnasında grafit potadan film içine difuz eden önemli miktarda karbon kirliliği yarattığı görülmüştür. Bu nedenle grafit pota yerine molibden pota kullanılmasıyla ısı işlem uygulanmış kristal filmin kalitesi için çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından (Proje no: 112T084) ve Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: BAP 2017.05.02.623).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Muller J.-C., Siffert P., *Silicon for Photovoltaics, Silicon-Evolution and Future of a Technology*, Editörler: Siffert P., Krimmel E., Springer, New York, NY 10013 USA, 2004.
- [2] Tüzün Ö., *Polycrystalline Silicon Films by Aluminium Induced Crystallization and Epitaxy: Synthesis, Characterizations and Solar Cells*, Doktora Tezi, Université de Strasbourg, Strasbourg, France, 2009.
- [3] Basore P.A., Defining terms for crystalline silicon solar cells, *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, 2, 177-179, 1994.
- [4] Lee S.W., Jeon Y.C., Joo S.K., Pd induced lateral crystallization of amorphous Si thin films, *Appl. Phys. Lett.*, 66: 1671-1673, 1995.
- [5] Beaucarne G., Slaoui A., *Thin Film Polycrystalline Silicon Solar Cells, Thin Film Solar Cells*, Editörler: Poortmans J., Arkhipov V., John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2006.
- [6] Bergmann R.B., Werner J.H., The future of crystalline silicon films on foreign substrates, *Thin Solid Films*, 403-404: 162-169, 2002.
- [7] Brendel R., *Thin-Film Crystalline Silicon Solar Cells: Physics and Technology*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG, 2003.
- [8] Imaizumi T.I.M., Yamaguchi M., Kaneko K., Effect of grain size and dislocation density on the performance of thin film polycrystalline silicon solar cells, *J. Appl. Phys.*, 81: 7635-7640, 1997.
- [9] Bergmann R.B., Brendel R., Wolf M., Löfgen P., Krinke J., Strunk H.P., Werner J.H., Growth of polycrystalline silicon films on glass by high-temperature chemical vapour deposition, *Semicond. Sci. Technol.*, 12: 224-227, 1997.
- [10] Ishihara T., Arimoto S., Morikawa H., Kumabe H., Murotani T., High efficiency thin film silicon solar cells prepared by zone-melting recrystallization, *Appl. Phys. Lett.*, 63: 3604-3606, 1993.
- [11] Ishii K., Nishikawa H., Takahashi T., Hayashi Y., Sub-5 µm Thin Film Crystalline Silicon Solar Cell on Alumina Ceramic Substrate, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 32: L770-L773, 1993.
- [12] Song D., Straub A., Widenborg P., Vogl B., Campbell P., Huang Y., Aberle A.G., Polycrystalline Silicon Thin-Film Solar Cells on Glass by Solid Phase Crystallization of In-Situ Doped Evaporated a-Si, *19th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Paris France, 7-11 June 2004.
- [13] Yu Z., Geng X., Sun Y., Liu S., Li H., Lu J., Sun J., Sun Z., Xu W., Super large grain size of poly-Si obtained by using the solid-phase crystallization method, *Phys. Status Solidi A*, 144: 393-399, 1994.
- [14] Baba T., Matsuyama T., Sawada T., Takahama T., Wakisaka K., Tsuda S., Microcrystalline and Nanocrystalline Semiconductors, *MRS Fall Meeting*, Boston, MA, USA, 28 November-2 December 1994.
- [15] Matsuyama T., Terada N., Baba T., Sawada T., Tsuge S., Wakisaka K., Tsuda S., High-quality polycrystalline silicon thin film prepared by a solid phase crystallization method, *J. Non-Cryst. Solids*, 198-200: 940-944, 1996.
- [16] Keevers M.J., Young T.L., Schubert U., Green M.A., 10% efficient CSG minimodules, *22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Milan, Italy, 3-7 September 2007.
- [17] Kunz O., Ouyang Z., Wong J., Aberle A.G., Advances in evaporated solid-phase-crystallized poly-Si thin-film solar cells on glass (EVA), *Adv. OptoElectron.*, 2008: 532351/1-10, 2008.
- [18] Tao Y., Varlamov S., Kunz O., Ouyang Z., Wong J., Soderstrom T., Wolf M., Egan R., Effects of annealing temperature on crystallisation kinetics, film properties and cell performance of silicon thin-film solar cells on glass, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 101: 186-192, 2012.
- [19] Li Z., Li W., Jiang Y., Cai H., Gong Y., He J., Raman characterization of the structural evolution in amorphous and partially nanocrystalline hydrogenated silicon thin films prepared by PECVD, *J. Raman Spectrosc.*, 42: 415-421, 2011.
- [20] Nguyen T.N., Jung S., Advanced solid-phase crystallization of amorphous silicon on a glass substrate, *J. Korean Phys. Soc.*, 54: 2367-2372, 2009.
- [21] Terry M.L., Straub A., Inns D., Song D., Aberle A.G., Large open-circuit voltage improvement by rapid thermal annealing of evaporated solid-phase-crystallized thin-film silicon solar cells on glass, *Appl. Phys. Lett.*, 86: 172108, 2005.
- [22] Klug H.P., Alexander L.E., *X-Ray Diffraction Procedures: For Polycrystalline and Amorphous Materials*, 2nd ed. John Wiley & Sons Inc., USA, 1974.



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Yağ soğutmalı kondenser tasarımının termostat kontrollü bir soğutucuya uyarlanması ve performans deneylerinin incelenmesi

Adaptation of oil cooled condenser design to a thermostat controlled cooler and performance analysis

Yazar (Author): Bahadır ACAR

ORCID: 0000-0002-9494-6301

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Acar B., “Yağ soğutmalı kondenser tasarımının termostat kontrollü bir soğutucuya uyarlanması ve performans deneylerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 477-484, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.444379

Yağ Soğutmalı Kondenser Tasarımının Termostat Kontrollü Bir Soğutucuya Uyarlanması ve Performans Deneylerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Bahadır ACAR*

Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE
(Geliş/Received : 20.03.2018 ; Kabul/Accepted : 20.06.2018)

ÖZ

Soğutma ve soğutma sistemlerine olan talebin hızla arttığı günümüzde soğutma sistemlerinden birçok alanda yararlanılmaktadır. Bununla birlikte günümüzde artan enerji ihtiyacına bağlı olarak soğutma sistemlerinden verimli bir şekilde yararlanmak ve enerji tasarrufu sağlamak oldukça önem kazanmıştır. Ev tipi soğutucularda sistemin verimini artırmanın en önemli yöntemlerinden biri de kondenser kapasitesinin artırılmasıdır. Bu çalışmada ilk olarak doğal taşınımlı telli-boru tip kondenserin performans analizi yapılmıştır. Daha sonra kondenser bir tankın içine yerleştirilerek tank içerisine sırasıyla 2.5, 5, 7.5 ve 10 L miktarlarında bitkisel yağ eritilip doldurulmuş ve sistemin performans analizi yapılmıştır. Çalışmada ev tipi soğutucu 2 saat boyunca kesikli olarak çalıştırılmıştır. Basınç ve sıcaklık ölçümleri 5'er dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Yağ soğutmalı kondenserde yağ miktarı arttıkça kondenser performansının arttığı ve enerji tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. Hava soğutmalı kondenser kullanarak yüksüz çalıştırıldığında COP değeri 2.23 ve enerji tüketimi 90 Wh iken, 10 L bitkisel yağ yüklü yağ soğutmalı kondenserin COP değeri 2.81'e çıkmış ve enerji tüketimi ise 35 Wh'e inmiştir. Hava soğutmalı kondenser kullanarak yüklü çalıştırıldığında COP değeri 2.14 ve enerji tüketimi 95 Wh iken, yağ soğutmalı kondenserin COP değeri 2.84'e çıkmış ve enerji tüketimi ise 40 Wh'e inmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava soğutmalı kondenser, yağ soğutmalı kondenser, COP, enerji tüketimi.

Adaptation of Oil Cooled Condenser Design to A Thermostat Controlled Cooler and Performance Analysis

ABSTRACT

Today, the need for cooling and cooling technologies are growing fast and they are used in many areas. On the other hand, saving energy and using the cooling systems more efficiently are major concerns in today's growing energy needs. Increasing the condenser capacity is one of the way of improving household refrigerator efficiency. In this study, first the performance test of a natural circulation wire-tube condenser was tested. Then the condenser was placed into a tank and 2.5, 5, 7.5 and 10 liters of melted vegetable oil was filled into the tank. Performance tests of the system were performed at both loaded and unloaded conditions as intermittent operation. A domestic refrigerator was run for 2 hours as intermittent operation for each scenario. All measurements (pressure and temperature) were taken at 5 minutes intervals. Experimental results showed that as the amount of oil in the oil-cooled condenser increases, the condenser capacity and cooling capacity also increase, and also the energy consumption of the system decreases. The energy consumption in unloaded operation of air-cooled condenser for 1 hour was measured as 90 Wh, and it decreased to 35 Wh for oil-cooled condenser filled with 10 liters of oil. The COP of the system in unloaded operation of air-cooled condenser was calculated as 2.23 and the energy consumption was about 90Wh. However, The COP of the system in loaded operation of oil-cooled condenser was increased to 2.81 and the energy consumption was decreased to 35Wh. On the other hand, the COP of the system in loaded operation of air-cooled condenser was measured as 2.14 and the energy consumption of it was about 95Wh. But, the COP of the oil-cooled condenser in loaded operation raised to 2.84 and the energy consumption reduced to 40Wh.

Keywords: Air cooled condenser, oil cooled condenser, COP, energy consumption.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda soğutma teknolojisinin hızlı bir şekilde geliştiği ve birçok alanda soğutma teknolojisine duyulan ihtiyacın arttığı günümüzde soğutma sistemlerinden verimli bir şekilde yararlanmak ve enerji tasarrufu sağlamak büyük ölçüde önem kazanmaktadır. Esas olarak bir soğutma sistemi düşük sıcaklıktaki bir

ortamdan yüksek sıcaklıktakine ısı geçişi sağlamaktadır. Soğutma teknolojisinde birçok sistem çeşitli amaçlar için çok farklı boyutlarda ve işletme şartları göz önüne alınarak tasarlanırlar. Bu tasarım sonunda sistemin verimli çalışmasının yanında minimum enerji tüketmesi de göz önüne alınmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının giderek arttığı ve birçok alanda ihtiyaç duyulan enerjinin tasarruflu ve etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Aynı zamanda enerji kaynaklarını dikkatli kullanmayı gerekli kılmaktadır. Bu

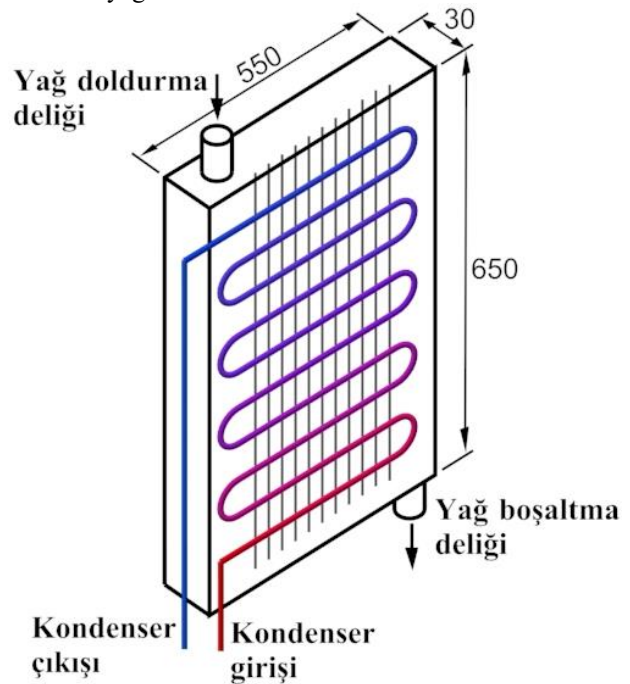
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : bacar@karabuk.edu.tr

sebeple üretilen soğutma cihazlarında sistemin performansını artırıp enerji tüketiminin azaltılması ve bu sistemlerden atılan enerjinin başka bir sistem tarafından enerji kaynağı olarak kullanılması önemli tasarruf yöntemlerinden bir tanesidir. Literatürde; soğutma, iklimlendirme sistemleri ve ısı pompalarından atılan ısının başka bir sistemin giriş enerjisi olarak kullanılabilirdiği birçok çalışma mevcuttur. Kadayıfçı yapmış olduğu çalışmada, doğal taşınımlı bir soğutucunun kondenserini farklı boylarda baca ile çalıştırmasını ve enerji tüketimi incelemiştir. Sistem yük altında çalışırken bacalı doğal taşınımlı doğal taşınımdan % 5, yüksüz çalışırken % 10 daha az enerji tükettiğini bildirmiştir [1]. Clark vd. ev tipi bir buzdolabında hava ve su soğutmalı kondenser kullanarak yaptıkları deneysel çalışma sonucunda buzdolabı performansını bozmaksızın su sıcaklığında 35 °C yükselme ve % 18-20 ısı geri kazanımı sağlamışlardır [2]. Wen-Long bir soğutma sisteminin kondenser borularını faz değiştiren bir malzeme içerisine yerleştirerek yaptığı çalışmada soğutma tesir katsayısı % 19 artarken soğutucunun tükettiği enerji % 12 azaldığını belirtmiştir [3]. Akdoğan A. yaptığı çalışmada özel olarak tasarlanıp imal edilen, üç farklı kapasitede su soğutmalı kondenseri bulunan buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevrimi için enerji ve ekserji analizlerini yapmış, kondenser kapasitesi azaldıkça tersinmezliklere bağlı olarak sistemde ekserji kaybının arttığını ve enerji analizlerinde en fazla kaybın kondenserde olduğunu tespit etmiştir [4]. Stinson vd. bir buzdolabının kondenserinden ısı geri kazanımı sağlamak için su soğutmalı kondenser kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada; sistem COP değerinin % 10-18 arttığını, kondenser basıncı yükseldiğinde COP değerinin azaldığını ve su soğutmalı kondenser kullanıldığında ısı kayıplarının da düştüğünü belirtmişlerdir [5]. Alex vd. bir buhar sıkıştırımlı soğutucu için analitik bir model sunmuşlardır. Çalışmalarında su ısıtmak için deneyler yapmışlar ve bir ısı geri kazanım ünitesi geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda çiller kapasitesinin % 30, COP değerinin de %20 arttığını tespit etmişlerdir [6]. Goto vd. yaptıkları çalışmada duyulur ısı geri kazanım ünitesi geliştirmişler, bu üniteyi su ısıtmak için kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda genel enerji verimliliği % 34 artmasına rağmen, COP değeri kompresörün yaptığı işin artmasından dolayı % 15 azalmıştır. [7]. Sapalı vd. bir süt soğutma tesisinin kondenserinden ısı geri kazanımı üzerine yaptıkları çalışmada; aşırı kızdırmanın tamamının gizli ısının ise % 35'nin geri kazanıldığı tespit edilmiş ve önemli iyileştirmelerin yanı sıra COP değerinin 3 ten 4.8'e yükseldiğini belirtilmişlerdir. [8]. Patil yaptığı çalışmada soğutma performansını artırmak için iki farklı tip kondenser ile değişik çalışmalar yapmıştır. Mikro telli kondenser kullanıldığında U tip kondensere göre soğutma kapasitesinin % 10, COP'nin ise % 17 arttığını belirtmiştir [9]. Tissot vd. tarafından yapılan çalışmada bir buzdolabının kondenserine su spreyi uygulaması yapılarak enerji performansının iyileştirilmesi amaçlanmışlardır. Çalışma sonunda sprey uygulanan kondenserde soğutucunun COP değeri % 2.89

yükselmiştir [10]. Hajidavilioo vd. tarafından yapılan bir çalışmada bir iklimlendirme cihazında kondenser kapasitesini artırmak için hava soğutmalı kondenser yerine evaporatif kondenser kullanılmıştır. Çalışma sonucunda enerji tüketiminde % 20 ye kadar azalma, COP'de ise % 50 civarında bir iyileşme gerçekleşmiştir [11]. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen çalışmalardan esinlenerek ev tipi bir soğutucunun kondenseri metal bir hazne içine konularak, bitkisel yağ ile doldurulmuş ve sistem performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada; içerisine kondenser yerleştirilmiş yağ haznesine değişik miktarlarda bitkisel yağ eritilerek doldurulmuş ve sistem performansı incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Deneysel çalışmada AEG 1200 marka ev tipi bir soğutucu kullanılmıştır. Soğutucunun özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Başlangıçta doğal taşınımlı hava soğutmalı kondensere sahip bu soğutucunun kondenseri, 1.2 mm kalınlığında siyah sac malzeme kullanılarak 30x550x650 mm ebatlarında imal edilen bir hazne içine konularak yağ soğutmalı kondensere dönüştürülmüştür. Şekil 1'de görülen yağ haznesi 10 L yağ alma kapasitesinde sahip olup 8 mm çapında yağ boşaltma ve doldurma delikleri bulunmaktadır. Bitkisel yağ bu hazneye farklı miktarlarda eritilerek konulmuştur. Burada kondensere atılan ısı hazne içinde bulunan bitkisel yağ aktarılmaktadır.



Şekil 1. Yağ soğutmalı kondenser ve kondenserin yağ haznesi içindeki konumu (Oil cooled condenser and the position of condenser in oil)

Ev tipi soğutucunun özellikleri Çizelge 1'de verilmiş olup deneysel çalışmalarda bu özellikler dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. Ev tipi soğutucunun özellikleri (The properties of home type cooler)

KOMPRESÖR	KONDENSER	EVAPORAÖR
HUAYI C.O.	AEG C.O.	AEG C.O.
190/220 V	$Q_{kond} : 620 \text{ W}$	Ebatlar:
AC 50 Hz	Ebatlar:	0,22 x 0,5 m
$W_{komp} : 123 \text{ W}$	0,55 x 0,87 m	$Q_{evap} : 497 \text{ W}$
Piston sayısı: 1	Borular için	Tipi: Kabartma
	Dış çap: 0,0048 m	
	İç çapı: 0,0038 m	
	Boy: 10,8 m	

Soğutma sisteminin alçak basınç ve yüksek basınç tarafına manometreler yerleştirildikten sonra sıcaklık değerlerini okumak için 0.25mm çapındaki K tipi termokupl yerleştirilmiştir[12]. Gerekli bağlantılar ve kontroller yapıldıktan sonra sistem bir gün boyunca yüksüz çalıştırılarak test edilmiştir. Deney setinin enerji tüketimini ölçmek üzere Çizelge 2' de özellikleri verilen elektrik sayacı kullanılmıştır[13].

Çizelge 2. Elektrik sayacının özellikleri. (The properties of electrical counter)

ELEKTRİK SAYACI
MAKEL MONOFAZE
Tip : M310.2218 LCD ekran
1 Fazlı 2 Telli 3000 imp/kWh
0.5 sınıfını da kapsayan hassas sayaç
-40 °C ile +85 °C çalışma sıcaklığı aralığı

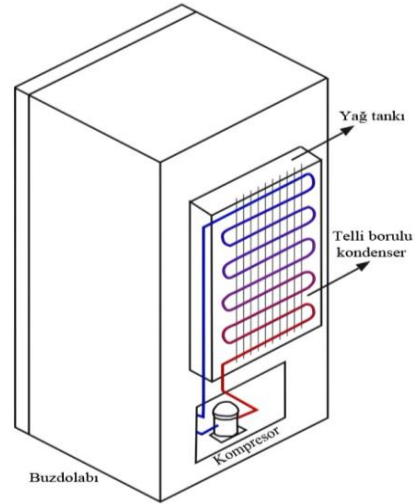
Deneyler kesikli rejimde 5 dakika aralıkla toplam 2 saat boyunca, yüksüz ve yüklü olarak yapılmıştır. Yüklü yapılan deneylerde 15 W gücünde bir ampul soğutucunun içine yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri için Digi-Sense firması tarafından üretilen, $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ölçme hassasiyetine sahip, 9 V DC ile çalışan J, K ve T

Çizelge 3. Yüklü ve yüksüz çalışmada doğal taşınımlı (DT) hava soğutmalı ve yağ soğutmalı deney setinin termodinamik özellikleri (the thermodynamic properties of oil and air cooled experimental setup under loading and unloading condition)

Durum	$T_2=T_3$	T_5	$T_1=T_6$	$P_2=P_3$	$P_1=P_5=P_6$	$h_2= h_3$	h_5	$h_1= h_6$
	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	kPa	kPa	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
DT								
Yüklü								
2.5 lt	87	69	7	1660	70	460.20	302.44	410.04
5 lt	82	62	5	1320	60	459.79	290.68	408.64
7.5 lt	79	57	3	1100	40	459.81	282.49	407.48
10 lt	75	52	2	1050	30	456.32	274.62	406.92
Yüksüz								
DT								
2.5 lt	85	69	5	15800	60	459.15	295.66	408.64
5 lt	80	60	4	1665	50	458.66	287.33	408.06
7.5lt	76	55	3	1460	40	458.11	279.32	407.72
10 lt	73	51	1	1125	20	455.73	272.97	406.12
	70	49	0	9300	10	454.01	269.98	405.80

olarak üç ayrı tip termo eleman sensör bağlanabilen dijital termometre kullanılmıştır.

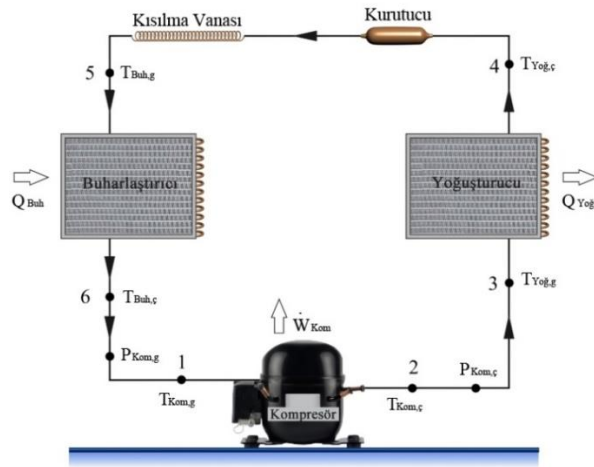
Ev tipi soğutucuda kondenser kapasitesinin sistem performansına etkisinin incelenmesine yönelik yapılan deneysel çalışmada tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen deney düzeneği Şekil 2' de görülmektedir. Yapılan tüm deneylerde yağ soğutmalı kondensere farklı miktarlarda eritilen bitkisel yağ doldurularak katılmasına sağlandıktan sonra deneylere başlanmıştır.

**Şekil 2.** Yağ soğutmalı kondenser ve soğutucu üzerine takılmış hali (The mounted of oli cooled condenser on the cooling device)

2.1. Soğutucunun Performans Analizi (Performance Analysis of Cooler)

Şekil 3'de ev tipi soğutucunun temel elemanları ve çalışma şeması gösterilmiştir. Burada evaporatör, soğutucu akışkanın düşük basınçta çevreden ısı alarak buharlaşmasını sağlar daha sonra kompresör vasıtası ile evaporatörden alınan buhar, yüksek basınçlı kondensere iletilir. Kompresörden gelen sıcak kızgın gaz

kondenserde ısısını atarak yoğunlaşır. Sistemde kullanılan genleşme valfi ise sıvı soğutucu akışkanın geçişini çeşitli metotlarla kısıtlayarak evaporatörde düşük basınç oluşmasını, dolayısıyla soğutucu akışkanın buharlaşacak hale gelmesini sağlamaktadır.



Şekil 3. Ev tipi soğutucunun temel elemanları ve çalışma şeması (Basic properties and working schematic of home type cooler)

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde Şekil 3'de belirtilen noktalara göre kondenser kapasitesi, soğutma kapasitesi ve kompresörde yapılan işi veren denklemler yazılmıştır. Bu sistemdeki buharlaştırıcının hava akımından çektiği ısı, Eşitlik 1'de evaporatör giriş ve çıkışındaki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisi ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{Buh} = \dot{m}(h_6 - h_5) \quad (1)$$

Kondenserden çevre havasına veya yağa atılan ısı ise Eşitlik 2'de kondenser giriş ve çıkışındaki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisi ile çarpılmasıyla bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{Yoğ} = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad (2)$$

Kompresörün yaptığı iş veya kompresör gücü, Eşitlik 3'de olduğu gibi kompresör çıkış ve girişindeki entalpi farklarının soğutucu akışkanın kütleli debisiyle çarpılmasıyla bulunur.

$$\dot{W}_{Kom} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

Bir soğutucunun performansı soğutma tesir katsayısı (COP) ile ifade edilir. Soğutucunun performansını Eşitlik 4'de olduğu gibi evaporatör kapasitesinin kompresörün yaptığı işe bölünmesiyle bulunur.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{Buh}}{\dot{W}_{Kom}} = \frac{(h_6 - h_5)}{(h_2 - h_1)} \quad (4)$$

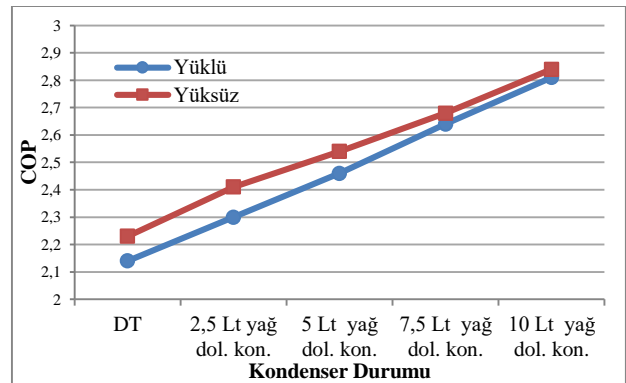
1 nolu ölçüm noktasında gösterilen kompresör çıkış sıcaklığı ve basınç değerleri, 3 nolu ölçüm noktasında gösterilen kondenser çıkış sıcaklığı ve basınç değerleri, 6 nolu ölçüm noktasında gösterilen kompresör giriş sıcaklığı ve emme basıncı değerleri Solkane paket programı kullanılarak elde edilmiş ve Çizelge 3.'de gösterilmiştir. Buna göre COP değerleri Eşitlik 4 'e göre bulunur.

3. BULGULAR (RESULTS)

Tasarlanan ve imalatı yapılan deney düzeneği üzerinde Ocak ayı ve Karabük iklim şartlarında bir dizi deneyler yapılmıştır[14]. Deneylerden elde edilen veriler buzdolabının içine 15 W'lık yük yerleştirilerek yüklü-yüksüz olarak kesikli çalışma şartlarında incelenmiştir. Laboratuvar şartlarında yapılan her bir deney bittikten sonra sistemin normal çalışma şartlarına gelmesi için 2 saat boyunca soğutucu çalıştırılmamıştır.

Deneylerde COP değerleri Eşitlik 4'ten yararlanılarak hesaplanmıştır. Deney verileri ilk önce hava soğutmalı kondenser ile yüklü ve yüksüz olarak, kesikli (on/off) çalıştırılmak suretiyle elde edilmiştir. Daha sonra yağ haznesine katı mısır özü bitkisel yağ eritilerek 2.5, 5, 7.5 ve 10 litre olarak doldurulmuş ve aynı ölçümler tekrar edilmiştir[15]. Bitkisel yağ ile yapılan deneylerde bitkisel yağın katılması için dolun işleminin ardından 2 saat beklenmiştir. Hazne içindeki bitkisel yağın sıcaklığı K tipi bir termokupl ile ölçülmüştür. 1, 3 ve 6 noktalarından ölçülen basınç ve sıcaklıklara karşılık gelen entalpi değerleri R134a gazı için termodinamik tablolardan bulunduktan sonra 4 nolu eşitlik kullanılarak kesikli, yüklü ve yüksüz çalışma şartlarında COP değerleri hesaplanmış ve Şekil 4'te grafiksel olarak gösterilmiştir[16].

Şekil 4'ten de görüleceği gibi hem on-off yüksüz hem de on-off yüklü çalışmada en düşük COP doğal taşınımlı kondenserde sırasıyla 2.23 ve 2.14 olarak tespit edilmiştir. Kondenser 2.5 lt yağ ile doldurulduktan sonra soğutucunun performansı artarak yüksüz çalışmada 2.41'e, yüklü çalışmada ise 2.30'a ulaşmıştır. Kondenserdeki yağ doluluk oranı arttıkça soğutucunun performansı da artmıştır. En yüksek COP, kondenser 10 lt yağ ile doluyken on-off yüksüz çalışmada 2,81 olarak on-off yüklü çalışmada ise 2,84 olarak gerçekleşmiştir. On-off çalışmada, yağ haznesinin doluluk oranı arttıkça sistem performansı artmıştır. Yağ haznesi 10 lt yağ dolu olduğunda yüksüz çalışırken COP doğal taşınma göre % 20, yüklü çalışırken ise % 24 artmıştır.

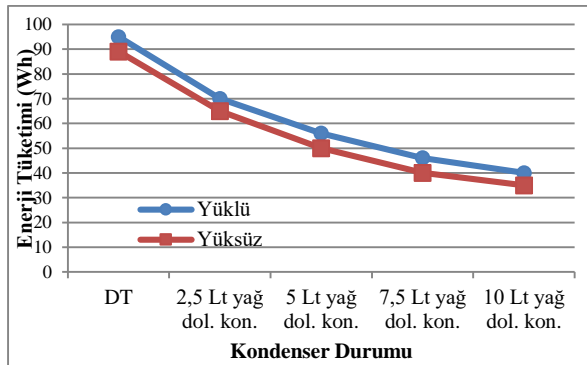


Şekil 4. Kesikli yüklü ve yüksüz çalışmaya ait COP değişimi (The COP changing under continuous and uncontinuous loading and unloading)

Soğutma sisteminin elektrik tüketimi ölçülürken Çizelge 2'de özellikleri verilen tek fazlı elektronik bir elektrik sayacı kullanılmıştır. Tüketilen enerji Watt-saat (Wh)

olarak ölçülmüştür. Yüklü yapılan deneylerde 15 W'lık yük elektrik sayacına bağlı olmayan ayrı bir kaynaktan alınmıştır. Sistemin elektrik tüketimi ise Şekil 5'te görülmektedir.

Şekil 5 incelendiğinde en yüksek enerji tüketimi, soğutma sistemi kesikli olarak doğal taşınımlı kondenser ile yüklü çalıştırıldığında 95 Wh olarak gerçekleşmiştir. En az enerji tüketimi ise soğutma sisteminin kondenseri 10 lt yağ ile dolu iken yüksüz çalıştırılırken 40 Wh olarak tespit edilmiştir. Bu da % 57 daha az enerji tüketimi demektir. Soğutma sistemi kesikli olarak doğal taşınımlı kondenser ile yüksüz çalıştırıldığında 90 Wh olarak gerçekleşmiştir. En az enerji tüketimi ise soğutma sisteminin kondenseri 10 lt yağ ile dolu iken yüksüz çalıştırılırken 35 Wh olarak tespit edilmiştir. Bu durum % 61 enerji tasarrufu olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi soğutma sisteminin yağ soğutmalı kondenser ile çalışırken yoğuşma basıncının düşmesidir. Yoğuşma basıncının düşmesi ile birlikte kompresörün enerji tüketimi de azalmıştır.

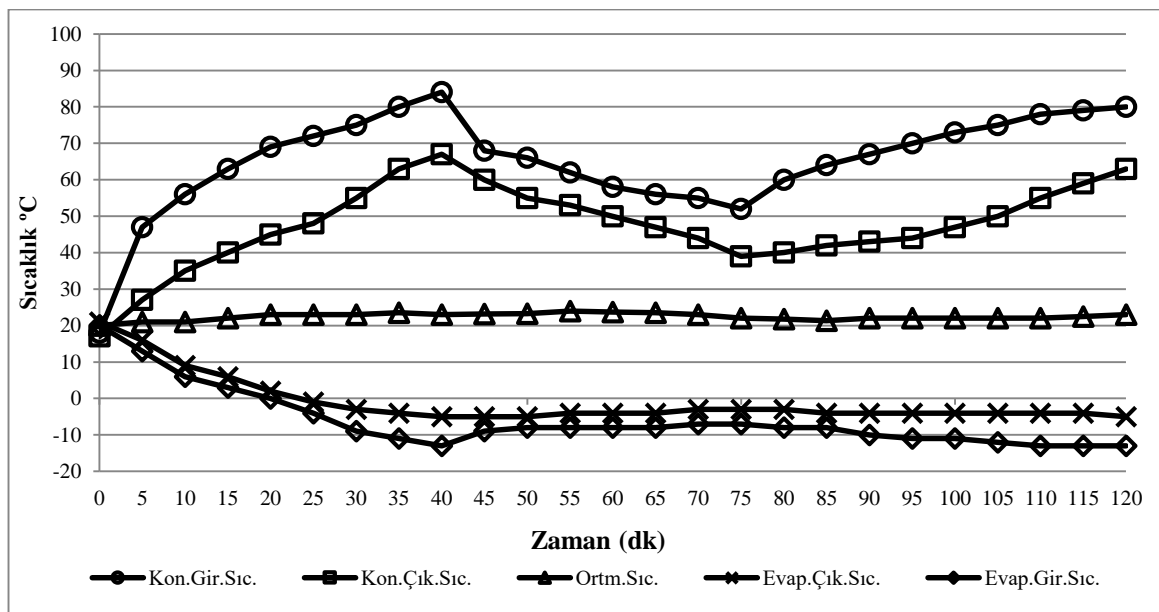


Şekil 5. Ev tipi soğutucunun sürekli çalışmada enerji tüketimi (Continuous energy consumption of home type cooler)

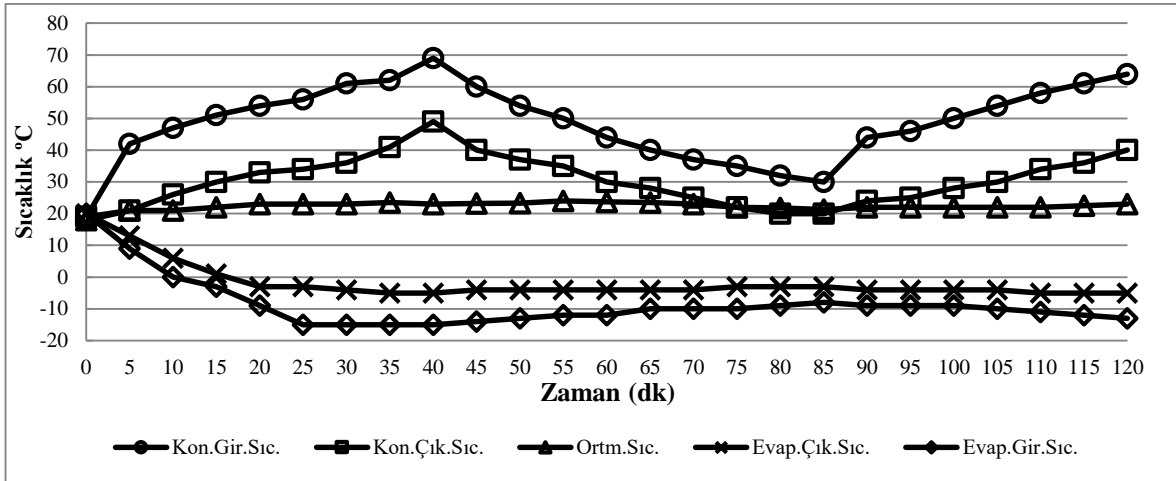
Şekil.6 ve Şekil.7 birlikte incelendiğinde en yüksek kondenser giriş-çıkış sıcaklığı doğal taşınımlı kondenserle çalışan deneyde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi doğal taşınımlı kondenserin ortama ısıyı atmada zorlanmasıdır. Bu durumda kondenserdeki yoğuşma basıncı artar dolayısıyla kompresörün enerji tüketimi de buna bağlı olarak artış gösterir. Bu da soğutucunun performansının azalmasına sebep olur. En düşük kondenser giriş-çıkış sıcaklığı ise kondenseri 10 lt yağ ile dolu yüksüz çalışma şartında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi de kondenserin ısıyı hızlı bir şekilde bitkisel yağ transfer etmesidir.

Evaporatör sıcaklık dağılımı incelendiğinde en düşük evaporatör sıcaklığı kondenser 10 lt yağ ile dolu iken on-off yüksüz çalışma şartlarında gerçekleşmiştir. Bunun sebebi evaporatör tarafından alınan ısının hızlı bir şekilde kondensere atılmasıdır. En yüksek evaporatör sıcaklığı ise kondenser doğal taşınımlı olarak çalıştığı durumda tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise evaporatörden alınan ısının kondensere atılırken zorlanmasıdır.

Kondenser giriş sıcaklığı ilk çalışmaya başladıktan sonra 40 dk. ya kadar düzgün bir şekilde artış göstermiştir. On-off çalışan soğutma sistemi, 40 dk. da termostatı off durumuna getirdiğinden dolayı kondenser giriş sıcaklığı 75 dk. ya kadar düşüş göstermektedir. Buna bağlı olarak evaporatör giriş ve çıkış sıcaklıklarında da artışlar görülmektedir. 75 dk. sonunda soğutma sistemi termostat tarafından on durumuna geçtiği için kondenser giriş ve çıkış sıcaklıklarında tekrar artış görülmektedir. Şekil 8'de deney düzeneğinin değişik kondenser durumlarında basınç dağılımı görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi en yüksek kondenser basıncı doğal taşınımlı tespit edilmiştir. Bu durum kondenserin ısı atması esnasında zorlanmasından kaynaklanmaktadır. Kondenser haznesi bitkisel yağ ile doldurulduktan sonra



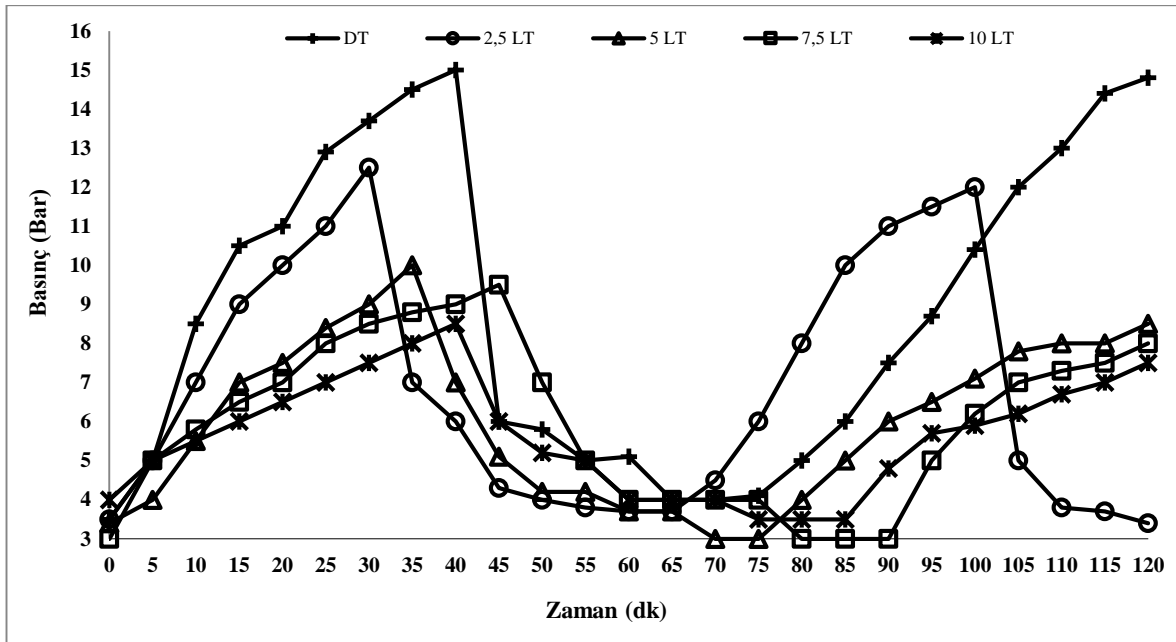
Şekil 6. Doğal taşınımlı yüksüz çalışan deney setinin kondenser ve evaporatör sıcaklık değişimi (Condenser and evaporator temperature change of natural convective unloaded experimental set)



Şekil 7. Kondenseri 10 lt yağ ile dolu yüksüz çalışan deney setinin kondenser ve evaporatör sıcaklık değişimi (Condenser and evaporator temperature change of 10 lt oil-filled unloaded experimental set)

kondenser basıncı düşmeye başlamış ve doluluk oranı arttıkça basınç düşmeye devam etmiştir.

- S: Ölçülen boyut
- x_1, x_2, \dots, x_n : Ölçümü etkileyen değişkenler



Şekil 8. On-off yüksüz çalışan deney setinin kondenser basınç dağılımı (The pressure distribution of on-off unloading working experimental setup)

En düşük kondenser basıncı ise kondenser 10 lt yağ ile doluyken çalışan deneyde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi kondenser ısısının hızlı bir şekilde bitkisel yağ tarafından tutulmasıdır. Soğutucu 40 dk. da termostatın devreye girmesiyle basınç değerleri de düşmektedir, 75 dk. dan sonra termostatın on durumuna geçmesiyle tekrar basınç değerlerinde artış görülmektedir. Kondenser basıncının düşmesiyle birlikte kompresörün enerji tüketimi Şekil. 5'te görüldüğü gibi azalmıştır.

4. BELİRSİZLİK ANALİZİ (UNCERTAINTY ANALYSIS)

Yapılan çalışmada hata analizi yapılmıştır[17].

- W_1, W_2, \dots, W_n : Bağımsız değişkenin hata oranı olmak üzere;

Toplam hata oranı W_s :

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_4} w_4 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

veya

$$W_s = S \left[\left(\frac{w_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_3}}{x_3} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_4}}{x_4} \right)^2 + \dots + \left(\frac{w_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Çizelge 4. Deneyde kullanılan cihazların doğruluk oranı (The accuracy ratio of devices in experiments)

Cihazlar	Ölçüm doğruluk oranı
Dijital termometre	± % 1
Elektrik sayacı	± % 3
Dijital saat	± % 0.1
Basınç transmitteri	± % 2

Deneylerde toplam belirsizlik, yukarıda belirtilen belirsizlik analiz formülleri (Eşitlik 5 – 6) kullanılarak Çizelge 4. te görülen ölçüm doğruluk oranlarına göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde toplam hata oranı $W_s = \pm \% 2.716$ olarak hesaplanmış ve kabul edilebilir düzeyde görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Yapılan bu çalışma ev tipi soğutucunun kondenseri metal bir hazne içerisine yerleştirilip, içerisine farklı miktarlarda bitkisel yağ konularak kondenser kapasitelerinde sistem performansı ve enerji tüketimi incelenmiş ve çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yağ tankına konulan bitkisel yağ, kondenserde atılan ısıyı tutmuş, yağın miktarı arttırıldıkça kondenserin yoğuşma basıncı ve sıcaklığı düşmüş ve evaporatörün soğutma kapasitesi artmıştır. Soğutma sistemi yüksüz çalışma esnasında, 10 lt yağ dolu olan yağ soğutmalı kondenserin doğal hava soğutmalı kondensere göre COP değeri % 20 arttığı ve enerji tüketiminde ise %61 azalma olduğu görülmüştür. Soğutma sistemi yüklü çalışma esnasında, 10 lt yağ dolu olan yağ soğutmalı kondenserin doğal hava soğutmalı kondensere göre COP değeri % 24 artarken enerji tüketiminde %57 azalma görülmüştür. Kondenserin yoğuşma basıncının ve sıcaklığının azalmasıyla birlikte kompresörde yüksek basınç ve yüksek sıcaklıktan kaynaklanan arızalar azalacaktır. Ayrıca kondenser basıncı düştüğü için kompresörün çektiği akım azalacak ve aşırı gürültü, ısınma gibi problemlerin önüne geçilecektir. Bu tip çalışmalar değişik türden ev tipi soğutucularda denenerek buradaki sonuçlarla karşılaştırılabilir. Kondenser haznesi farklı faz değiştiren maddelerle denenerek performans testleri başka çalışmalarda yapılabilir. Ayrıca, bu çalışmada kondenser haznesi 1.2 mm siyah sac malzeme kullanarak imal edilmiştir. Hazne yapımında farklı malzemeler denenerek performans testleri yapılabilir. Bu çalışmada tüm testler doğal taşınımlı kondenser kullanılarak yapılmıştır. Kondenser bir fan yardımıyla zorlanmış taşınımına dönüştürülüp benzer performans testleri yapılabilir. Bitkisel yağ soğutmalı kondenserin uygulanabilirliği ve maliyetinin uygun olup olmadığı ve yeni tasarımlarda nasıl kullanılacağı araştırılarak optimum çalışma koşulları belirlenmelidir. Bu sistemlerde bitkisel yağ soğutmalı kondenserin kullanılmasında en büyük problem imalat zorluğu ve kondenserin ağırlığıdır. İlerleyen çalışmalarda daha hafif malzemeler kullanılarak, uygulanabilirliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kadayıfçı, M.C., “Bacalı doğal taşınımlı yoğuşturucunun ev tipi soğutucuların performansına etkisi” *Karabük üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2011).
- [2] Clark R., A., Smith R.,N., Jensen M.,K., “An experimental study of waste heat recovery from a residential refrigerator” *Energy Conversion Engineering Conference*, Washington, 1887-1892, (1996).
- [3] Wen-Long C., Bao-Jun M., Yi-Ning L., Yong-Hua H., Xu-Dong Y., A., “Novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation”, *Energy*, 36: 5797-5804, (2011).
- [4] Akdoğan A . “Bir soğutma sistemindeki kondenser kapasitesinin değiştirilmesinin enerji ve ekserji analizleri ile incelenmesi.” *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
- [5] Stinson G.,E., Stuman C.,J., Warburton D.,J., “A dairy refrigeration heat recovery unit and its effects on refrigeration operation”, *Journal of Agriculture Engineering* , 36: 275–85, (1987).
- [6] Alex H.,W., Jones J.,W., “Analytical model of a residential de super heater” *Applied Energy*, 57:271-185, (1997).
- [7] Goto M., Ohuchinda S., Agata T., “A energy saving methodology for air-conditioning systems – performance of an additional condenser and its application to a hot water supply”, In proceedings of international symposium on ectopic science, *ISETS07*, Nogaya, 255-259, (2007).
- [8] Sapali S.,N., Pise S.,M., Pise A.,T., Ghewade D.,V., “Investigations of waste heat recovery from bulk milk cooler”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 4: 136-143, (2014).
- [9] Patil, P. A. “Performance analysis of hfc-404a vapour compression refrigeration system using shell and u-tube smooth and micro-fin tube condensers”, *Experimental Heat Transfer*, 25: 77-91, (2012).
- [10] Tissot J., Boulet P., Trinquet F., Fournaison L., Lejeune M., Liaudet F., “Improved energy performance of a refrigerating machine using water spray upstream of the condenser” *International Journal Of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, 38 : 93-105 (2014).
- [11] Hajidavalloo, E.; Eghtedari, H. “Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser” *International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, 33: 982-988 (2010).
- [12] Genceli O. F., “Ölçme Tekniği”, Birsen yayınevi, İstanbul Türkiye 48-69 (1995).
- [13] http://www.makel.com.tr/Download/files/sayac_genel_ozellik.pdf

- [14] <https://tr.climate-data.org/location/264/>
- [15] Hanson A. R., Urriola P. E., Wang L., Jonston L, J., Chen C., Shurson G. C., “Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs”, *Animal Feed Science and Technology*, 216: 251-261 (2016).
- [16] Çengel A. Y., Boles M. A., “Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla” Güven Bilimsel yayınevi, Türkiye (2008).
- [17] Gedik E. “Experimental investigation of the thermal performance of a two-phase closed thermosyphon at different operating conditions”, *Energy and Buildings*, 127: 1096-1107, (2016)



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Theoretical and mathematical analysis of double-circuit solar station with thermo siphon circulation

Termo sifon sirkülasyonu ile çift devreli güneş istasyonunun teorik ve matematiksel analizi

Yazar(lar) (Author(s)): Yedilkhan AMİRGALİYEV¹, Murat KUNELBAYEV², Aliya KALİZHANOVA³, Omirlan AUELBEKOV⁴, Nazbek KATAYEV⁵, Ainur KOZBAKOVA⁶

ORCID¹: 0000-0002-6528-0619

ORCID²: 0000-0002-5648-4476

ORCID³: 0000-0002-5979-9756

ORCID⁴: 0000-0002-2903-9056

ORCID⁵: 0000-0003-0501-3719

ORCID⁶: 0000-0002-5213-4882

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Amirgaliyev Y., Kunelbayev M., Kalizhanova A., Auelbekov O., Katayev N., Kozbakova A., "Termo sifon sirkülasyonu ile çift devreli güneş istasyonunun teorik ve matematiksel analizi", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 485-493, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.491246

Termo Sifon Sirkülasyonu ile Çift Devreli Güneş İstasyonunun Teorik ve Matematiksel Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Yedilkhan AMIRGALIYEV¹, Murat KUNELBAYEV^{2*}, Aliya KALIZHANOVA³, Omirlan AUERBEKOV⁴, Nazbek KATAYEV⁵, Ainur KOZBAKOVA⁶

^{1,2,3,4,5,6}Institute Information and Computational Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan

^{1,3,6}Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan

(Geliş/Received : 02.03.2018 ; Kabul/Accepted : 25.06.2018)

ÖZ

Bu makalede, bireysel yapıların matematiksel modelleri ve termo sifon sirkülasyonu ile bir çift devreli güneş kolektörü çalışma modları anlatılmaktadır. Bu görevi gerçekleştirmek için, panel ve ısı yalıtımı arasındaki ek bölümleri ortadan kaldırarak ısı transfer katsayısının arttığı termo sifon dolaşımı ile düz bir güneş kolektörünün yeni bir tasarımını düşündük. Güneş kolektörünün verimliliği, kondenser ve evaporatörün “spiral spiral” tipi bir ısı eşanjörü şeklinde yapıldığı ölçüm tankının ve tanktaki ısı pompasının varlığı nedeniyle elde edilir ve ısı eşanjörü boru hatları, ısı değişiminin alanını ve yoğunluğunu arttırmaya izin veren diğerinin üzerine yerleştirilir. Bu çalışmanın sonucu, göz önüne alınan çalışma modlarında düz güneş kolektörlerinin kararsız termal rejiminin teorik ve matematiksel bir analizidir. Analiz sonuçlarına dayanarak, bireysel yapısal unsurları optimize etmenin yanı sıra termal rejimi tahmin etmek ve düz güneş kolektörlerinin tasarımı ve çalışma modlarının seçimi için alternatif çözümler seçmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Çift devreli güneş istasyonu, ısı pompası, güneş kolektörü, termo sifon sirkülasyonu.

Theoretical And Mathematical Analysis Of Double-Circuit Solar Station With Thermo Siphon Circulation

ABSTRACT

This article discusses the mathematical models of the individual structures and modes of operation of a double-circuit solar collector with thermo siphon circulation. To perform this task, we considered a new design of a flat solar collector with thermo siphon circulation, in which the heat transfer coefficient was increased by eliminating additional partitions between the panel and thermal insulation. The efficiency of the solar collector is achieved due to the presence of the metering tank and the heat pump in the tank, where the condenser and evaporator are made in the form of a “spiral in a spiral” type heat exchanger, and the heat exchanger pipelines are placed one above the other, which allows increasing the area and intensity of heat exchange. The result of this work is a theoretical and mathematical analysis of the unsteady thermal regime of flat solar collectors on the modes of operation under consideration. Based on the results of the analysis, it is possible to optimize individual structural elements, as well as to predict the thermal regime and select alternative solutions for the design of flat solar collectors and the choice of operating modes.

Keywords: Double-circuit solar station, heat pump, solar collector, thermo siphon circulation.

1. INTRODUCTION

Renewable energy sources have the potential to meet current and future projected global energy needs without any environmental impact. Renewable energy sources such as solar, wind, hydropower, biogas and geothermal energy are potential candidates for a sustainable global energy demand. The best alternative to meet the growing demand for energy is solar energy. The conversion of solar radiation into heat is one of the simplest and most direct applications of this energy. To analyze the mathematical model of the developed double-circuit solar stations with thermo siphon circulation, we considered a number of existing models.

In the article there has been noted, that virtual prototyping of the solar collector helps predict collector's performance until operation [1]. The work herein admits, that in order to ground the solar collector project at physical state space it should be drove to a state of modelling to research collector's dimensions, which gives the air outlet low temperature.

Upon studying the design and operation models there is also taken into account the performance parameters. Duffie and Beckman in the work have constructed the solar collectors, which are applied to the models. In the current research there are several novelty aspects in the model-based approach [1].

With numerical models the restrictions of the approach thereof can be alleviated. Duffie and Beckman mention, that for the heat loss overall coefficient calculation to

* Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : murat7508@yandex.kz

define the spatial average temperature of the absorbing plate is difficult. In the spatially distributed model as presented here, this is not a problem. Moreover, the solar collectors are often characterized by the heat which shall be defined experimentally.

Koyunsu in the work concerning the solar collector has noted that the special attention is paid to the heat increase from the solar power radiation factor and heat output [3]. Kicsiny has experimentally simulated the solar collector where the temperature output does not help design the solar collector's dimensions, particularly the solar collectors being operated under different conditions [4]. Gao et al., Alvarez et al. have given the information on the solar collector's parameters calculation [5,6].

Buzás et alii in their work on the dynamic model spatial distribution do not consider the collector as a combined reservoir [7]. In the works it is told about spatial distribution of the PV / water system, tunnel dryer, solar water heater. In the work thereof the authors strive to use the model-based approach to design and construct the solar collectors for low and high outlet temperature in the dryer of the adsorptive solar system to dry agricultural products and for regeneration there is used the adsorbent for the drying during the night [8,9,10,11].

Solar thermal energy is a renewable energy source which is widely used all over the world. From the widespread use of household solar water heaters (SWH) to complex solar farms for power generation, they have an extensive field of application. For the production of hot water in the domestic and commercial sector, SWH proved to be reliable and economically viable. It is shown in the paper, that the basic elements of SWH are collectors (flat plates or tubular pipes), connecting pipes, a water tank and auxiliary heating elements [12]. To avoid damage from freezing (boiling) and indirect heating of SWHs, a heat exchanger is used between the reservoir and the reservoir, or inside the tank. The tank can be installed either above the collector (thermosyphon system) or at a lower level (forced circulation). Prapas and others developed and investigated that the thermal characteristics of SWS thermosyphons are comparable with the thermal characteristics of forced circulation systems [13,14]. The area of the solar collector is about 120,000 m² [15]. On an industrial scale, the proportion of electrical energy provided by systems for the production of hot water from 40 to 80 ° C can be very significant [16]. For developments in water storage systems, solar collectors are usually separated, and using a forced circulation system installed at the desired temperature, is fixed at the collector outlet, which ensures maximum efficiency and economy [17]. The mathematical model includes the differential laws of conservation of mass, momentum, and energy. The drawback of this model is the absence of environmental influence. The actual results of the physical process and the mathematical modeling of the heat transfer process of the thermal conductivity of walls in a reservoir can lead to specific values for the calculation of a flat collector with a thermosyphon [19]. A multidimensional

mathematical model of the influence of the filling factor of a working fluid is presented in under the stationary regime of water heating in a thermosyphon. In the researchers developed a mathematical simulation of a thermosyphon with a solar collector based on equations for laminar flows of a compressible ideal gas [20].

In this article, researchers consider a theoretical and mathematical analysis of a dual-circuit solar installation with a thermo siphon circulation. For the theoretical and mathematical analysis, the dual-circuit solar plant was divided into four blocks: the first block, consisting of a thermo syphon metering tank and a flat solar collector; the second unit is a flat solar collector and a heat pump evaporator; a third unit, a condenser and a storage tank, and a fourth unit with a heat pump. In the first block, we obtained the equations of the thermo siphon flow between the thermo syphon dosing tank and the flat solar collector. In the second block, the analysis showed that when a dual-circuit solar system is operating with a heat pump and solar collector capacitor, the direction of heat flow between the solar collector and the environment changes. In the third block, we analyzed the mode of constant heat consumption from the storage tank, when hot water was supplied and when it was heated. In the fourth block, the analysis showed that a new solution for the development of a heat pump contributes to an increase in the thermal characteristics of a dual-circuit solar installation.

2. METHOD OF RESEARCH

Operation functional diagram of the thermal pump with the solar collectors is shown in the Figure 1 [21]. One of the main purposes of the system is to provide heating and hot water supplying. One of the levels or the first cause of the system development is to use primarily for the purpose thereof the solar power atmospheric air heat.

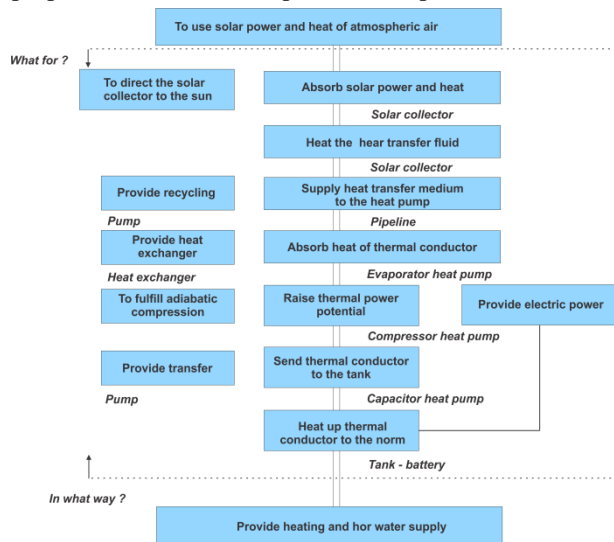


Figure 1. Solar installation fast model

To implement the complex of subsequent principal functions, located on the chart between the upper and

lower dashed line is one of the system's aim achievement. The first function is to absorb, by means of the solar collector, the solar power and atmospheric air heat and warm them up with the power of the heat conductor flowing through it. Further to supply the heat conductor to the thermal pump evaporator; absorb the warm of the heat conductor with a cooling medium (freon) boiling in the evaporator (recirculation process); concurrently to fulfill the cooling agent adiabatic contraction with a thermal pump compressor and transfer it into the liquid state; transfer the liquid and warmed cooling agent to the condenser; release the cooling agent heat from the condenser with a heat conductor; direct the heat conductor to the accumulator tank, return the heat conductor back to the condenser for reheating (recirculation process); accumulate thermal power in the tank; bring the water temperature in the accumulator tank to the required technological value (electrical heating).

2.1 Substantiation of constructive-technological scheme

With account of the demand to raise the installation operational performance there has been elaborated the principle diagram of the double-circuit solar installation with a thermal pump (Figure 2).

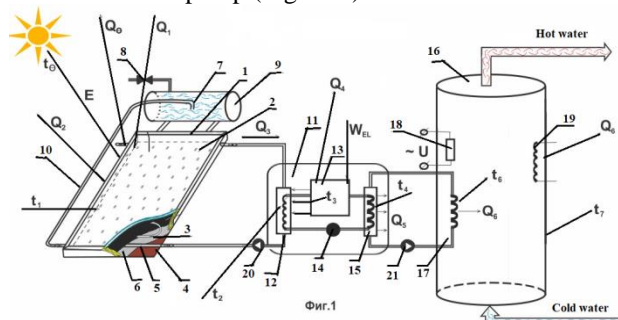


Figure 2. Principle diagram of the double-circuit solar installation with a thermal pump

The work of the proposed installation is as follows. Solar energy E with a temperature t0 is absorbed by the solar collector 1, with a temperature t1, heating the flow of solar energy passes through a translucent insulating glass unit 2. The heat received from the solar flow heats the fluid in the coils 3, which is removed from the collector, and its place comes cold water from the pipeline with a valve for cold water 8, and from the siphon of the dispenser tank 7 there is a constant term siphon circulation through the circulation pipe 10. Then the liquid enters the heat pump 11, which consists of condenser evaporator 12 with temperature t2, in which the heat exchanger is made in the form of a spiral, absorbing heat carrier heat, lowers its temperature below atmospheric air temperature (Q2) by means of a throttling valve 14, thereby contributing to additional heat absorption from atmospheric air. The diagram also shows solar radiation reflected from the translucent coating (Q0) and the surface of the absorbing panel (Q1). In the heat pump energy is transferred to the coolant with a relatively low temperature, to the coolant of the heat

exchanger of the condenser 15 in the form of a spiral with a higher temperature t2, which increases the area, as well as the intensity of heat transfer. For the implementation of such a cycle, a compressor 13 with a temperature t3 is used with an electric drive 17. Further, through a heat exchanger of a condenser 15 with a temperature t4, heat from the heat pump (Q5) is transferred to the tank of the heat exchanger Q6 with temperature t6 of the heating system 18. Since the installation has two circuits, it is equipped with automatic circulation pumps 19 and 20 for the circulation of fluid between the solar collector and the evaporator, the condenser and the storage tank. The water temperature is brought to the required technological level and is supplied to the consumer for the purpose of hot water supply and heating

2.2 Nonstationarity of thermal processes in the collector

Nonstationarity of thermal processes in the collector takes place due to the daily changes of the solar radiation intensity, atmospheric air temperature, radiation balance and other climatic factors. At the stage of designing the flat-plate solar collectors in order to reach the efficiency it is necessary to conduct the design analysis of solar hot water supply systems, as well, to decrease the thermal losses into the atmosphere, which is possible merely at joint consideration of optical and thermal properties of the collector, thermal accumulator and paths of hydrodynamics. Below there are principal schemes of the solar water heaters with heat absorbers from the steel stamp-welded heater and demountable tube-on-sheet heat receiver.

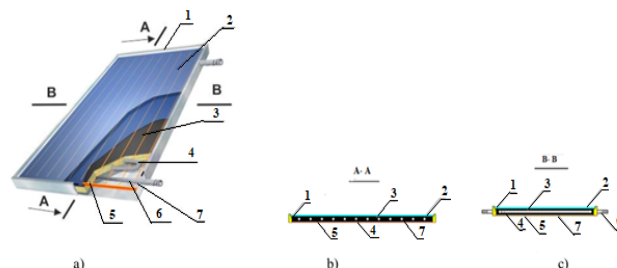


Figure 3. a) flat solar collector; b) section A-A of a flat solar collector; c) section B-B of a flat solar collector

The main aim is to develop and master the solar stations production economically feasible in Kazakhstan conditions using conceptually new solar collectors. To reach the set aim it is offered to implement a new approach to the solar collectors design applying modern materials, by means of which substantially cut (2-3 times) the solar installation cost. Subject matter and novelty of the method being offered consist in the fact that alternatively to the known design principle the collector thereof has a transparent double glass pane 2 with double glass and reduced pressure, as well a perimetritic frame 1. Wood frame bottom 7 is made of the 8 mm width plywood and heat insulating film 5 with foil is glued upon. In the gap between the glass pane and frame bottom there is laid a flexible thin-walled stainless goffer tube 4 with a diameter of $\square \square 16$ mm in the form

of a spiral. Tube's ends are attached to inlet and outlet protruding tubes 6.

Differential equations system represents a mathematical model of the flat-plate collectors thermal regime, the solution of which gives a possibility to define the water flow speed upon thermo-siphon circulation, as well as the solar installation's performance efficiency for the given weather conditions. Change of weather and flow conditions upon water circulation in the system through the tank and solar collector at constant flow rate using the pump, changes the conditions, i.e. the liquid temperature at the outlet upon subsequent flowing is continuously changing. The weather function and the system geometry as well as the natural circulation flow conditions in the flat-plate solar collectors, caused by thermo siphon impact are difficult to define. Being offered thermal model has been modified in such a way that there is accounted the system capacity and solar collector's efficiency coefficient. To solve the thermal regime of flat-plate solar collectors and their main parameters, as solar radiation and ambient-temperature, which are included as factors, shall be taken Fourier series expansion. This approach makes the method applicable for the cloudy weather as well, which is proved by experimental researches. However, the system's operating conditions have been maintained on grounds of the analysis simplicity. To execute the constructive researches there has been elaborated the program for computer-aided calculations. The system's researched principal parameters: circulation tubes diameter and equipment placement, tank configuration, ratio of the solar collector length to the width, of the tank height to the diameter. Proceeding from the nature of the occurring phenomena of thermo physical activity in the solar collector there have been derived following assumptions: tank temperature to the liquid temperature in the tank, the tank is broken down into n sections with the uniform liquid temperature in each; the liquid temperature distribution along the receiving tank length is linear; the thermal processes, taking place between the separate areas of the model are characterized as average values of heat output factors within each area.

Taking into account the foregoing in the system's thermal model we can distinguish the areas: m – solar power receiving units; n – tank sections; k – conduits; i – collector's components. Let's formulate the energy conservation law for every thermal model area (fig. 4).

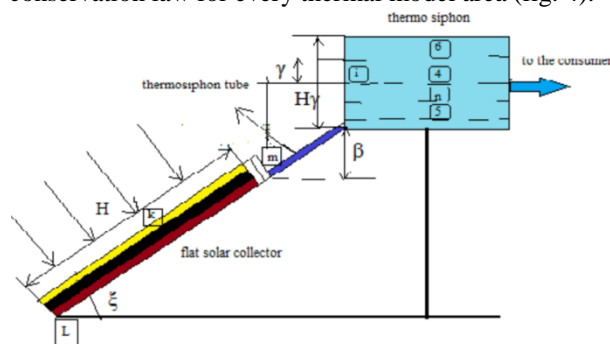


Figure 4. Model of the solar collector with a thermo siphon

Area m . The thermal flow absorbed from the sun by the receiver is spent for enthalpy changing $C_n \frac{dt_c}{d\theta} + C_T \frac{dt_f}{d\theta} + G_0 C_p (t_3 - t_5)$ of the receiver and liquid in it, heat output to the elements $\sum_m U_p (t_p - t_a)$ and the environment $U_c (t_m - t_a)$.

Area n . Thermal flow $G_0 C (t_3 - t_5)$, received by the liquid, consumed for changing its enthalpy $C_\delta \frac{dt_f}{d\theta} + C_p \frac{dt_n}{d\theta}$ thermal output to the environment $U_T (t_n - t_a)$. According to the energy conservation law it is possible to write down for every thermal model's area the following:

$$G_0 C_p (t_3 - t_5) = \eta_n [E(\tau\alpha) - U_c (t_m - t_a)] - C_n \frac{dt_c}{d\theta} - C_T \frac{dt_f}{d\theta} - U_p (t_p - t_a) \quad (1)$$

$$G_0 C_p (t_3 - t_5) = U_m (t_n - t_a) + C_\delta \frac{dt_\tau}{d\theta} - C_p \frac{dt_n}{d\theta} \quad (2)$$

In compliance with the accepted assumptions we might assume, that the solar collector's temperature and that of the tank equal to the corresponding water temperature. Therefore, taking into account, that $t_c = t$, $t_0 = t_n$, $t_f = t_p$ the equations take the form:

$$G_0 C_p (t_3 - t_5) = \eta_n F_k [E(\tau\alpha) - \eta_c U_c (t_m - t_a)] + U_p (t_p - t_a) - C_n \frac{dt_m}{d\theta} - C_T \frac{dt_p}{d\theta} \quad (3)$$

$$G_0 C_p (t_3 - t_5) = (C_p + C_\delta) \frac{dt_n}{d\theta} + U_T (t_n - t_a) \quad (4)$$

Based on experimental researches, the water average temperature in the accumulator tank is the same as in the solar collector within a day, which is true as well for the tubes temperature if to consider the average temperature of both tubes. Thereby, accepting that $t_m = t_n = t_p$ and having excluded G_0 from the equations (3) and (4), we obtain the equation for the system's average temperature (t_n):

$$W \frac{dt_n}{d\theta} + U (t_n - t_a) = \eta_n F_k E(\tau\alpha) \quad (5)$$

$$W = C_n + C_T + C_\delta + C_p \quad (6)$$

$$U = \eta_n F_k U_c + U_T + U_p \quad (7)$$

However, even this simplification, which allows calculating the system's average temperature (t_n) through solving the equation (5), is the key reason of the fact that the analysis thereof cannot predict the system's temperature and water reverse flow at night. We assume, that the system at night is disconnected ($E=0$). Therefore, the water average temperature in the solar collector and that of the water in the accumulator tank at night is specified separately by solving the number of equations:

$$W_1 \frac{dt_m}{d\theta} + U_1(t_m - t_a) = 0 \tag{8}$$

$$W_2 \frac{dt_n}{d\theta} + U_2(t_n - t_a) = 0 \tag{9}$$

$$W_1 = W - W_2, W_2 = C_\delta + C_{\delta\delta} \tag{10}$$

$$U_1 = U - U_2, U_2 = U_m \tag{11}$$

Equations (5), (8) and (9) are not uniform differential equations with constant coefficients and might be easily solved by means of integrating factor. Applying the values of Fourier's series to E and t_a , obtained using the Fourier analysis, we will have:

$$E = A_0 + \sum_{n=1}^N (A_n \cos n\omega\theta + B_n \sin m\omega\theta) \equiv \tag{12}$$

$$\equiv A_0 + \sum_{n=1}^N R[(A_n - jB_n)e^{jn\omega\theta}]$$

$$t_n = C_0 + \sum_{n=1}^N (\cos n\omega\theta + D_n \sin m\omega\theta) \equiv \tag{13}$$

$$\equiv C_0 + \sum_{n=1}^N R[(C_n - jD_n e^{jn\omega\theta})] j = V - I\omega = 2\pi/24]$$

Solving the equation (5) is following

$$t_n = \frac{E_0}{x} [1 - e^{x(\theta-\theta_0)}] + t_0 e^{-x(\theta-\theta_0)} + \sum_{n=1}^N \left[\frac{(xE_n - n\omega F_n)(\cos n\omega\theta - e^{-x(\theta-\theta_0)})}{(x^2 + n^2\omega^2)} + \frac{(n\omega E_n - xF_n)(\sin n\omega\theta - e^{-x(\theta-\theta_0)} \sin n\omega v_0)}{(x^2 + n^2\omega^2)} \right] \tag{14}$$

Where,

- t_0 is the system's initial temperature corresponding to the period of the system's filling with fresh water,

- and $X = \frac{U}{w}, E_n = xA_n + YC_n, n = 1, \dots, N$

$$Y = \frac{\eta_n F_n (\tau\alpha)}{w}; F_n = XB_n + YD; n = 1, \dots, N \tag{15}$$

To solve the equations (8) and (9) there were used corresponding values of U and W to calculate X ; the value Y is accepted as equal to the zero in case there is no sunshine. It follows that the equation (14) shows an average temperature in the system within all hours, when there were taken the appropriate constant values and there was no reverse thermo siphon flow (at night).

3. Results. Theoretical and mathematical analysis of double-circuit solar installation with thermo siphon circulation

To carry out the theoretical and mathematical analysis the installation has been broken down into four units backed

by thermal hydraulic circuits: 1st, formed by a thermo siphon and solar collector; 2nd, solar collector and heat conductor evaporator; 3rd, formed by the heat conductor condenser and accumulator tank, and the 4th, in the centre, formed by the heat conductor itself.

Inasmuch that the circuits form the sequencing circuit of units, the heat production maximum might be achieved at heat production capacity of every separate circuit, and inside the circuit – at maximum heat production capacity of every separate element.

3.1 Theoretical analysis of the 1st circuit

The motions by means of natural convections formed in the result of water heating in the solar collector, produced by thermo siphon influence to define the liquid flow rate shall be considered at any moment, and the density in different points of 1-6 flow circulation. It is assumed that density distribution in the solar collector and tank is linear and power losses in the tube are insufficient comparing to heating in the collector. Following the description and supposing the quadratic dependence density-temperature:

$$D_w = At^2 + Bt + C \tag{16}$$

It may be shown, that thermal head, formed by solar heating, is defined through the equation:

$$h = \frac{(t_5 - t_3)}{2} [2At_n + B] f(s) \tag{17}$$

Where $f(s)$ - system function depending on the lot of parameters: solar collector geometry, tubes location water height in the tank (H_t), solar collector height and slope. Let's write down those dependencies

$$f(s) = l_0 \sin \varepsilon + 2\beta(H_t - \gamma) \tag{18}$$

$$t_n = \frac{(t_5 + t_3)}{2} \tag{19}$$

excluding $(t_5 - t_3)$ from (16) and (19), we obtain

$$h_1 = \frac{[(W_{\omega t} + W_s)] \frac{dt_n}{d\theta} + U_T(t_n - t_a)}{2G_0 C_p} [2At_n + B] + f(s) \tag{20}$$

the thermo siphon flow rate will be such, that at any moment the thermal pressure head is balanced by means of frictional head loss (h_e) in the circulation flow. Based on Darcy's equation the value of functional head loss might be represented as follows: $h_f = \frac{f l U^2}{2g d p}$, where f equals to 0,035 for ordinary flows in the systems, which are probably the luminary flows. Applying the speed (U) to the function of mass flow rate (G_0) we will obtain:

$h_f = \frac{DG_0^2}{dp^2} l$ where D is the known invariable: 1 –effective length of circulation flow cycle with an internal diameter dp, depending on the collector configuration and tube location. For the collector having parallel tubes between water collector (collectors) and the tube location, it is as follows

$$l = \left\{ \frac{Sl_T}{l_k} \left(\frac{dp}{dc} \right)^5 + l_k \left(\frac{dp}{dh} \right)^5 \right\} + \{l_T + H_t - \gamma + \beta\chi(1 - \cos e\epsilon)\} + l_c + L_0 \quad (21)$$

having solved (20) and (21), we obtain the equation of thermo siphon flow:

$$G_0^3 = - \left(\frac{dp^5}{2lDC_p} \right) \left\{ W_{\alpha\chi} + C_\delta \frac{dt_n}{d\theta} + U_T(t_n + t_a) \right\} \{2At_n + B\} f(s) \quad (22)$$

the equation (22) for G_0 is three-dimensional. Determining the values t_n and $dt_n / d\theta$ the equation (14), through corresponding substitutions might be defined as G_0 . With knowledge of G_0 and t_n applying the equations (14) and (19) we can also define the temperatures t_3 and t_5 at the tank inlet and outlet. Proceeding from the above we can define all system’s parameters as well as performance efficiency of the solar collector and the overall system.

3.2 Theoretical analysis of the 2nd circuit

To solve the theoretical analysis of the 2nd circuit let’s formulate processes total of the 2nd circuit, which will be expressed by the thermal balance equation for the 2nd circuit:

$$(E - Q_0 - Q_1 + 2Q_2) \cdot S - Q_3 = C_1 \cdot \frac{dt_1}{d\tau} \quad (23)$$

where:

$$\int_0^\tau d\tau = C_1 \cdot \int_{t_1=t_0}^{t_1} \frac{dt_1}{[E - k_0E - k_1 \cdot E \cdot (1 - k_0) + U_L \cdot (t_0 - t_1)] \cdot S - W_{EL} \cdot (a - 1) + W_{EL}b \cdot (t_4 - t_1)} \quad (26)$$

$$t_1 = - \frac{[W_{EL}b \cdot (t_4 - t_1)] \exp \left[- \frac{(W_{EL}b + U_L) \cdot \tau}{C_1} \right]}{(W_{EL}b + U_L S)} \quad (27)$$

$$+ \frac{[E(1 - k_0 - k_1 + k_1 \cdot k_0) \cdot S - W_{EL} \cdot (a - 1)] \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{(W_{EL}b + U_L) \cdot \tau}{C_1} \right] \right\} + W_{EL}b \cdot t_4 + U_L S \cdot t_0}{W_{EL}b + U_L S} \quad (28)$$

$$t_1 = \frac{[E - k_0E - k_1 \cdot E \cdot (1 - k_0) - U_L \cdot t_0] \cdot S - W_{EL} \cdot (a + b \cdot t_4 - 1)}{W_{EL}b + U_L S}$$

– C_1 – total heat capacity of the 2nd circuit (includes the heat conductor’s heat capacity, material), kkal /degree;
 – t_1 – heat conductor current temperature; t- time, hour.
 From (23) it follows, that the heat capacity criterion may

be the value of the derivative, that is the bigger, it is the higher than the thermal capacity:

$$\frac{dt_1}{d\tau} \Rightarrow max \quad (24)$$

Based on (23) there has been drawn up an expanded equation of the thermal balance:

$$[E - k_0E - k_1 \cdot E \cdot (1 - k_0) + U_L \cdot (t_0 + t_1)] \cdot S - [W_{EL} \cdot (a - b \cdot (t_4 - t_1) - 1)] = C_1 \frac{dt_1}{d\tau} \quad (25)$$

Executed the solution of the equation (10):

There is obtained the dependence of the current temperature of the 2nd circuit heat conductor on the concomitant factors total:

Conducted checking of (27). Obtained at $t_1=t_0$, that meets the condition. At we obtain the formula for the heat conductor temperature calculation at the outlet of the 1st circuit under the set operation mode

The analysis has shown that at operating the double circuit solar installation with the heat conductor there is changed the direction of the heat flow between the solar collector and the environment. Accordingly, the solar collectors principal components, protecting it from the environment impact (translucent cover, thermal insulation, body) lose functional meaning and exert negative effect on the heat exchange process, detaining the heat input from atmospheric air. Refusal from the constructive elements thereof brings to raising the thermal performance of the 1st circuit and decreasing materials-output ratio and the solar collector’s cost to 50%.

3.3 Theoretical analysis of the 3rd circuit

To solve the theoretical analysis of the 3rd circuit let’s formulate the processes complex, which will be expressed by the equation of the circuit’s thermal balance equation:

$$Q_6 + Q_{EL} - Q_7 - Q_8 - Q_9 = C_3 \cdot \frac{dt_6}{d\tau} \quad (29)$$

where: C_3 – 2nd circuit’s heat conductor’s thermal capacity kkal/ degree; t_6 – the water current temperature

in the accumulator tank; Q_{out} —thermal flow from there serve source; Q_7 and Q_8 -accordingly, the thermal power, outgoing for hot water supply and heating; Q_9 – accumulator tank thermal losses. Through analyzing the equation (29) we reduced it to an expanded form:

$$Q_6 + P_3 \cdot \tau - k_{var} \cdot \sum n_{7i} v_{7i} - V_8 \cdot n_8 - k_{T3} \delta_3 \cdot S_3 \cdot (t_7 - t_8) = C_3 \cdot \frac{dt_7}{dt} \quad (30)$$

where:

– k_{var} – consumption simultaneity factor is accepted in average as equal to 0,7...0,8; n_{7i} and v_{7i} – consumption amount and norm of i consumer of hot water;

– V_8 – square of the heated premise; n_8 – heating norm for a climatic zone.

The output of the solution (30) turned out to be the dependence of accumulator tank current heat conductor’s temperature dependence on the factors complex:

$$t_7 = t_8 + \frac{Q_6 + P_3 \cdot \tau - k_{var} \cdot \sum n_{7i} v_{7i} - V_8 \cdot n_8}{k_{T3} \delta_3 \cdot S_3} \left[1 - \exp\left(-\frac{(k_{T3} \delta_3 \cdot S_3) \tau}{C_3}\right) \right] \quad (31)$$

For verification of the formula correctness there used the values t_7 in the characteristic points. For instance, at we obtain the expected value $t_7 = t_8$. We obtain the formula for calculating the heat conductor’s temperature at the outlet for the set operation regime:

$$t_7 = t_8 + \frac{Q_6 + P_3 \cdot \tau - k_{var} \cdot \sum n_{7i} v_{7i} - V_8 \cdot n_8}{k_{T3} \delta_3 \cdot S_3} \quad (32)$$

The analysis has proved that for raising the thermal performance the most effective is the mode of constant heat consumption from the accumulator tank at hot water supply and heating. It promoted the maximum heat output Q_6 , and consequently, maintenance of the thermal conductor’s efficient work, securing the thermal conductor’s maximum transformation rate . To increase the thermal performance it is needed as well to secure the accumulator-tank’s heat insulation.

3.4 Theoretical analysis of heat pump circuit the 4rd circuit

To conduct the theoretical analysis of the thermal pump let’s formulated the thermal pump’s processes aggregate by means of the thermal balance equation:

$$Q_3 + W_{EL} \cdot \eta_{EL} \cdot \eta_k + Q_4 - Q_5 - Q_6 = C_2 \cdot \frac{dt_5}{dt} \quad (33)$$

where:

– $W_{EL} \cdot \eta_{EL} \cdot \eta_k$ – the power inletting the circuit at the expense of the work carried out by the compressor;

– Q_4 – recoverable heat, generated by compressor in the working process;

– Q_5 and Q_6 – accordingly, heat losses through the condenser’s heat exchanger surface and the energy output by the thermal pump to the accumulator tank;

– C_2 – heat capacity of the condenser circuit’s heat conductor;

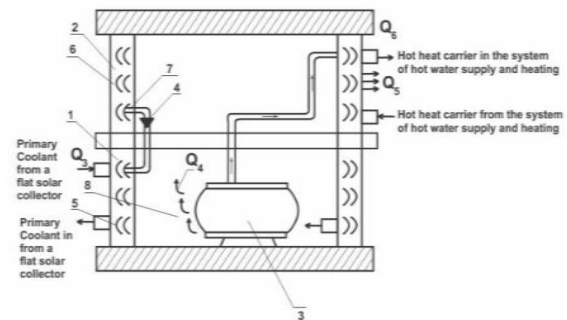
– t_5 – heat conductor’s current temperature at the outlet from the circuit.

The main element of the circuit being researched is the thermal pump. Figure 2 shows the scheme of the new technological solution of the thermal pump in section. Offered device allows utilizing the heat output by the compressor in the operation process and simultaneously cooling.

3.5. Main constructive parameters of the thermal pump

The main element of the investigated circuit is a heat pump. Figure 5 shows a diagram of the new technical solution of the heat pump in the section. The proposed device allows to utilize the heat emitted by the compressor during operation and at the same time to cool it.

Table 1. The main design parameters of the heat pump



1 – evaporator heat exchanger; 2 – condenser’s heat exchanger; 3 - compressor; 4 – throttle valve; 5 and 6 – pipes for evaporator and condenser’s coolant; 7- hole for pipes input into the condenser body; 8 – netted barrel sheet-divider of air streams

Figure 5. Design scheme of a new technological solution of thermal pump for double circuit solar station and principal constructive parameters

Evaporator 1 and condenser 2 heat exchangers are manufactured in the form of ring-shaped vessels with internal and external cylindrical vessels with radiuses R_1 and R_2 and installed coaxially one over another, evaporator from below, condenser from above, forming the internal cylindrical air cavity. In the evaporator’s heat exchanger cavity there is located a compressor 3. To maintain optimal heat exchange from the compressor to evaporator in the gap between them there is placed the barrel sheet-divider 8. Inside the ring-shaped vessels there circulated heat conductors of the 1st and 2nd circuits, taking off the heat from the tubes 5 and 6. Thus, a compressor actually is inside the «cold pot», the walls of which are cooled with the pipes’ coolant. 5. In the result the heat, yielded by a compressor is absorbed by the heat

conductor evaporator, increasing its performance, and a compressor is simultaneously cooled without a ventilator. Based on the equation (33) there was compiled the balance's expanded equation:

$$Q_3 + W_{EL} \cdot \eta_{EL} \cdot \eta_k + Q_3 \cdot (1 - \eta_{EL}) - k_{T2} \cdot S_2 \cdot (t_5 - t_8) - W_{EL} \cdot [a - b \cdot (t_5 - t_1)] = C_2 \cdot \frac{dt_5}{dt} \tag{34}$$

where:

- t_8 - ambient temperature;

- k_{T2} - thermal transmission factor of the thermal conductor's heat exchanger thermal insulation of the thermal conductor, kkal/degree.

Derived the dependence of the thermal conductor temperature:

$$t_5 = \frac{k_{T2} S_2 \cdot t_8 + [Q_3 + W_{EL} \eta_k + Q_3 \cdot (1 - \eta_k) + W_{EL}(1 - \eta_{EL}) - W_{EL} a - W_{EL} \cdot b \cdot t_1] \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{[k_{T2} S_2 + W_{EL}(a-b)] \cdot \tau}{C_2}\right) \right\}}{W_{EL} \cdot b \cdot \exp\left(-\frac{[k_{T2} S_2 + W_{EL}(a-b)] \cdot \tau}{C_2}\right) + k_{T2} S_2 + W_{EL} \cdot b} \tag{35}$$

$$t_5 = \frac{k_{T2} S_2 \cdot t_8 + [Q_3 + W_{EL} \eta_k + Q_3 \cdot (1 - \eta_k) + W_{EL}(1 - \eta_{EL}) - W_{EL} a - W_{EL} \cdot b \cdot t_1]}{k_{T2} S_2 - W_{EL} \cdot b} \tag{36}$$

Analysis has shown that the new solution, without account of power expenses for the cooling ventilator drive, promotes raising the thermal performance of the double circuit solar installation.

4 CONCLUSION

Executed theoretical and mathematical analysis of the double-circuit solar installation with the thermo siphon circulation is broken down into four conventional units, represented by thermal-hydraulic circuits: 1st, formed by thermo siphon and thermal condenser; 2nd, thermal collector and heat conductor evaporator; 3rd, formed by the heat conductor condenser and accumulator tank and the 4th in the center, formed by the heat conductor itself.

Proceeding from the theoretical analysis of the 1st circuit we obtained the equation of the thermo siphon circuit, which shows how to define all parameters of the system, as well as efficiency coefficient of the solar collector and overall system. Proceeding from the 2nd circuit analysis we obtained the dependence of the 2nd circuit's heat conductor current temperature, which specifies the thermal flow direction between solar collector and environment, solar collector principal elements, protecting it from external impact (translucent cover, thermal insulation, body). Analyzing the 4th circuit we obtained the formula for heat conductor design temperature calculation at the outlet. In the 4th circuit the new solution, without regard to expenses on the power

for the cooling ventilator drive, promotes the double circuit solar station's thermal performance rise.

ACKNOWLEDGEMENT

The work was supported by the project of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan No 055236693 contract No. 318 of 30.03.2018.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tomas, M.; Vladimir, Z.; Juliane, M. Detailed modeling of solar flat-plate collectors with design tool kolektor 2.2, building simulation. In Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland; **IBPSA**: Loughborough, 2289–2296, (2009)
- [2] Duffie, J.A.; Beckman, W.A. Solar Engineering of *Thermal Processes*, 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.:
- [3] Koyuncu, T. Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications, **Renewable Energy**, 31: 1073–1088, (2006)
- [4] Kicsiny, R. Improved multiple linear regression based models for solar collectors. **Renewable Energy**, 91: 224–232, (2016)
- [5] Gao, W.; Lin, W.; Liu, T.; Xia, C. Analytical and experimental studies on the thermal performance of cross-corrugated and flat plate solar air heaters, **Applied Energy**, 84(4): 425–441, (2007)
- [6] Alvarez, A.; Cebaza, O.; Muñiz, M.C.; Varela, L.M. Experimental and numerical investigation of a flat-plate solar collector, **Energy**, 35: 3707–3716, (2010)
- [7] Buzás, J.; Farkas, I.; Biró, A.; Németh, R. Modelling and simulation of a solar thermal system, **Mathematics and Computers in Simulation**, 48: 33–46, (1998)
- [8] Chow, T.T.; He, W.; Ji, J. Hybrid photovoltaicthermosyphon water heating system for residential application, **Solar Energy**, 80: 298–306, (2006)
- [9] Ji, J.; He, H.; Chow, T.; Pei, G.; He, W.; Liu, K. Distributed dynamic modeling and experimental study of PV evaporator in a PV/T solar-assisted heat pump. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 52: 1365–1373, (2009).
- [10] Tiwari, A.; Sodha, M.S. Parametric study of various configurations of hybrid PV/thermal air collectors: Experimental validation of theoretical model. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 91: 17–28, (2007).
- [11] Talbot, P.; Lhote, M.; Heilporn, C.; Schubert, A.; Willaert, F.-X.; Haut, B. Ventilated tunnel solar dryers for small-scale farmers communities: Theoretical and

- practical aspects, *Drying Technology*, 34: 1162–1174, (2016)
- [12] Duffie, J.A.; Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes; John Wiley Sons: **Hoboken, NJ**; Chapter 12, pp. 487–497, USA, (1980)
- [13] Prapas, D.E.; Veliannis, I.; Evangelopoulos, A.; Sotiropoulos, B.A. Large DHW solar systems with distributed storage tanks, *Sol. Energy*, 35: 175–184, 81995)
- [14] Chang, K.C.; Lin, W.M.; Lee, T.S.; Chung, K.M. Local market of solar water heaters in Taiwan: Review and perspectives, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 13: 2605–2612, (2009)
- [15] Lin, W.M.; Chang, K.C.; Liu, Y.M.; Chung, K.M. Field surveys of non-residential solar water heating systems in Taiwan, *Energies*, 5: 258–269, (2012)
- [16] Karagiorgas, M.; Botzios, A.; Tsoutsos, T. Industrial solar thermal applications in Greece economic evaluation, quality requirements and case studies. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 5: 157–173, (2001)
- [17] Garg, H.P. Design and performance of a large-size solar water heater, *Sol. Energy*, 14, 303–312, (1973)
- [18] Sheremet M.A., The influence of cross effects on the characteristics of heat and mass transfer in the conditions of conjugate natural convection, *J. Engineering Thermophysics*, 19(3): 119–127, (2010)
- [19] Jiao B., Qiu L.M., Zhang X.B., Zhang Y. Investigation on the effect of filling ratio on the steady-state heat transfer performance of a vertical two-phase closed thermosyphon, *Appl. Therm. Eng.*, 28: 1417–1426, (2008)
- [20] Harley C., Faghri A. A complete transient two-dimensional analysis of two-phase closed thermosyphons including the falling condensate film, *ASME. J. Heat Transfer*, 116: 418–426, (1994)
- [21] J. R. Wixson. Function Analysis and Decomposition Using Function Analysis Systems Technique. *International Council on Systems Engineering Annual Conference (INCOSE '99)* June 6, 1999 – June 10, 1999



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



A proposal of novel performance criterias development for shopping malls

Alışveriş merkezleri için yeni performans kriterleri geliştirme önerisi

Yazar(lar) (Author(s)): Emine Elif NEBATİ¹, İsmail EKMEKÇİ²

ORCID¹: 0000-0002-3950-4279

ORCID²: 0000-0002-2247-2549

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Nebati E. E, ve Ekmekçi İ., “A proposal of novel performance criterias development for shopping malls”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 495-507, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.470617

A Proposal of Novel Performance Criterias Development for Shopping Malls

Araştırma Makalesi / Research Article

Emine Elif NEBATİ*, **İsmail EKMEKÇİ**

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Türkiye

(Geliş/Received : 02.06.2018 ; Kabul/Accepted : 15.10.2018)

ABSTRACT

Shopping malls are not only perceived as a place for shopping by customers; but also a place for resting, having fun, and socializing. Given the increase in the number of shopping malls and the necessity in order to meet the expectation of customers, innovative studies are needed. In this study, a novel model is developed by setting shopping malls performance criteria to contribute to the progress and performance measurement of shopping malls, which have a significant place in our daily lives. Each criterion is set after interviews with experts who are outstanding in their fields and have management experience in the mall sector. To the best of our knowledge, this study is the first in the literature in terms of presenting a novel model to evaluate performance of shopping malls. Also, this study aims to fill the gap in the literature in this field and make a positive contribution to the shopping mall sector by its original and comprehensive (for all areas in this sector) criterias.

Keywords: Shopping malls, performance measurement, performance criteria.

Alışveriş Merkezleri İçin Yeni Performans Kriterleri Geliştirme Önerisi

ÖZ

Alışveriş merkezleri sadece bir alışveriş mekânı olarak değil, tüketiciler tarafından dinlenme, eğlenme ve sosyalleşme mekânı olarak algılanmaktadır. Alışveriş merkezleri sayısındaki artış ve tüketici beklentilerini karşılayabilme gerekliliği ile birlikte yenilikçi çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, hayatımızda önemli yeri olan alışveriş merkezlerinin gelişimine ve performans ölçümüne katkı yapılması amacıyla alışveriş merkezi performans kriterleri belirlenerek, bir model önerisi geliştirilmiştir. Belirlenen kriterlerin her biri kendi alanında etkin ve alışveriş merkezi sektöründe yöneticilik yapmış kişilerle görüşülerek belirlenmiştir. Bildiğimiz kadarıyla bu çalışma, alışveriş merkezlerinin performansını değerlendirmek için yeni bir model sunmak açısından literatürdeki ilk çalışmadır. Bu çalışma ile, sunulan kriterlerin alışveriş merkezi sektörü için tüm alanları kapsayıcı ve alanında özgün olması sebebiyle, bu alanda literatürdeki eksikliğin giderilmesi ve alışveriş merkezi sektörüne olumlu katkı yapması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alışveriş merkezleri, performans ölçümü, performans kriterleri.

1. INTRODUCTION

As people's traditional consumption habits have changed, so too have shopping places. Shopping places have taken different forms and shapes in the past; the shopping mall is the most recent form. The concept of the shopping mall is of big structures in which different needs are met, that include plenty of shopping stores, are considered as life and entertainment centers, and located in the city center or periphery. We can say that Western-style shopping styles and behaviors have become widespread in Turkey. Shopping malls are no longer visited for only shopping, but have been turned into places also hosting social, cultural, and entertaining activities. And also, shopping malls are dynamic environment, in which shops change, promotions appear and disappear continuously [1]. Turkey's first mall was Galleria in the Ataköy district of Istanbul, which came

into use in 1988. Following the 2000s, the numbers of chain stores, entertainment centers, and showrooms have increased. This progress also spread to Anatolia. Plenty of malls have been constructed since 1988. The increasing numbers of shopping malls by year and city, according to Turkey's Council of Shopping Centers 2017 report, are specified below. The development of the Shopping Centers and Investors Association, by city and year, according to the activity report of 2017, is given below [Fig.1] and [Fig.2]. As malls' numbers have increased, the competition is rising. This competition pushes executives to follow progression closely and to develop successful administrative and advertising strategies to attract target customers. It may be said that, related to increasing numbers of shopping malls and tougher competition, innovative developments/solutions, which satisfy modern needs, are required. Diversity in social activities responding to customer needs, originality in architecture, and valuing children are the leading factors.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : eenebati@ticaret.edu.tr

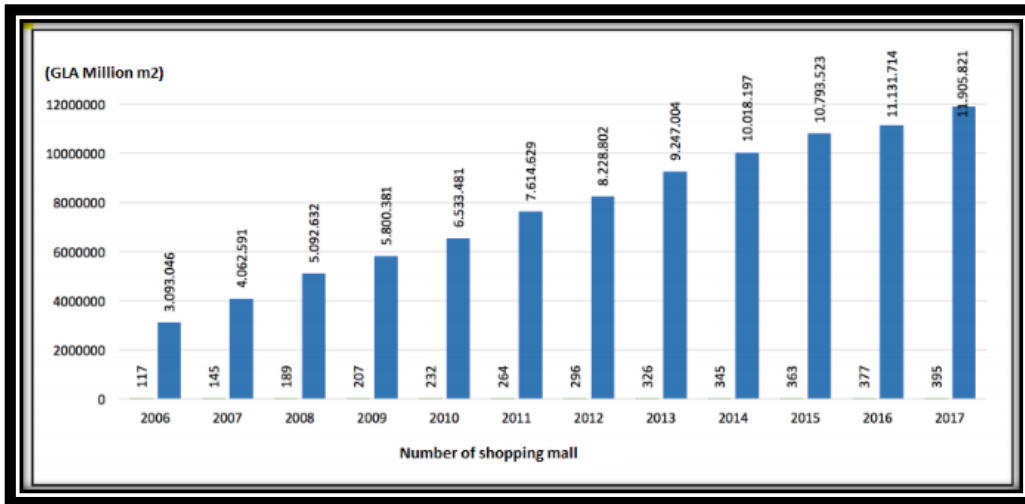


Fig.1. Development of malls by year, council of shopping centers (AYD report,2017)

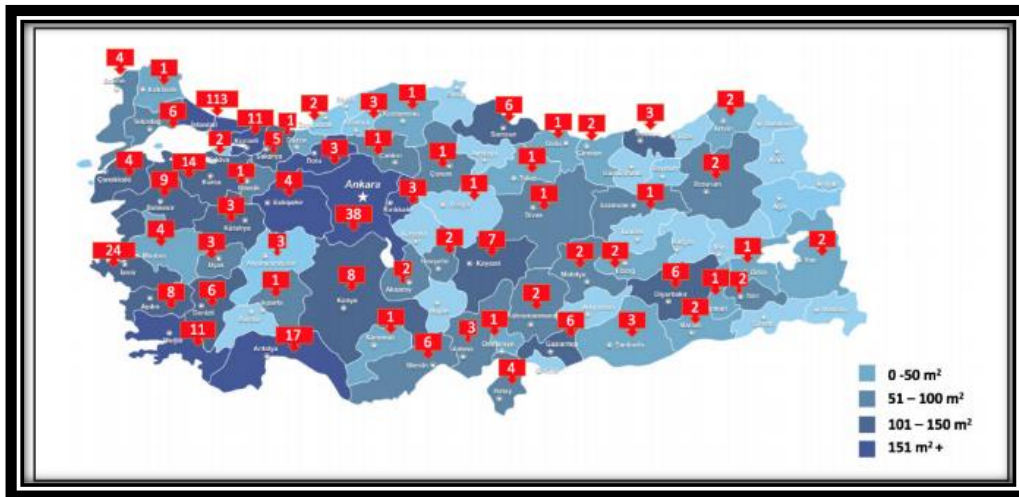


Fig.2. Development of malls by city, council of shopping centers (AYD report,2017)

In this study, we present a novel performance index model for shopping mall. In this model, we use following main criteria; like green building, investor, tenant, visitor, turn-over, and social life, and secondary criteria related to each, and with the help of literature research and expert opinions. The rest of the paper organized as follows; in section 2 we conducted a comprehensive literature review, in section 3; we presented the performance index model for shopping centers. And finally we addressed conclusion and discussion in the last section

2. LITERATURE REVIEW

The rapid increase in the number of shopping malls that has a crucial place in people’s daily lives necessitates examination of these centers’ positive and negative effects scientifically. It is observed that plenty of studies discussing different sides of shopping malls have been published in the national and international literature. Some of these studies on malls are summarized below.

Kirk L. Wakefield and Julie Baker studied (1998) individuals’ desire/motivation to spend time in a mall, and three factors that affect shopping enthusiasm: tenant diversity, the atmosphere of the mall, and participation in shopping [3]. E. Cengiz and B. Özden, (2002) examined buying behavior and conduct research on factors that influence visitors and tenants in preferring the shopping mall. In the study, researchers discuss visitors’ reasons for preference, what characteristics of malls are liked by customers, and what services provided by the mall are liked and used [4,5]. Kristy E. Reynolds and others’ (2002) compared traditional malls and factory outlets’ shopper typologies and discussed implications for retail strategy [6]. Ibicioglu’s (2005) research aimed to examine visitors’ demographic characteristics and visitors’ behaviors. He suggests that malls need to develop new strategies and alternatives for middle-aged and elderly adults. This study, which is assisted by statistical techniques, demonstrates that there is a strong tie between education level and going out/having fun, income level, and visiting frequency [5,7]. Akat and

others' (2006) made a study regarding buying behaviors of customers' in a mall in Bursa. In the study, a correlation is observed between customers' age and shopping frequency, education level, and paying methods [8]. In his research, Muhammed Ismail el-Adly (2006) emphasizes that to enhance the development of malls, more academic research is needed. His study aims to evaluate malls according to different shopper typologies. He concludes that different locations and designs are necessary for different typologies [9]. Ilter and others' (2009) aimed to classify the high school students' expectations regarding malls with the Kano model. It is defended that, to attract youngsters, mall administrations need to make restaurants, cafes, and movie theaters attractive; as a result, youngsters would spend much more time in malls. This study shows that, with the help of sustainable originality and fulfilling expectations permanently, customer satisfaction would increase [5,10]. Jean Charles Chebat and other's (2010) approached branding in the retail sector. This study sought an answer to the question of how 'the best mall image' is constructed; in this respect evaluation factors, like store atmosphere, price, and advertising, are discussed [11]. Hülya Bakırtaş (2010) investigated the effect of in-store atmosphere on consumption emotions. The method of the study is based on the hypothesis tests developed with the data obtained from the consumers with an improved questionnaire [12]. Asiltürk (2010) emphasized that the positioning of shopping malls in the market considering education, age, income and social class is important in terms of the integrity of the businesses and their long-term sustainability [13]. Köksal and Emirza (2011) dealt with the site selection of retail stores in the mall and on the high streets, and mall managers' approaches. They also made a suggestion about site selection for new retail stores. The study concludes that high rents and prices are needed to be reduced in malls; and issues like the parking lot, cleaning, and social activities are needed to be enhanced in high street stores [5,14]. Çelik, (2011) defended that customers' expected service quality is higher than perceived service quality in malls, and that this gap affects customer satisfaction negatively. The study concludes that retailing businesses' service and customer care are sometimes inadequate [5,15]. Akıncı (2013) examined customer behaviors of teenagers (13–19 age group) with 104 subjects. The study concludes that going to malls are the most preferred leisure activity, and some factors like location of the mall and its distance to the subject's home are the leading agents teenagers mall choices [16]. Yuzhen Shang and others (2016) investigated the indoor air quality during the summer in Western China using subjective survey and field measurement. The research makes a contribution to knowledge regarding discomfort in malls by investigating air conditioning systems within the stores and contaminants [17]. Narjes Haj-Salem and others (2016) researched what factors drive mall loyalty of male and female shoppers. For females, mall atmosphere,

design, and perceived service quality are determinants of mall loyalty. For males, the mall atmosphere and prices are the primary factors. This study aims to explain how service and product quality, prices, and mall atmosphere affect the mall loyalty of male and female shoppers [18]. Amit Mittal and Deepika Jhamb (2016) discussed determinants of shopping mall attractiveness. They found that merchandising, variety, milieu, and convenience are these determinants. This defends the idea of a close relation between motivations of Indian shoppers and the rest of the world [19]. Bikrant Kesari and Sunil Atulkar (2016) explained the positive correlation between mall shoppers' satisfaction and shopping values. The study aims to help mall owners to acquire a competitive advantage, attract new customers, and keep their profitable customers by enhancing customer satisfaction [20]. Johan Anselmsson (2016) examined the positive relation of developments in the mall sector to boosted sales figures and to visiting frequency. Moreover, he is seeking for an answer as to how to compete with online shopping, which has increased in the last decade [21]. Muhammed Ismail el-Adly and Riyad Eid (2016) researched perceived value, shopping atmosphere, customer satisfaction, and loyalty in UAE by structural equation modeling. Their findings defend that mall atmosphere has a positive impact on customer satisfaction [22]. İçal ve Aliağaoğlu (2016) reported that there was a significant relationship between the marital status of the consumers, their education and the frequency of visiting shopping malls [23]. Wessam el-Abd and others (2017) investigated the design of roof windows in the context of daylight performance. This paper suggests new designs to optimize daylight performance, and also gives a shopping mall from Cairo as an example [24]. Gopal Das and Geetika Varshneya (2017) proposed a model that helps to better understand customers' feelings in malls. This model includes the mall atmosphere, customers' feelings, and reactions [25]. As it is seen in the above-mentioned studies, there is no peer to the holistic model we propose, which covers every issue regarding malls. This research aims to fill the gap in the literature.

3. THE PROPOSED PERFORMANCE CRITERIAS

Shopping malls, are a cluster of independent shops, planned and developed by one or several entities, with a common objective [1]. Shopping malls, which are increasing in number day-by-day, give customers opportunities to have fun in addition to the shopping service. In this competitive atmosphere, performance evaluation has grown in importance. Decision making is one of the most important activities in the business world. Managers need accurate and reliable estimates for decisions. In doing so, it is better to take scientific measures into consideration [26]. Performance measurement is one of the methods that can be used when making decisions. The most significant phase of the performance evaluation is setting proper criteria. Many criteria are taken into account in the malls' performance

evaluation. The model we suggest for the mall sector has 140 criteria, of which six are main criteria and 134 sub-criteria. Literature about the sector is reviewed before setting these criteria. Following the review, issues not being covered in the literature and prominent concepts are decided. We put the finishing touches to criteria by interviewing with experts in the mall sector.

In the hierarchical structure model, the main criteria are specified at Level 1, and sub-criteria are specified at Levels 2, 3, and 4. Main criteria of the mall performance index are in Fig. 3. Sub-criteria diagram of each main criterion is given in the examples.

Green buildings are the product of rising sustainability and innovation trends in the real estate sector. These buildings allow us to live more healthily. In order to obtain higher standards they provide more efficiency, health, and comfort, and less pollution. As for the site selection of the structure, in all phases, these nature-friendly and economical buildings are compatible with the life cycle, suitable for nature, constructed by eco-friendly materials, and their energy needs are supplied by energy-efficient, renewable resources. The increasing popularity of green buildings over recent decades obliges us to take related concepts into account; the descriptive chart and hierarchical structure of criteria for green buildings in our model are specified in Fig.4 and Table 1.

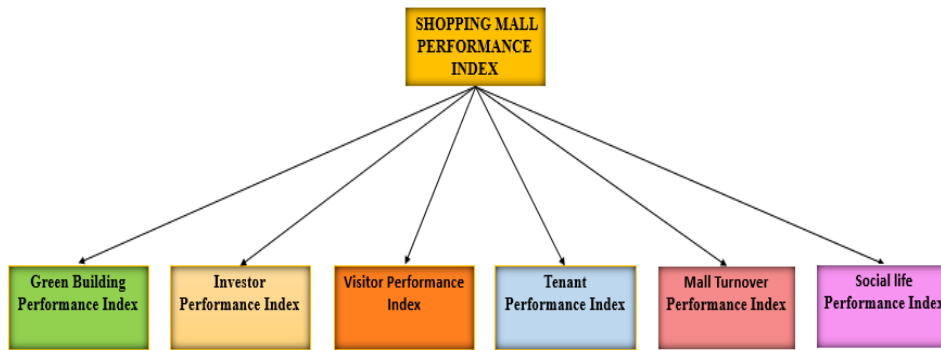


Fig.3 Hierarchical structure of shopping mall performance index main criteria

3.1. Green building performance index

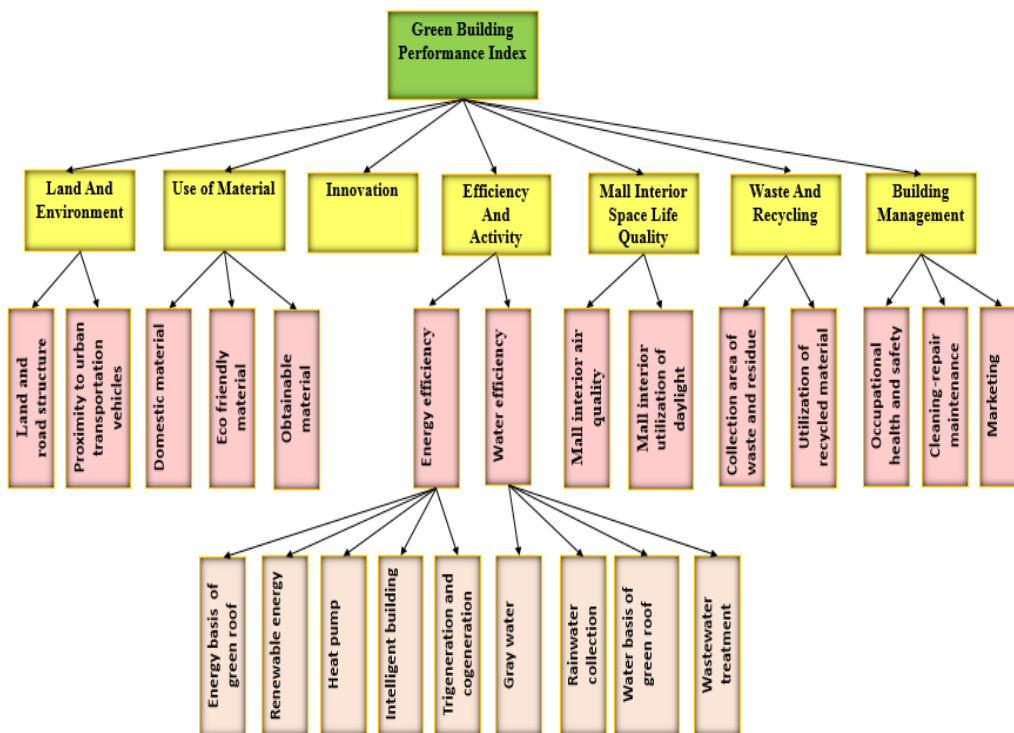


Fig.4. Hierarchical structure of green building performance index

Table 1. The explanations of criteria determined in green building performance index

	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIAS
Level 1 Criterion 1	Green Building Performance Index	The criterion that determines the importance of green building concept for shopping mall performance index
Level 2 Criterion 1	Efficiency and Activity	The criterion that determines the importance of water and energy efficiency for green building performance
Level 2 Criterion 2	Innovation	The criterion that determines the importance of activities such as; having firsts, offering differentiating services, renewal in interior and exterior design in green building performance
Level 2 Criterion 3	Land and Environment	The criterion that determines the importance of land structure, transportation facilities in green building performance
Level 2 Criterion 4	Use of Material	The criterion that determines the importance of domestic materials, environmentally friendly materials and recyclable materials in green building performance
Level 2 Criterion 5	Mall Interior Space Life Quality	The criterion that determines the importance of activities in green building performance that may affect the basic quality of life in shopping mall such as; quality of indoor ventilation, quality of daylight utilization
Level 2 Criterion 6	Waste and Recycling	The criterion that determines the importance of waste and waste collection, usage of recycled material in green building performance
Level 2 Criterion 7	Building Management	The criterion that determines the importance of building management in the shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 1	Water Efficiency	The criterion that determines the importance of water use efficiency in green building performance

Level 3 Criterion 2	Energy Efficiency	The criterion that determines the importance of energy use efficiency in green building performance
Level 3 Criterion 3	Proximity To Urban Transportation Vehicles	The criterion that determines the importance of shopping mall location, proximity to public transport, in green building performance
Level 3 Criterion 4	Land and Road Structure	The criterion that determines the importance of shopping center land and road structure suitability in green building performance
Level 3 Criterion 5	Domestic Material	The criterion that determines the importance of the use of local materials in shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 6	Eco-Friendly Material	The criterion that determines the importance of sing environmentally friendly materials in shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 7	Obtainable Material	The criterion that determines the importance of a product or material that previously used inside or outside the shopping mall
Level 3 Criterion 8	Mall Interior Air Quality	The criterion that determines the importance of ventilation in shops and places in shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 9	Mall Interior Utilization of Daylight	The criterion that determines the importance of sunlight in shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 10	Collection Area Of Waste And Residue	The criterion that determines the importance of waste and residual landing points in shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 11	Utilization of Recycled Material	The criterion that determines the importance of use of recycled materials in the shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 12	Marketing	The criterion that determines the importance of marketing activities in shopping mall for green building performance

Level 3 Criterion 13	Cleaning-Repair Maintenance	The criterion that determines the importance of activities of cleaning, repair, maintenance in shopping mall for green building performance
Level 3 Criterion 14	Occupational Health And Safety	The criterion that determines the importance of the activities of occupational health and safety in shopping mall for green building performance
Level 4 Criterion 1	Rainwater Collection Systems	The criterion that determines the importance of using rainwater harvesting system in water efficiency, for green building performance
Level 4 Criterion 2	Water Basis of Green Roof	The criterion that determines the importance of using green roof systems in water efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 3	Gray Water	The criterion that determines the importance of using gray water system in water efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 4	Wastewater Treatment	The criterion that determines the importance of using gray water system in water efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 5	Intelligent Building	The criterion that determines the importance of using intelligent building system in energy efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 6	Heat Pump	The criterion that determines the importance of using heat pump system in energy efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 7	Renewable Energy	The criterion that determines the importance of using renewable energy system in energy efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 8	Trigeneration and Cogeneration	The criterion that determines the importance of using trigeneration and cogeneration system in energy efficiency for green building performance
Level 4 Criterion 9	Energy Basis of Green Roof	The criterion that determines the importance of using green roofing system in energy efficiency for green building performance

3.2. Investor performance index

Mall investors can be defined as intermediaries providing a good shopping experience, creating added value in the retail sector, contributing to the improvement of the sector, and constructing world-class places that intertwine with cities. The descriptive chart and hierarchical structure of criteria, taking into account concepts regarding the mall sector that are emphasized by investors, are specified in Fig.5 and Table 2.

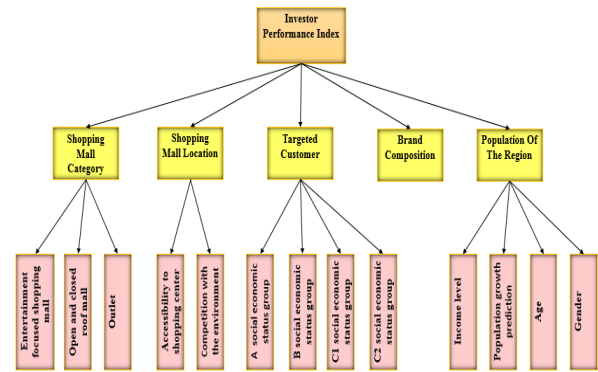


Fig 5. Hierarchical structure of investor performance index

Table 2. The explanations of criteria determined in investor performance index

	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIA
Level 1 Criterion 2	Investor Performance Index	The criterion that determines the importance of green building concept in shopping mall performance
Level 2 Criterion 8	Shopping Mall Category	The criterion that determines the importance of shopping mall classified as entertainment-based, open-air in investor performance
Level 2 Criterion 9	Brand Composition	The criterion that determines the importance of the brand structure to be formed in the shopping mall in investor performance
Level 2 Criterion 10	Shopping Mall Location	The criterion that determines the importance of shopping mall location in investor performance
Level 2 Criterion 11	Targeted Customer	The criterion that determines the importance of visitor group which targeted to come to the shopping mall in investor performance
Level 2 Criterion 12	Population of The Region	The criterion that determines the importance of demographics in shopping mall environment in investor performance
Level 3 Criterion 15	Entertainment Focused Shopping Mall	The criterion that determines the significance of the entertainment-themed shopping center in the context of investor performance

Level 3 Criterion 16	Open and Closed Roof Mall	The criterion that determines the importance of fully closed or partially open shopping mall structures in investor performance
Level 3 Criterion 17	Outlet	The criterion that determines the importance of the shopping center where investors mainly sell end-of-season products in investor performance
Level 3 Criterion 18	Accessibility To Shopping Center	The criterion that determines the importance of transport alternatives being very comfortable and convenient to the shopping center in investor performance
Level 3 Criterion 19	Competition With the Environment	The criterion that determines the importance of having different shopping center options in the targeted region in investor performance
Level 3 Criterion 20	A Social Economic Status Group	The criterion that determines the importance of the top class Socio-Economic Status group in investor performance. The social elite consists of noble families, wealth from at least 2-3 generations, major industrialists, senior managers and famous self-employed individuals.
Level 3 Criterion 22	C1 Social Economic Status Group	The criterion that determines the importance of the socio-economic status group, which is above the level of the middle, in investor performance. This group of professional professionals and managers together with C2 constitute a large part of the country.
Level 3 Criterion 23	C2 Social Economic Status Group	The criterion that determines the importance of Socio-Economic Status group under the medium level in investor performance. Officers, workers, small business owners (trades).
Level 3 Criterion 24	Age	The criterion that determines the importance of the average age of the target region in investor performance
Level 3 Criterion 25	Gender	The criterion that determines the importance of gender status in the targeted region to investor performance
Level 3 Criterion 26	Income Level	The criterion that determines the importance of the income situation in the targeted region to investor performance

Level 3 Criterion 27	Population Growth Prediction	The criterion that determines the importance of the future population situation in the targeted region in investor performance
----------------------	------------------------------	--

3.3. Visitor performance index

When we consider the growing number of malls and competition, businesses need to satisfy target customers to increase attraction and retention. Malls, which turn into social centers, are no longer places for shopping only; hence, they ought to offer entertainment, new experiences, and a broad range of products and services. Moreover, they need to be places that have a modern and attractive architecture, as well as open and green spaces. The descriptive chart and hierarchical structure of criteria, which are set in the light of mall visitors' expectations, are specified in Fig.6 and Table 3.

Table 3. The explanations of criteria determined in visitor performance index

	CRITERION	DEFINITIONS OF CRITERION
Level 1 Criterion 3	Visitor Performance Index	The criterion determining the importance of customers in shopping mall performance
Level 2 Criterion 13	Expectations of Visitor	The criterion determining the importance of visitor expectations in visitor performance
Level 2 Criterion 14	Satisfaction of Visitor	The criterion determining the importance of visitor satisfaction in visitor performance
Level 2 Criterion 15	Loyalty of Visitor	The criterion determining the importance of loyal visitor mass in visitor performance
Level 2 Criterion 16	Profile of Visitor	The criterion determining the importance of kind of visitor which coming to the shopping mall
Level 3 Criterion 28	Outdoor and Green Area Expectation	The criterion determining the importance of open and green area visits for visitors
Level 3 Criterion 29	Social Activity Expectation	The criterion determining the importance of social activities for visitors
Level 3 Criterion 30	Health and Fitness Service Expectation	The criterion determining the importance of health-sport service areas for visitors
Level 3 Criterion 31	Physical Elements Expectation	The criterion determining the importance of areas such as ventilation, lighting, cleaning, parking for visitors

Level 3 Criterion 33	Diversity in Service	The criterion determining the significance of the venues (eg VIP in the cinema) that differentiate the standard service offered at each shopping mall
Level 3 Criterion 34	Location	The criterion determining the importance of shopping mall location for visitor
Level 3 Criterion 35	Staff	The criterion determining the importance of shopping mall and store staff for visitors
Level 3 Criterion 36	Interior-Exterior Design	The criterion determining the importance of interior and exterior designs in shopping mall for visitors
Level 3 Criterion 37	Customer and Shopping Mall Prestige Relation	The criterion determining the importance of prestige in shopping center and importance of harmony between the targeted customer and incoming customers
Level 3 Criterion 38	Financial Expenditure Capacity	The criterion that determines the importance of the client's financial expenditure capacity in the shopping mall in visitor performance
Level 3 Criterion 39	Time Spent at Mall	In visitor loyalty, The criterion that determines the importance of the time that the customer spends in shopping mall
Level 3 Criterion 40	Frequency of Going To Mall	In visitor loyalty, The criterion that determines the importance of the frequency of the customer going to the shopping mall
Level 3 Criterion 41	Tourist Visitor	The criterion determining the importance of the number of tourists in arriving visitors
Level 3 Criterion 42	Child Visitor	The criterion determining the importance of the number of children in arriving visitors
Level 3 Criterion 43	Male-Female Visitor	The criterion determining the importance of the number of adults (male and female) in arriving visitors

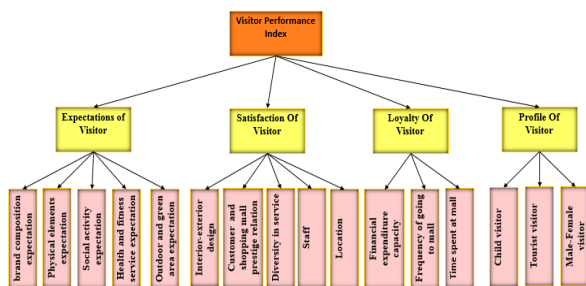


Fig.6. Hierarchical structure of visitor performance index

3.4. Tenant performance index

Tenants are intermediaries who establish the connection between producers of goods and end consumers. Businesses focus their attention on some criteria to maintain and increase their market share; therefore they need to enhance products, services, and processes in consideration of these criteria to meet customers' expectations. Definitions and hierarchical structure of the main and the subcriteria, having an impact on tenants' performance in malls, are specified in Fig.7 and Table

Table 4. The explanations of criteria determined in tenant performance index

	CRITERIA	DEFINITIONS OF CRITERIA
Level 1 Criterion 4	Tenant Performance Index	The criterion determining the importance of existing tenants in shopping mall performance
Level 2 Criterion 17	Tenant Expectations	The criterion determining the importance of tenants' expectations in tenant performance
Level 2 Criterion 18	Satisfaction of Tenant	The criterion determining the importance of The criterion for measuring the satisfaction of tenants
Level 2 Criterion 19	Performance of Store	The criterion determining the importance of The criterion for measuring tenants' store performance
Level 2 Criterion 20	Type of Tenant	The criterion determining the importance of the tenant's performance of being a national, local or international tenant
Level 3 Criterion 44	Physical Conditions	The criterion determining the importance of physical properties of the shopping center, such as ventilation, cleaning, lighting, etc.
Level 3 Criterion 45	Campaigns and Ads	The criterion determining the importance of campaigns and advertisements by the mall management in tenant performance
Level 3 Criterion 46	Request of Tourist Visitor	The criterion determining the importance of number of tourist visitors in tenant performance
Level 3 Criterion 47	The Right Brand Composition	For the tenant, the criterion indicating the importance of being in the right brand mix
Level 3 Criterion 48	Square Meter Leasable Area	The criterion determining the importance of the square meter leasable area for tenant satisfaction
Level 3 Criterion 49	Mall Management	For tenant satisfaction, the criterion that determines the importance of the mall managers and management policies
Level 3 Criterion 50	Rental Terms	The criterion determining the importance of rental conditions for tenant satisfaction

Level 3 Criterion 51	Storefront Lighting	The criterion that determines the importance of the shop window layouts for tenants
Level 3 Criterion 52	Staff	The criterion determining the importance of staff in store performance for tenant
Level 3 Criterion 53	Store Location	The criterion determining the importance of store location for store performance
Level 3 Criterion 54	Product Diversity	The criterion determining the importance of product variety for store performance
Level 3 Criterion 55	Domestic Brand Tenants	The criterion determining the importance of local tenants in tenant performance
Level 3 Criterion 56	National Brand Tenants	The criterion determining the importance of national tenants in tenant performance
Level 3 Criterion 57	International Brand Tenants	The criterion determining the importance of international tenants in tenant performance
Level 4 Criterion 10	Number of Personal	The criterion determining the importance of the number of personnel in store performance
Level 4 Criterion 11	Staff Training and Experience	Criterion determining the importance of educated and experienced personnel for store performance

3.5. Mall turnover performance index

Not all malls show the same performance. Some malls overtake their rivals in terms of turnover and efficiency. The aim to reach high turnovers constitutes the majority of the workload. The role turnover plays in malls changes vis-a-vis category, time, and brand. The descriptive chart and hierarchical structure of the criteria for turnover are specified in Fig.8 and Table 5.

Table 5. The explanations of criteria determined in mall turnover performance index

CRITERION		DEFINITIONS OF CRITERIA
Level 1 Criterion 5	Mall Turnover Performance Index	The criterion determining the importance of turnover concept in shopping mall performance
Level 2 Criterion 21	Category of Stores for Turnover	The criterion determining the importance of category classification in turnover performance
Level 2 Criterion 22	Brand Composition With Respect To Turnover	The criterion that determines which brand mix is important at the shopping mall: e.g. national, international, local
Level 2 Criterion 23	Turnover Classification With Time	The criterion determining the importance of the time-dependent changes in the shopping mall e.g. weekday, weekend, holiday, discount

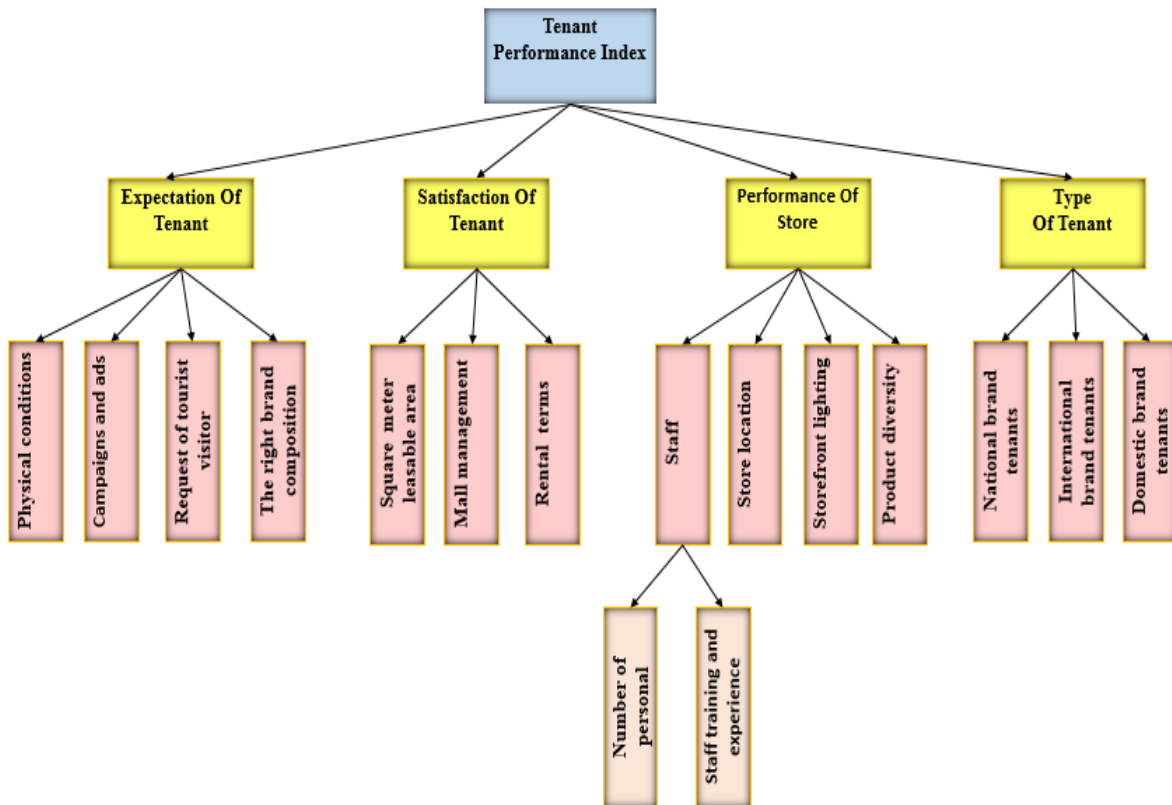


Fig 7. Hierarchical structure of tenant performance index

Level 3 Criterion 58	Food	The criterion that determines the importance of turnover in the food sector	Level 3 Criterion 69	Weekdays	The criterion that determines the importance of turnover in weekdays.
Level 3 Criterion 59	Hyper-Tech market	The criterion that determines the importance of turnover in the hyper-tech market sector	Level 3 Criterion 70	Weekend	The criterion that determines the importance of turnover in weekend
Level 3 Criterion 60	Entertainment	The criterion that determines the importance of turnover in entertainment sector	Level 3 Criterion 71	Holiday-Discount Days	The criterion that determines the importance of turnover in holiday and discount days
Level 3 Criterion 61	Fashion	The criterion that determines the importance of turnover in fashion sector	Level 4 Criterion 12	Women's Apparel	The criterion that determines the importance of women's wear in fashion sector
Level 3 Criterion 62	Electronic	The criterion that determines the importance of turnover in electronic sector	Level 4 Criterion 13	Men's Apparel	The criterion that determines the importance of men's wear in fashion sector
Level 3 Criterion 63	Home Textile	The criterion that determines the importance of turnover in home textile sector	Level 4 Criterion 14	Kids Apparel	The criterion that determines the importance of kids wear in fashion sector
Level 3 Criterion 64	Accessory,Optical, Clock, Jewelry	The criterion that determines the importance of turnover in Accessory, optical, clock jewelry sectors	Level 4 Criterion 15	Underwear	The criterion that determines the importance of underwear in fashion sector
Level 3 Criterion 65	Health-Care Cosmetics	The criterion that determines the importance of turnover in health-care and cosmetics sectors	Level 4 Criterion 16	Sportswear	The criterion that determines the importance of sportswear in fashion sector
Level 3 Criterion 66	Turnover in National Brands	The criterion that determines the importance of national brands in turnover performance	Level 4 Criterion 17	Department Stores	The criterion that determines the importance of department stores in fashion sector
Level 3 Criterion 67	Turnover in International Brands	Criterion determining the importance of international brands in turnover performance	Level 4 Criterion 18	Leather- Shoes	The criterion that determines the importance of leather and shoes stores in fashion sector
Level 3 Criterion 68	Turnover in Domestic Brands	Criterion determining the importance of local brands in turnover performance	Level 4 Criterion 19	Cafe-Restaurant	The criterion determining the importance of cafes and restaurants in catering sector
			Level 4 Criterion 20	Fast-Food	The criterion determining the importance of fast food places in catering sector

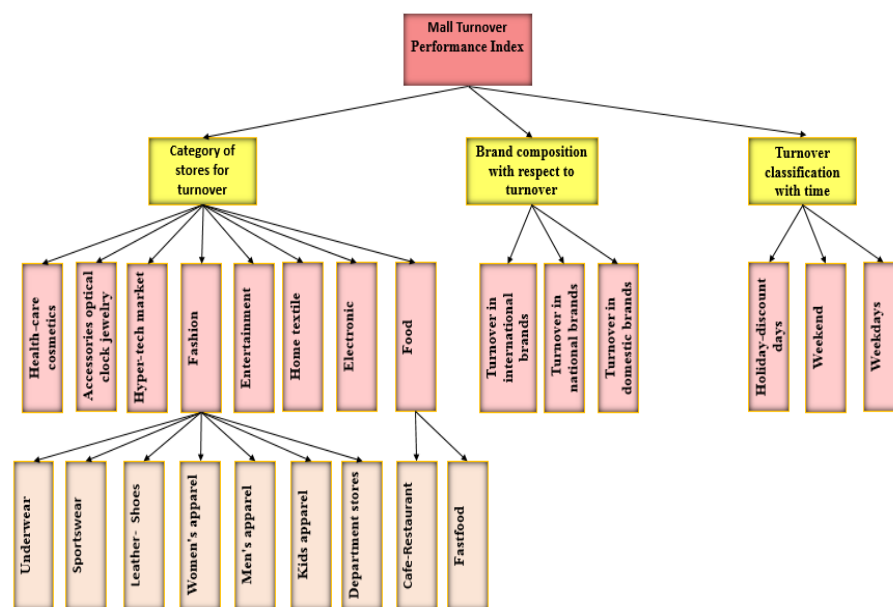


Fig 8. Hierarchical structure of mall turnover performance index

3.6. Social life performance index

Transforming economic institutions and global developments have made shopping malls an integral part of modern city life in Turkey since the 1980s. In addition to shopping, people go to malls in the summer months to avoid the heat, and in winter months to avoid the cold. Moreover, malls have become a hub for people to socialize, to participate in sports activities, to spend time with their children, to meet their friends, as well as to enjoy cultural activities such as theatre, cinema, and exhibition. Some main and sub-criteria are set in this context of malls' changing social role. Definitions and hierarchical structure of the criteria are specified in Fig.9 and Table 6.

Table 6. The explanations of criteria determined in social life performance index

CRITERION		DEFINITIONS OF CRITERION			
Level 1 Criterion 6	Social Life Performance Index	The criterion determining the importance of social life in shopping center performance	Level 3 Criterion	74	Art The criterion determining the importance of areas related to art in social areas.
Level 2 Criterion 24	Social Areas	The criterion determining the importance of places (cinema, theater, concert) that offer social life opportunities in the shopping center	Level 3 Criterion	75	Game Halls The criterion determining the importance of game halls in social areas.
Level 2 Criterion 25	Outdoor And Green Areas	For the shopping mall's social life, the criterion determining the importance of the open-green areas in shopping mall	Level 3 Criterion	76	Social-cultural Activities The criterion determining the importance of number of social and cultural activities in shopping center social life
Level 2 Criterion 26	Originality	The criterion determining the importance of shopping center to have different structures and services compared to other shopping malls in social life	Level 3 Criterion	77	Educational Activities The criterion determining the importance of the number of Educational activities in shopping center social life
Level 2 Criterion 27	Number Of Activity	For the shopping center's social life, the criterion determining the importance of activity numbers in shopping mall	Level 3 Criterion	78	Historical Building Structure For shopping mall social life, The criterion determining the importance of options, such as making it inspired by a historical structure or creating historical bazaar concepts in a part of shopping center or making the shopping center as a historical building
Level 2 Criterion 28	Building Design	The criterion determining the importance of the design inside and outside of the shopping center and stores	Level 3 Criterion	79	Modern Building Structure The criterion determining the significance of the construction of shopping centers as modern constructions in social life
Level 3 Criterion 72	Entertainm ent And education	The criterion determining the importance of areas related to recreation and education in social areas.	Level 4 Criterion	21	0-6 Age The criterion determining the importance of game halls which belonging to 0-6 age group in social areas
Level 3 Criterion 73	Fields of Sports And Recreational	The criterion determining the importance of areas related to Fields of sports and recreational in social areas.	Level 4 Criterion	22	6-15 Age The criterion determining the importance of game halls which belonging to 6-15 age group in social areas
			Level 4 Criterion	23	15-18+ Age The criterion determining the importance of game halls which belonging to 15-18+ age group in social areas
			Level 4 Criterion	24	Social-Cultural Activities For Kids The criterion determining the importance of social and cultural activity numbers for children in social areas
			Level 4 Criterion	25	Social-Cultural Activities For Adults The criterion determining the importance of social and cultural activity numbers for adults in social areas
			Level 4 Criterion	26	Educational Activities For Kids The criterion determining the importance of educational activity numbers for children in social areas
			Level 4 Criterion	27	Educational Activities For Adults The criterion determining the importance of educational activity numbers for adults in social areas

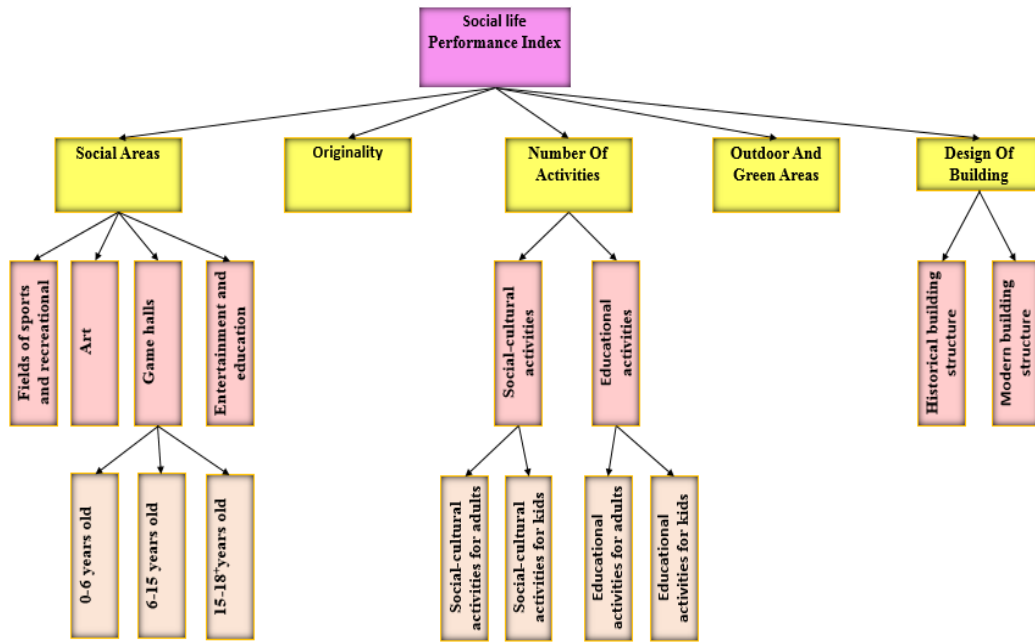


Fig.9. Hierarchical structure of social life performance index

4. CONCLUSION

Due to the highly competitive environment between business, the managers of the customer-centric companies try to attract more customers and to develop a lasting relationship with profitable customers [27, 28]. Also, competition is getting tougher in the mall sector. Malls that are managed well, enhance themselves with original and innovative methods, give importance to social life, and understand the customers' needs and provide solutions, overtake their competitors in this race. Therefore, making a proper analysis, comprehending supply and demand correctly, and setting up a project is more crucial now. While new generation malls are introduced, old ones renew themselves as needed. Shopping malls are no longer places that people go for shopping only; they have been turned into something that symbolizes a lifestyle with their architecture, services, social spaces, and activities. In the new era, only malls that are managed well, promote themselves with the right concept, and adapt themselves to the new normal will survive. In this study, six main criteria and 134 sub-criteria of them, which enable us to evaluate performance measurement in the mall sector, are set with the hierarchical structure. All of the main criteria in the proposed criterias are effective factors that play a role in evaluating the performance of shopping centers.

In this study, a model is developed by deciding significant concepts and issues of shopping malls. Before setting the criteria, crucial sectoral concepts in literature are reviewed, and criteria are examined in detail. Since then, the present author has interviewed five senior experts from the mall sector and revisited the research. It is hoped that the performance of shopping centers, which are important structures in the retail sector, together with

the model and criteria presented in the study, will allow for a more effective and easy evaluation. In addition, the study has a serious potential to make a positive

REFERENCES

- [1] Bajo J., Corchado J.M., Paz Y.D., Paz J.F., Rodriguez, S., Martín, Q., Abraham,A., "SHOMAS: Intelligent Guidance and Suggestions in Shopping Centres", *Applied Soft Computing*, 9(2): 851-862, (2009).
- [2] *Council of Shopping Centers Turkey* (AYD), Available from: http://www.ayd.org.tr/TR/PDFs/2017_faaliyet_raporu.pdf, (2018).
- [3] Wakefield K. L. and Baker J., "Excitement at the Mall: Determinants and Effects on Shopping Response", *Journal of Retailing*, 74(4): 515-39, (1998).
- [4] Cengiz E. and Özden B., "A study aimed at identifying the major shopping centers and consumers' attitudes with large shopping in retailing", *Ege University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 2(1): 65-78, (2002).
- [5] Köksal Y. and Aydın E.E., "A Comparative Investigation On Shopping Mall Perception Of Consumers: The Case Of Lakes Area", *Int. Journal of Management Economics and Business*, 11(24): 231-248, (2015).
- [6] Reynolds K. E., Ganesh J. and Luckett, M., "Traditional Malls vs. Factory Outlets: Comparing Shopper Typologies and Implications for Retail Strategy", *Journal of Business Research*, 55(9): 687-96, (2002).
- [7] İbicioğlu H., "Shopping Centers: An Investigation On Demographic Effect And Customer Attitudes", *Süleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 10(1): 43-55, (2005).

- [8] Akat Ö., Taşkın Ç. and Özdem A., "Buying Behaviour Of International Shopping Center Consumers: An Application In Bursa", *Journal of Anadolu University Social Sciences*, 2: 13-30, (2006).
- [9] El-Adly M.I., "Shopping Malls Attractiveness: A Segmentation Approach", *International Journal of Retail & Distribution Management*, 35(11): 936-950, (2006).
- [10] İlter B., Özgen Ö. and Aykol B., "Classifying Shopping mall Requirements Of High School Students Using KANO Model: An Application In İZMİR", *Journal of Dokuz Eylül University Faculty of Business*, 8(2): 141-162, (2007).
- [11] Chebat J. C., Sirgy M. J. and Grzeskowiak S., "How Can Shopping Mall Management Best Capture Mall Image?", *Journal of Business Research*, 63(7): 735–40, (2010).
- [12] Bakırtaş H., "The Effect of In-Store Atmosphere on Consumption Emotions and Purchasing Behavior in Shopping Centers", *PhD Thesis, Sakarya University*, (2010).
- [13] Asiltürk Ö., "Image of Shopping Centers and An Application in Shopping Centers in Ankara" (Unpublished Master's Thesis), *Gazi University*, (2010).
- [14] Köksal, Y., Emirza E., "A Comparison Of Shopping Malls And Street Stores As Regard To Choice Of Store Location: A Research In City Of Ankara", *Mustafa Kemal University Journal of Social Sciences Institute*, 8(16): 75-87, (2011).
- [15] Çelik H., "Perception Of Service Quality In Shop Centers And A Research", Suleyman Demirel University, *The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 16(3): 433-448, (2011).
- [16] Akıncı G.M., "Youth and Shopping Malls: A Case Study about Youth Preference in Mall Use", *Yıldız Technical University Faculty Of Architecture E-Journal Megaron*, 8 (2): 87-96, (2013).
- [17] Shang Y., Li B., Baldwin A.N., Ding Y., Yu W. and Cheng L., "Investigation of Indoor Air Quality in Shopping Malls during Summer in Western China Using Subjective Survey and Field Measurement", *Building and Environment*, 108: 1–11, (2016).
- [18] Haj-Salem N., Chebat J.C., Michon R. and Oliveira S., "Why Male and Female Shoppers Do Not See Mall Loyalty through the Same Lens? The Mediating Role of Self-Congruity", *Journal of Business Research*, 69 (3): 1219–1227, (2016).
- [19] Mittal A. and Jhamb D., "Determinants of Shopping Mall Attractiveness: The Indian Context", *Procedia Economics and Finance*, 37(16): 386–90, (2016).
- [20] Kesari B. and Atulkar, S., "Satisfaction of Mall Shoppers: A Study on Perceived Utilitarian and Hedonic Shopping Values", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 31: 22–31, (2016).
- [21] Anselmsson J., "Effects of Shopping Centre Re-Investments and Improvements on Sales and Visit Growth", *Journal of Retailing and Consumer Services* 32: 139–150, (2016).
- [22] El-Adly M.I. and Eid, R., "An Empirical Study of the Relationship between Shopping Environment, Customer Perceived Value, Satisfaction, and Loyalty in the UAE Malls Context", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 31: 217–227, (2016).
- [23] İçal H. and Aliğaoğlu A., "Demographic Structure and Characteristics of Consumers in Bursa Anatolium Shopping Center", *Balikesir University Journal of Social Sciences Institute*, 19(36): 1-30, (2016).
- [24] El-Abda W., Kamel B., Afify M. and Dorraa M., "Assessment of Skylight Design Configurations on Daylighting Performance in Shopping Malls: A Case Study", *Solar Energy*, 170: 358–368, (2018).
- [25] Das G. and Varshneya G., "Consumer Emotions: Determinants and Outcomes in a Shopping Mall", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 38: 177–85, (2017).
- [26] Erol V. and Başlıgil H., "Analytic Hierarchy Process And Artificial Neural Networks Model For Management Information Systems Software Selection In Companies", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4, (2005).
- [27] Fang K., Jiang Y. and Song M., "Customer profitability forecasting using Big Data Analytics: A case study of the insurance industry", *Computers & Industrial Engineering*, 101: 554–564, (2016).
- [28] Abdi F., Khalili K. And Damghani S., Abolmakarem, "Hybrid Soft Computing Approach based on Clustering, Rule Mining, and Decision Tree Analysis for Customer Segmentation Problem: Real Case of Customer-Centric Industries", *Applied Soft Computing Journal*, 73: 816-828, (2018).



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Functionalization of textile materials with nanoclay incorporation for improved characteristics

İyileştirilmiş özellik elde edilmesi amacıyla tekstil malzemelerinin nanokil katkısı ile fonksiyonelleştirilmesi

Yazar(lar) (Author(s)): İkilem GÖCEK

ORCID: 0000-0003-0682-5786

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Göcek İ., "Functionalization of textile materials with nanoclay incorporation for improved characteristics", *Politeknik Dergisi*, 22(2): 509-522, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.508592

İyileştirilmiş Özellik Elde Edilmesi Amacıyla Tekstil Malzemelerinin Nanokil Katkısı ile Fonksiyonelleştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İkilem GÖCEK*

Istanbul Technical University, Department of Textile Engineering, Istanbul, Turkey

(Geliş/Received : 04.05.2018 ; Kabul/Accepted : 06.09.2018)

ÖZ

Tekstil endüstrisi, tüketici taleplerini karşılayabilmek için yeni teknolojiler üzerine araştırmalar yapmaktadır. Günümüzde, üretim, terbiye ve kaplama işlemleri esnasında nanokompozit yapılar elde edilmesiyle tekstillere çok işlevlilik veya özel işlevler sağlanması için nanomalzeme uygulamaları öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, özellikleri iyileştirilmiş fonksiyonelleştirilmiş nanokompozit kumaş elde edilmesi amacıyla, farklı pamuklu kumaşların yapısına terbiye teknikleri yoluyla nano ölçekli parçacıklardan nanokiller katılmıştır. Testlerin analiz edilmesinden sonra, nanokil ile işlem görmüş pamuklu kumaşların işlem görmemiş kumaşlara göre daha iyi alev geciktiricilik özelliğine ve ısı kararlılığına sahip olduğu ve yıkamadan sonra işlevselliğin devamlılığının sağlandığı aynı zamanda da iyileştirilmiş kopma mukavemetine sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pamuklu kumaş, nanokil katkısı, alev geciktiricilik, yıkamaya dayanım, yanma davranışı.

Functionalization of Textile Materials with Nanoclay Incorporation for Improved Characteristics

ABSTRACT

Textile industry has been seeking for new technologies to meet consumer demands. Nowadays, nanomaterial applications during manufacturing, finishing and coating processes to produce nanocomposite structures has come into prominence for acquiring multifunctionality or special functions for textiles. In the current study, nano-scaled particles namely nanoclays were incorporated in the structure of different cotton fabrics via finishing techniques to develop functionalized nanocomposite fabric with improved characteristics. After analyzing the tests, cotton fabrics treated with nanoclay were found to possess better flame-retardant characteristics and thermal stability compared to the untreated ones with the durability of the functionality against washing as well as improved tensile strength.

Keywords: Cotton fabric, nanoclay incorporation, flame retardancy, durability to washing, burning behavior.

1. INTRODUCTION

Cotton, which is one of the most commonly used natural fiber in wide range of textile products, is preferred due to its outstanding characteristics including smooth handle and softness, hydrophilicity, sufficient breathability, high strength, durability, nonallergenic structure, good dyeability, regeneration, biodegradability and eco-friendliness [1-7]. Therefore, cotton is widely used for the production of apparel, home-textiles, furnishings and some industrial products such as tarpaulins, industrial threads and medical supplies [4,5]. However, due to its subsistent structure, textiles made of cotton fiber confront some problems associated with yellowing, wrinkling, photo-degradation and vulnerability to bacteria and mildew [1,3]. Moreover, due to its chemical composition, cotton is prone to flammability which can cause immediate combustion leading to flames and fire and

even it is known to be more combustible than its synthetic counterparts [2,4,6,7]. Today, in addition to comfort-related properties of textile products, textile industry has focused on development and production of multifunctional textiles possessing self-cleaning ability, antibacterial and nonallergenic properties, durability to photo-degradation, UV protection capability and flame-retardant characteristic. Furthermore, lately, owing to the environmental concerns regarding the production of synthetic fibers from crude oil, natural fibers especially cotton has become one of the most desired textile fibers. Therefore, the textile industry and the customers choose using smart natural textiles over synthetic textiles [3].

Recently, development and manufacturing of multifunctional fabrics made of cotton with high added-value have been attracting great attention in research projects and industry. Utilization of nanomaterials on cotton fabrics helps to improve inherent characteristics of cotton by the introduction of new functionalities to the final product including antimicrobial properties, abrasion

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : goceki@itu.edu.tr

resistance, gas barrier, protection to UV radiation, chemical resistance or reactivity, hydrophobicity or hydrophilicity, dyeability, self-cleaning, water repellency and flame retardancy [1, 3, 4, 7-10]. Numerous nanomaterials such as metal and metal oxide nanoparticles including silver, copper, MgO, ZnO, TiO₂ and others including carbon nanofibers and nanotubes, nanosilica, chitosan, hydroxyapatites, nanoclays have been employed to functionalize cotton for achieving better performance in many ways from the final product. However, amongst all, natural clay minerals have been drawing the most interest in research and development studies and have been shown to have great potential for being applied to many different fields in textile industry [1, 3, 7-33]. Therefore, owing to their distinctive characteristics and cost-effectiveness, many studies have been focusing on the application of nanoclays such as attapulgite, saponite, laponite, vermiculite, mica, hectorite, smectite, kaolin and montmorillonite to textiles [1, 3, 9, 10, 12, 13, 15-18, 21, 25, 27, 32, 34, 35]. In many previous studies, application of nanoclay minerals on cotton substrates were performed using different procedures and methods and investigated in terms of various functionalities such as flammability, super hydrophobicity, thermal and mechanical properties [6-10, 12, 15, 20]. In one study, montmorillonite was applied on cotton textile substrate via a commercial exhaustion dyeing-like process in order to obtain controlled release and flame retardancy, and the process was evaluated before and after laundering for washing fastness, binding stability and resistance to washing [1]. In some studies, layer-by-layer process and other coating techniques were employed to deposit polymer-clay nanocoatings on cotton substrates for different aims such as flame retardancy, super hydrophobicity and self-cleaning property [4, 5, 7, 8, 12, 20]. Moreover, in other studies, finishing processes based on impregnation method and washing was used to incorporate different nanoclays such as attapulgite, montmorillonite, organically modified montmorillonites in cotton substrates to improve their antibacterial and antifungal activity, UV resistance, mechanical properties, thermal performance and flame retardancy [3, 6, 9-11, 36].

The cellulosic material, cotton with a low limiting oxygen index and low combustion temperature is a highly combustible material. Owing to the rapid burn just after ignition and fast flame spreading over the surface, textiles made of cotton have potential to result in fatal burns just in a few seconds of ignition [5, 6]. Currently, the risk of fire and the danger incurred by the flammable structure of cotton can be eliminated or at least minimized by numerous flame-retardant treatments i.e. sol-gel technology, surface chemical grafting, nanoparticle adsorption, different coating techniques applied onto textiles which result in enhancement of the flame-retardant characteristics of cotton products and thereby fire safety regulations can be fulfilled as well as the use of cotton in textile products can be diversified. Furthermore, with the use of flame retardants, the

combustion process can be decelerated and there will be time both for the people to escape from uncontrolled fire and save their lives and for the firefighters to put out the fire before it results in severe hazard to lives and resources [2, 4, 5, 16, 37, 38]. Mainly, flame retardants used in these treatments can be categorized into four different groups which are inorganic, halogenated organic, organophosphorus, and nitrogen-based. However, recent environmental and health-related concerns regarding utilization of these chemical treatments including many chemicals on textile products have brought out a need for eco-friendly alternatives which promoted innovative research and development [4, 6, 30, 35, 39-41]. Although halogenated and boron-containing additives are one of the most commonly used flame-retardants with high effectiveness, halogenated flame retardants have been shown to be toxic and flame retardants containing boron are not durable to aqueous washing [5]. Phosphorus-based flame retardants are known to be the most commercially useful ones owing to their durability to repetitive washing, ability to decrease volatile fuel, pyrolysis temperature and afterglow and ability to augment carbonaceous char [5]. As an alternative eco-friendly material to current flame-retardants lately, nanoclays especially montmorillonite (MMT) have been used with polymeric materials in different coatings and in the production of nanocomposites, and incorporated in cellulosic fibers through surface modification, coating and finishing techniques since they have been shown to decrease flammability and pile up heat resistance and thermal stability even at very small amounts of clay [5-7, 17-20, 22, 24 -33, 35, 37-51]. Nanocomposite textiles made of different synthetic fibers produced with nanoclays have been found to perform better in terms durability to fire compared to their counterparts made of pristine synthetic fibers [5, 18, 25, 27, 32, 34, 48]. Moreover, for some of the nanocomposite coatings of cotton fabrics, polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS), carbon nanotubes and MMT clays have been used as flame retardants. However, due to complex two-stage synthesis and high cost, POSS and carbon nanotubes have limited potential to be used in commercial products. On the other hand, combustion process of polymer and clay systems have been propounded to include a layer of protective charred ceramic surface formed in the course of polymer ablation, which has been demonstrated to decelerate the volatilization of combustible gas, prevent oxygen penetration resulting in reduced gas permeability, disrupt heat transfer and hinder degradation [5, 6, 18, 22, 24-27, 30, 38, 41, 48, 51, 52]. Therefore, at present, many studies have been concentrating on enhancing the flame retardancy of cotton products by the help of nanoclay utilization [4-7, 9, 10, 12, 20, 38].

Since today, providing multifunctionality or special functions for textiles is a requirement to satisfy customer expectations, for this goal, novel technologies that have the potential to lead to innovations have been investigated so far. Therefore, in this study, it was aimed

to produce a multifunctional cotton fabric by the treatment with the nanoclay Nanomer I.44P which was preferred due to its antibacterial activity previously demonstrated in the scientific literature [53]. Furthermore, the fabrics treated with the nanoclay Nanomer I.44P can be acknowledged as environmentally friendly since throughout the treatment no hazardous chemicals were used and the fabrics treated were made of natural and biodegradable fiber cotton [1, 3]. In addition to this, montmorillonite nanoclays are biodegradable and completely generated from naturally occurring resources which implies their environmentally friendliness [6, 10, 11, 19]. Especially, the nanoclay Nanomer I.44P is known as environmentally friendly flame retardant [24, 54]. On the other hand, the method used in the study is compatible with the conventional textile processes which means that the nanoclay Nanomer I.44P can be easily used in the textile industry for treating cotton fabrics via textile finishing processes improving the manufacturability of the product. In the study, after the nanoclay particles were successfully incorporated in the structure of three different types of cotton fabrics through finishing techniques for functionalization, the treated fabrics were evaluated in terms of homogeneity of the nanoclay distribution over the fabric surface, flame retardancy and burning behavior, durability of the functionality to washing and the change in tensile strength.

2. EXPERIMENTAL WORK

2.1. Materials

Three different types of plain weave 100% cotton fabrics in raw, conventional (desized and scoured) and optical brightened (desized, scoured and optical brightened) forms were purchased to be treated with the nanoclay and analyzed in terms of their fabric construction and basis weight as mass per unit area (Table 1).

Acetone and Ethyl alcohol were purchased from Riedel-de Haën and Merck, respectively. They were exploited to wash off contaminations from all of the fabric samples. Moreover, acetone was also used to clean the glass equipment by removing possible contaminations existing.

Distilled water was obtained in the laboratory by the utilization of Veolia Water Solutions and Technologies ELGA Pure Lab Option DV35 LA620. Distilled water was used to prepare the solutions with nanoclay, to wash the fabric samples just after immersing them in acetone, ethyl alcohol and tap water before the treatment with the solutions in order to remove any remaining

contaminations and to remove excessive amount of nanoclay on the fabric surface that was not incorporated into the fabric structure after the completion of the process in the Gyrowash.

The nanoclay Nanomer® I.44P, which is surface modified montmorillonite clay containing 35-45 wt% dimethyl dialkyl (C14-C18) amine was purchased from Sigma Aldrich and it was used to prepare the nanoclay solutions for the treatment of the fabric samples. It is known to have good heat stability, electrochemical property and antibacterial activity [53, 55].

2.2. Methods

2.2.1. Preparation of the treating bath

The solutions to be applied on the fabric samples were prepared with 1 wt% nanoclay using distilled water. Firstly, nanoclay was distributed in distilled water utilizing a hot plate with magnetic stirring effect by applying heat for 1 hour and the temperature was kept at around 60 to 63 °C. Wids Laboratory Instruments WiseStir MSH-20A was used as a magnetic stirrer and hot plate in order to homogeneously stir the solution with the application of heat and distribute nanoclays in distilled water.

Afterwards, the solutions were ultrasonicated by the help of Hielscher UP400S ultrasonicator for totally 1 hour with consecutive quadruple 15 minute-intervals and 2 minute-breaks in between the process intervals in order to obtain homogeneously distributed nanoclay particles in all over the solution by hindering the agglomerates both to form and precipitate at the bottom of the beaker and moreover in order to obtain separated nanoclay stacks by the help of sound waves with the amplitude of 65% and cycle of 0.8. Therefore, ultrasonicator was used in order to prevent formation of nanoclay agglomerates in the solution and obtain homogeneously distributed nanoclay particles.

2.2.2. Preparation of the fabric samples

The fabrics were cut into small pieces whose dimensions were determined depending on the size constraints of the containers of the Gyrowash machine which was as well sufficient enough for the sample sizes required by the techniques of characterization and the standards of the chemical and physical tests.

The fabric samples that were cut into small pieces from the three types of fabrics were immersed firstly, in acetone and then, ethyl alcohol in 1000 ml separate beakers. After the both immersions, they were washed with tap water and lastly, immersed in distilled water in order to remove any remaining contaminations.

Table 1. Fabric structural properties

Types of Cotton Fabrics	Fabric Density		Fabric Basis Weight (g/m ²)
	Warp (warp/cm)	Weft (weft/cm)	
Raw	46	36	1.3738
Optical Brightened	52	45	1.4132
Conventional	68	62	0.7065

In order to make fabric structural analysis i.e. fabric density and fabric basis weight on the three different fabric types, those without nanoclay treatment were conditioned at 65 ± 4 % relative humidity and 20 ± 2 °C temperature for 48 hours in the laboratory.

2.2.3. Treatment of the fabric samples

After the fabric samples were decontaminated, they were immersed in the prepared solutions with 1 wt% nanoclay in distilled water that were previously poured into the containers of the James H Heal Gyrowash with 4 containers. The liquor ratio was methodically adjusted as 1:40. The fabric samples were treated with this instrument for 1 hour at 60 °C by utilizing 25 steel balls in each container for mechanical agitation in order to be incorporated with nanoclays. A similar treatment with different nanoclays using a rotary drum washer was demonstrated in the literature [36].

Once the processing in the Gyrowash was completed, the fabric samples were taken out of the containers and right after that each sample was separately dipped up 5 times subsequently in distilled water inside different 1000 ml beakers to remove excessive amount of nanoclay on the fabric surface that was not incorporated into the fabric structure. Then, each of them were squeezed, laid on the racks of the oven that was heated up to 70 °C and left there for 30 minutes to be dried while being cured for providing bonding between nanoclay and cotton. An oven Thermo Scientific Heraeus T6 that can be heated up to 250 °C with the capacity of 57 L and interior depth of 386 mm was utilized for this purpose. After the process was over, the fabric samples were taken out of the oven and flat-dried by keeping at ambient temperature in atmospheric conditions over night.

To make the weight analysis and examine the tensile strength of the processed fabrics, conditioning was done at 65 ± 4 % relative humidity and 20 ± 2 °C temperature for 24 hours before the testing processes.

2.3. Tests and Characterization

2.3.1. Fabric density and basis weight analysis

For the determination of fabric density in warp and weft directions and fabric basis weight, the standards TS 250 EN 1049-2 (Textiles-Woven Fabrics-Construction-Methods of Analysis-Part 2 Determination of Number of Threads Per Unit Length) and TS 251 (Determination of Mass Per Unit Length and Mass Per Unit Area of Woven Fabrics) were used, respectively. The fabric basis weight was analyzed before and after the treatment with the nanoclay to ensure that the nanoclay particles were incorporated and existed in the fabric structure. On the other hand, it was also analyzed before and after the washing process to determine the durability of the fabric samples against washing in terms of loss and remaining amounts of nanoclay in the fabric structure.

2.3.2. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR-ATR)

The Fourier Transform Infrared Spectroscopy with Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR) was used for

analyzing the bond structure and bonding energy of the surfaces of the fabric samples treated with the nanoclay and hence, for getting information about the molecular structure and existence of bonds in the certain regions to identify the types of chemical bonds. Perkin Elmer Spectrum 65 FTIR-ATR Spectrometer was utilized in order to examine the presence and distribution of the nanoclay particles on the cotton fabric samples functionalized with the nanoclay. The FTIR-ATR spectra were taken at 64 scans in each analysis from 5 different regions of the surface of the cotton fabric samples in order to understand whether the nanoclay particles were incorporated and distributed evenly on the whole fabric surface after the treatment with the nanoclay and whether the nanoclay particles existed and stayed homogeneously distributed in the fabric structure after washing.

2.3.3. Scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS)

SEM micrographs were taken from the raw cotton fabric samples to observe whether the nanoclay particles were incorporated into the fabric structure and how they were distributed over the fabric surface after the treatment with the nanoclay and to visually demonstrate the presence of nanoclay particles and their distribution over the surface of the fabric sample after washing. For the morphology analysis of the untreated raw cotton fabric sample, nanoclay treated raw cotton fabric sample and its washed counterpart, Tescan Vega3 scanning electron microscope (SEM) operating at 10 kV was used. Before SEM analysis, gold/palladium sputtering which forms electrically conductive thin coating on the surface of the samples was conducted for each of them. This thin layer of gold/palladium hinders charging, lowers thermal damage, and enhances secondary electron emission, which are helpful for scanning electron microscopy. Quorum SC7620 sputter coater with a deposition rate of 0-10 nm/min having multi sample holder, completely automatic control and high resolution fine coating was employed for gold/palladium sputtering process.

A chemical microanalysis characterization method, Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) was employed in combination with scanning electron microscopy for the characterization of the elemental composition of the raw cotton fabric samples before and after the treatment with the nanoclay to demonstrate the presence of nanoclay particles in the structure of the fabric samples. The EDS system of EDAX was used in conjunction with the scanning electron microscope.

2.3.4. Tensile strength test

James Heal Titan 710 Strength Test Machine was used for the assessment of the tensile strengths of the cotton fabric samples before and after the treatment with the nanoclay particles in order to observe if any alteration as a decrease or as an improvement occurred owing to the treatment. The cotton fabric samples were tested in warp and weft directions with the cross-head speed of 100 mm/min according to the standard TS EN ISO 13934-1 (Textiles- Tensile properties of fabrics- Part 1:

Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method).

2.3.5. Vertical flame test

The burning behavior and flammability properties of the cotton fabric samples were analyzed with the vertical flame test in accordance with the standard TS 5775 EN ISO 6940 (Textile fabrics - Burning behavior - Determination of ease of ignition of vertically oriented specimens). The test was conducted before and after the treatment with the nanoclay particles in order to determine the effect of nanoclay incorporation into the fabric structure in terms of the change in the burning behavior and flammability properties of the fabric samples. In addition to this, the fabric samples were exposed to this test before and after the washing process to reveal the durability of the treatment against washing in terms of the change in the burning behavior and flammability properties of the fabric samples.

2.3.6. Thermogravimetric analysis (TGA)

The thermal decomposition behaviors of the nanoclay treated and untreated cotton fabrics were monitored and their thermal stability was determined using thermogravimetric analysis. TGA was conducted on a TA Q-600 Thermogravimetric Analyzer (TA Instruments) in the temperature range of 50-600 °C, at the heating rate of 10 °C min⁻¹ in the presence of N₂.

2.3.7. Analysis of durability against washing

For the determination of durability against washing, washing process was performed in accordance with the standard TS EN ISO 105-C06 (Textiles - Test for colour fastness - Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering). After this process, the fabric samples were line-dried at ambient temperature in atmospheric conditions over night and conditioned as in the previous conditioning process. Finally, the fabric samples were analyzed in terms of their weights before and after washing to observe if any change in the fabric weight in terms of nanoclay amount occurred owing to the washing process. The FTIR-ATR spectra were taken from 5 different regions of the surface of the fabric samples before and after washing to show the presence of nanoclay particles in all over the fabric structure remained after washing process. Moreover, SEM micrographs were taken for the raw cotton fabric samples before and after the washing process to visually demonstrate the existence of nanoclay particles and their distribution over the fabric samples after washing. The fabric samples were subjected to the vertical flame test before and after washing to determine if there was any change in their burning behavior and flammability properties.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Basis Weight Analysis

Fabric basis weight was analyzed for all the types of cotton fabric samples before and after the treatment with the nanoclay Nanomer I.44P. According to the analysis, the fabric basis weight was found to increase for all of the cotton fabric samples after the treatment as can be observed in Table 2 indicating the incorporation of the nanoclay particles in the cotton fabric samples.

3.2. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR-ATR)

Comparison of the FTIR spectra of the nanoclay, untreated Raw Cotton Fabric sample and Raw Cotton Fabric sample treated with the nanoclay can be seen in Figure 1 for further investigation in order to comprehend the changes in the peaks of the FTIR spectrum of the Raw Cotton Fabric after the nanoclay incorporation.

The FTIR spectrum of the nanoclay Nanomer I.44P can be seen in Figure 1. The characteristic peaks of the nanoclay Nanomer I.44P were obtained at 2917, 2848, 1467, 1115, 1021, 914, 887, 623 and 519 cm⁻¹ wavenumbers. While the hydrogen bonds were observed at about 2887-2919 cm⁻¹ and 992-999 cm⁻¹, the peaks at 2924 cm⁻¹ and 2848 cm⁻¹ indicated the stretching C-H aliphatic bonds. The stretching O-H bonds can be seen in the transmittance band in between 3594 cm⁻¹ and 3735 cm⁻¹ [55].

The FTIR spectrum of the untreated Raw Cotton Fabric samples can be observed in Figure 1. The characteristic peaks of the Raw Cotton Fabric were obtained at 723, 1017, 1054, 1101, 1160, 1242, 1337, 1408, 1713, 2899, 2973, 3279 and 3331 cm⁻¹ wavenumbers. The vibration at around 1733 cm⁻¹ is ascribed to C=O stretching vibration originating from esters or amides [56-58]. This vibration was obtained at 1713 cm⁻¹. O-H bending vibration of water molecules was obtained around 1627 cm⁻¹. The strong transmittance band in between 3000 cm⁻¹ and 3600 cm⁻¹ can be ascribed to O-H stretching vibration [56-58]. Two vibrations which are ascribed to intermolecular hydrogen bonds and intra-molecular hydrogen bonds were attained in this band at 3279 and 3331 cm⁻¹ wavenumbers, respectively [56-58]. The vibration at 1534 cm⁻¹ which possibly indicates proteins or amino acids can be ascribed to NH₂ deformation [56-58]. However, this vibration was located with a peak at 1505 cm⁻¹. C-O stretching of acetyl group was observed at 1368 cm⁻¹ [56-58]. The vibrations observed at 1337, 1315 and 1211 cm⁻¹ can be attributed to OH in plane bending [56-58]. The vibration occurred at 1242 cm⁻¹ can be ascribed to C=O stretching or NH₂ deformation [56-58]. The vibration which can be ascribed to C-O-C

Table 2. Basis weights of the fabric samples before and after the treatment with the nanoclay

Cotton Fabric Samples	Fabric Basis Weight (g/m ²)	
	Before the Treatment	After the Treatment
Raw	1.3738	1.4293
Optical Brightened	1.4132	1.4980
Conventional	0.7065	0.7421

stretching mode of the pyranose ring appeared at 1204 cm^{-1} [56-58]. The vibration which appeared at 900 cm^{-1} can be ascribed to β -linkage [56-58]. The anti-symmetric bridge C-O-C stretching vibration and anti-symmetric in-plane ring stretching vibration were located at 1160 cm^{-1} and 1101 cm^{-1} , respectively [56-58]. While the vibrations located at 1054 cm^{-1} and 1017 cm^{-1} can be ascribed to C-O stretching mode, the ones at 1000 cm^{-1} and 985 cm^{-1} can be ascribed to C-O and ring stretching modes [56-58]. The vibration at 710 cm^{-1} which can be ascribed to CH_2 rocking vibration in cellulose and the vibrations at 2918 and 2850 cm^{-1} which can be ascribed to $-\text{CH}_2$ asymmetric vibrations possibly originating from the presence of wax substances on the surface of the primary cell wall were obtained at 723 cm^{-1} and 2973 cm^{-1} and 2899 cm^{-1} [56-58].

Some peaks mainly at 3331 , 1713 , 1242 , 1054 and 723 cm^{-1} wavenumbers for the untreated Raw Cotton Fabric sample were found to disappear which was caused by the nanoclay Nanomer I.44P addition to the structure of the cotton fabric when the FTIR spectra of the untreated Raw Cotton Fabric sample and the sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P were compared (Figure 1). Moreover, some small shifts and/or intensity changes were obtained for the remaining peaks (Figure 1). Therefore, a very similar FTIR spectrum with the spectrum of the nanoclay Nanomer I.44P was obtained with a few slight differences for the treated Raw Cotton Fabric sample (Figure 1). It can be concluded that all of these differences were caused by the nanoclay addition to the fabric structure and were the sign of successfully imparted nanoclay Nanomer I.44P to the structure of the cotton fabric.

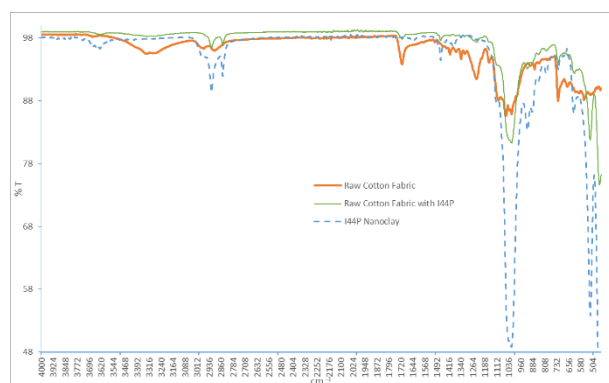


Figure 1. FTIR spectra of the Raw Cotton Fabric, Raw Cotton Fabric treated with Nanomer I.44P and the nanoclay Nanomer I.44P

Comparison of the FTIR spectra of the nanoclay, untreated Optical Brightened Cotton Fabric sample and Optical Brightened Cotton Fabric sample treated with

nanoclay can be seen in Figure 2 for further examination to understand the changes in the peaks of the FTIR spectrum of the Optical Brightened Cotton Fabric after the nanoclay incorporation.

The FTIR spectrum of the untreated Optical Brightened Cotton Fabric samples can be observed in Figure 2. The characteristic peaks of the Optical Brightened Cotton Fabric were obtained at 661 , 892 , 985 , 1000 , 1031 , 1055 , 1110 , 1160 , 1315 , 1337 , 1371 , 1428 , 2892 , 3276 and 3329 cm^{-1} wavenumbers. The strong transmittance band in between 3000 cm^{-1} and 3600 cm^{-1} can be ascribed to O-H stretching vibration [59]. Two vibrations which are ascribed to intermolecular hydrogen bonds and intramolecular hydrogen bonds were attained in this band at 3276 and 3329 cm^{-1} wavenumbers, respectively [59]. The vibration at around 2898 cm^{-1} is ascribed to CH_2 and CH_3 stretching vibration [59]. This vibration was obtained at 2892 cm^{-1} . O-H bending vibration of absorbed water molecules was obtained around 1627 cm^{-1} . The vibrations at 1426 , 1362 , 1334 and 1314 cm^{-1} can be ascribed to C-H and CH_2 bending vibrations [59]. However, these vibrations were located with the peaks at 1428 , 1371 , 1337 and 1315 cm^{-1} . The anti-symmetric bridge C-O-C stretching vibration of glycosidic ether in cellulose and hemicellulose and C-C ring breathing vibration were located at 1110 cm^{-1} and 1160 cm^{-1} , respectively [59]. C-OH bond of secondary alcohol was observed at 1055 cm^{-1} [59]. The vibration which can be ascribed to C-O stretching mode of cellulose and hemicellulose appeared at 1031 cm^{-1} [59]. The vibration which was located at 892 cm^{-1} can be attributed to β -Glycosidic linkage [59].

Some peaks mainly at 2892 , 1000 , 985 , and 892 cm^{-1} wavenumbers for the untreated Optical Brightened Cotton Fabric sample were found to disappear which were ascribed to the nanoclay Nanomer I.44P addition to the structure of the cotton fabric when the FTIR spectra of the untreated Optical Brightened Cotton Fabric sample and the sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P were compared (Figure 2). On the other hand, some new peaks appeared at 2920 , 2848 , 895 and 911 cm^{-1} wavenumbers in the FTIR spectrum of the Optical Brightened Cotton Fabric sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P (Figure 2). Moreover, some small shifts and/or intensity changes were obtained for the rest of the peaks (Figure 2). Therefore, some similarities occurred in between the FTIR spectrum of the treated Optical Brightened Cotton Fabric sample and that of the nanoclay Nanomer I.44P (Figure 2). All of these differences in between the untreated and treated Optical Brightened Cotton Fabric samples were attributed to the nanoclay inclusion to the fabric structure and indicated the successfully imparted nanoclay Nanomer I.44P to the structure of the cotton fabric.

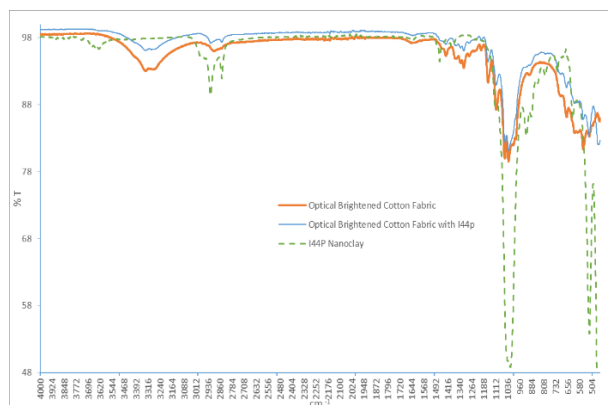


Figure 2. FTIR spectra of Optical Brightened Cotton Fabric, Optical Brightened Cotton Fabric treated with Nanomer I.44P and the nanoclay Nanomer I.44P

Comparison of the FTIR spectra of the nanoclay, untreated Conventional Cotton Fabric sample and Conventional Cotton Fabric sample treated with the nanoclay is shown in Figure 3 for further exploration to observe the alterations in the peaks of the Conventional Cotton Fabric because of the nanoclay incorporation.

The FTIR spectrum of the untreated Conventional Cotton Fabric samples can be observed in Figure 3. The characteristic peaks of the Conventional Cotton Fabric were obtained at 685, 900, 983, 999, 1028, 1053, 1109, 1161, 1207, 1279, 1315, 1334, 1363, 1425, 1630, 2893, 3275 and 3335 cm^{-1} wavenumbers. The strong transmittance band in between 3000 cm^{-1} and 3600 cm^{-1} can be ascribed to O-H stretching vibration [60]. Two vibrations which are ascribed to intermolecular hydrogen bonds and intra-molecular hydrogen bonds were attained in this band at 3275 and 3335 cm^{-1} wavenumbers, respectively [60]. The vibration which can be ascribed to C-H stretching vibration appeared at 2893 cm^{-1} [60]. O-H bending vibration of water molecules absorbed by cellulose was obtained around 1630 cm^{-1} [60]. The vibration located at 1455 cm^{-1} can be ascribed to OH in plane bending [60]. The vibration at around 1420 cm^{-1} is ascribed to CH_2 scissoring vibration at C(6) [60]. However, this vibration was located with a peak at 1425 cm^{-1} . C-H bending vibration was observed at 1363 cm^{-1} [60]. The vibrations observed at 1334 and 1315 cm^{-1} can be attributed to OH in plane bending and CH_2 wagging, respectively [60]. The vibration occurred at 1279 cm^{-1} can be ascribed to CH bending [60]. OH in plane bending vibrations were located at 1247 and 1207 cm^{-1} [60]. The asymmetric C-O-C stretching vibration and C-O stretching vibrations appeared at 1161 cm^{-1} and 1109 and 1053 cm^{-1} , respectively [60]. The vibrations which appeared at 999 and 900 cm^{-1} can be attributed to C-O valence vibration at C(6) and C-O valence vibration in cellulose I and II [60].

Some of the peaks mostly at 2893, 999, 983, and 900 cm^{-1} wavenumbers for the untreated Conventional Cotton Fabric sample were found to disappear which were attributed to the nanoclay Nanomer I.44P addition to the

structure of the cotton fabric when the FTIR spectra of the untreated Conventional Cotton Fabric sample and the sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P were compared (Figure 3). However, some new peaks appeared at 2919, 2852, 898 and 911 cm^{-1} wavenumbers in the FTIR spectrum of the Conventional Cotton Fabric sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P (Figure 3). Furthermore, some small shifts and/or intensity changes were obtained for the rest of the peaks (Figure 3). Thus, some similarities occurred in between the FTIR spectrum of the treated Conventional Cotton Fabric sample and that of the nanoclay Nanomer I.44P (Figure 3). The aforementioned differences in between the untreated and treated Conventional Cotton Fabric samples were ascribed to the nanoclay inclusion to the fabric structure denoting the successful impartation of the nanoclay Nanomer I.44P to the structure of the cotton fabric.

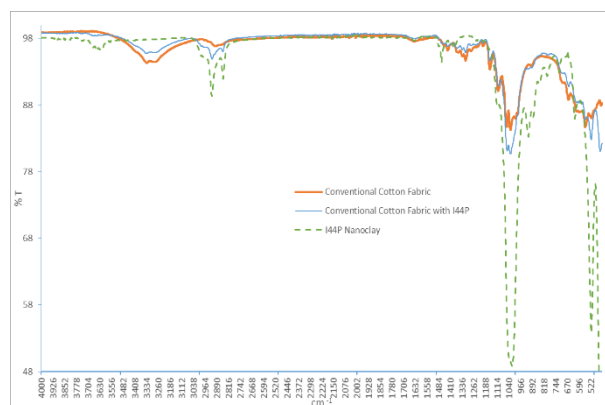


Figure 3. FTIR spectra of the Conventional Cotton Fabric, Conventional Cotton Fabric treated with Nanomer I.44P and the nanoclay Nanomer I.44P

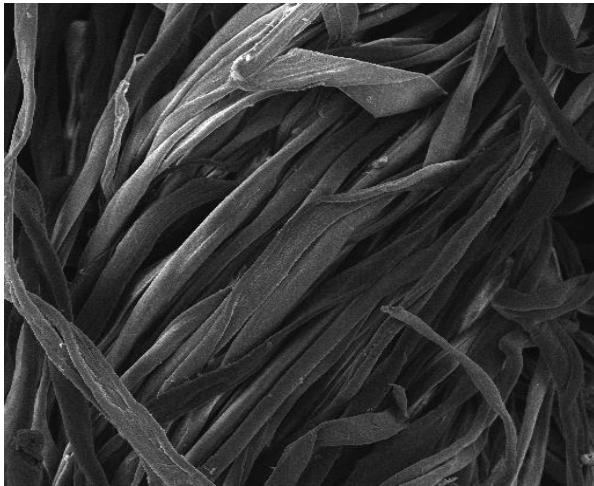
Since the nanoclay Nanomer I.44P was detected in every region of the treated fabric samples that were characterized by FTIR Spectroscopy from 5 different regions for each, it can be deduced that the nanoclay particles were present and homogeneously dispersed over the surface of the cotton fabric samples after the treatment with the nanoclay implying that the nanoclay incorporation in the cotton fabric structure was successfully accomplished.

3.3. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

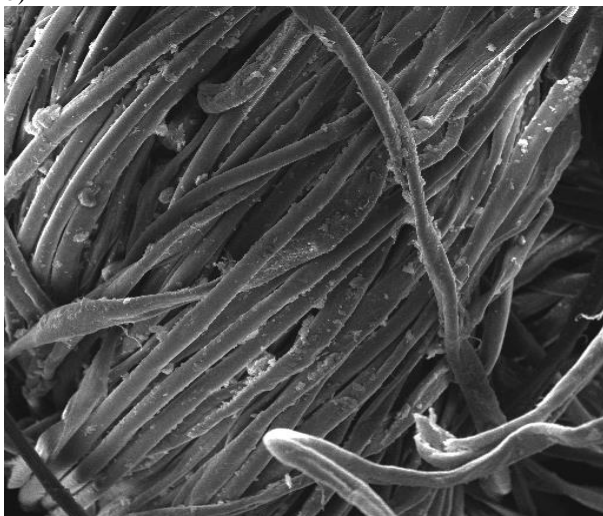
SEM micrographs of the untreated Raw Cotton Fabric sample and its treated counterpart with nanoclay can be observed in Figure 4a and 4b, respectively. Presence of nanoclay particles can be apparently seen on all over the surface of the cotton fibers in the structure of the treated fabric sample. Moreover, the distribution of nanoclay particles in the fabric structure was found sufficiently homogenous and it is also obvious from the figure that nanoclay particles penetrated into the interfaces in between the fibers in the fabric structure. On the other

hand, the pristine structure of the cotton fibers can be recognized in the structure of the untreated fabric sample. EDS spectra of the untreated and treated Raw Cotton Fabric samples are shown in Figure 4c and 4d, respectively. In the EDS spectrum of the untreated cotton fabric sample, it is clear that the elemental composition only consisted of C and O elements which constitute the chemical structure of cellulose showing that the fabric sample was only composed of cellulose, since it was made of cotton, and did not include any other substance which was nanoclay in this case. However, in the elemental composition, EDS spectrum of the treated cotton fabric sample prominently exhibited not only the peaks of C and O elements constituting the chemical structure of cellulose but also the peaks of silicon (Si), aluminum (Al), iron (Fe) and calcium (Ca) elements taking part in the formation of montmorillonite nanoclay. Therefore, in addition to the other characterization techniques (FTIR and SEM) employed in the current study, EDS analysis also demonstrated the existence of nanoclay particles in the fabric sample treated with the nanoclay I.44P.

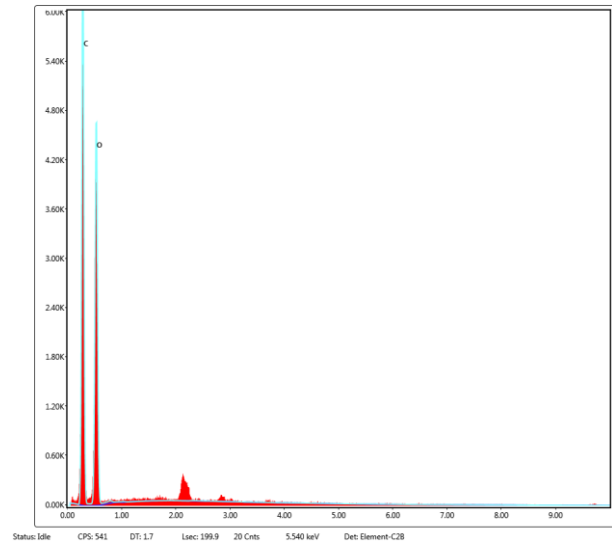
a)



b)



c)



d)

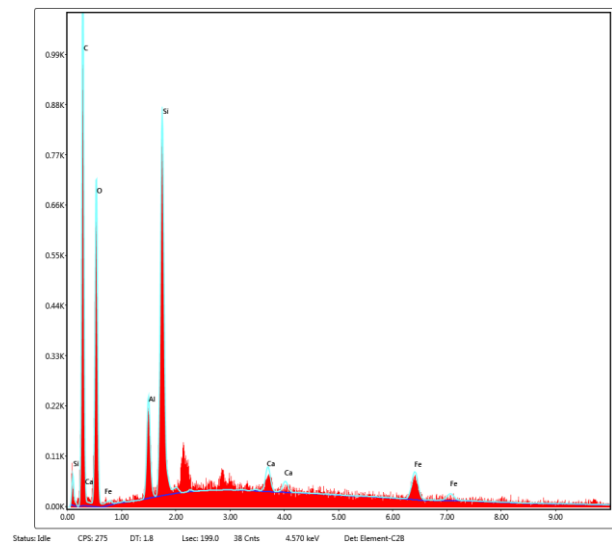


Figure 4. SEM-EDS analysis results of the Raw Cotton Fabric sample a) SEM micrographs before the treatment with the nanoclay (400X magnification) b) SEM micrographs after the treatment with the nanoclay (400X magnification) c) EDS Spectrum before the treatment with the nanoclay d) EDS Spectrum after the treatment with the nanoclay

3.4. Tensile Strength Test

According to the results obtained for the tensile strength test performed in both weft and warp directions before and after the treatment with the nanoclay particles (Table 3), it is obvious that the tensile strength values of all of the cotton the fabric samples in both weft and warp directions were not affected negatively by the treatment with the nanoclay particles however, they were even found to be higher indicating the positive effect of the nanoclay incorporation into the cotton fabric samples which is also supported by the other studies in the literature. In the previous work, polymeric nanocomposites prepared with montmorillonite and other

Table 3. Tensile strengths of the fabric samples before and after the treatment with the nanoclay

Cotton Fabric Samples	Warp				Weft			
	Before		After		Before		After	
	Tensile Strength (N)	Std. Dev.	Tensile Strength (N)	Std. Dev.	Tensile Strength (N)	Std. Dev.	Tensile Strength (N)	Std. Dev.
Raw	417.25	15.51	479.00	13.91	276.60	11.67	283.74	9.44
Optical Brightened	439.75	12.23	451.00	16.98	349.20	9.98	371.50	9.72
Conventional	271.80	15.31	277.25	16.39	238.00	10.63	246.00	15.97

nanoclays were used to coat surfaces of cotton and cotton blend fabrics and some level of improvement in tensile strength was reported to be obtained for the treated fabrics [5-7, 61]. On the other hand, organo-montmorillonite was used for washing of denim garments in a conventional washing machine for the production of old-look garments neither with previous desizing nor post-chemical softening. Washing and finishing with nanoclay was found to have no effect on the mechanical properties of the denim fabrics [10]. Moreover, discoloration of indigo dyed denim garment was done by using enzymes and montmorillonite based nanoclay in a conventional washing machine and in addition to many properties tensile strength was evaluated, as well. Treatment with nanoclay particles were found to have no negative effect on the fabric tensile strength [62].

3.5. Vertical Flame Test

Considering the results of the vertical flame test performed to determine the burning behavior and flammability properties of the three different types of cotton fabrics after the treatment with the nanoclay Nanomer I.44P nanoclay (Table 4), average ignition time values were found to be improved with the nanoclay incorporation denoting that all of the fabrics acquired flame retardancy characteristics with the change in their burning behavior. More rapid burning with a brighter and powerful flame was observed for the untreated fabric samples compared to their treated counterparts. Similar findings of improved flammability and change in the burning behavior of fabrics in accordance with the vertical flame test have been reported in the literature for the fabrics treated with different finishing and coating solutions including nanoclays [4-6].

Table 4. Average ignition times of each of the fabric samples before and after the treatment with the nanoclay

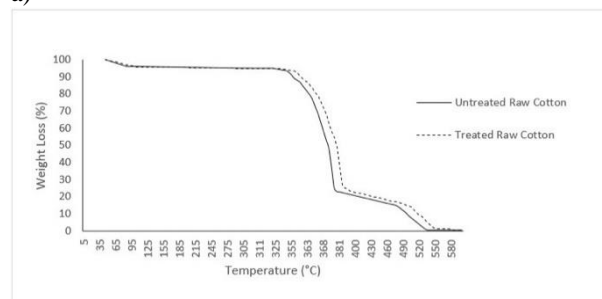
Cotton Fabric Samples	Average Ignition Time (sec)	
	Before the Treatment	After the Treatment
Raw	3	4
Optical Brightened	3	5
Conventional	3	4

3.6. Thermogravimetric Analysis (TGA)

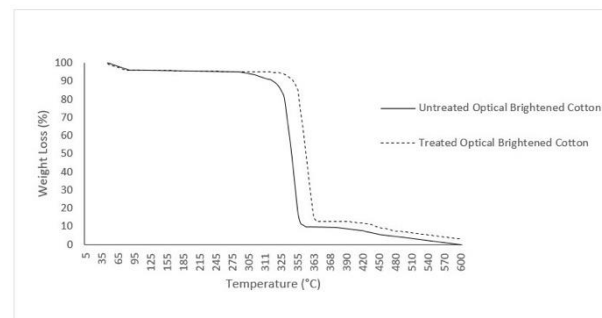
Untreated raw cotton fabric was found to begin to degrade over 310 °C and encounter two decomposition

stages between 300 °C and 400 °C and between 400 °C and 600 °C. At 600 °C, 1wt % residue char was found to be left (Figure 5a). However, its treated counterpart was demonstrated to leave more residue at 600 °C with increased decomposition temperatures in both of the decomposition stages (Figure 5a). On the other hand, optical brightened and conventional cotton fabric samples treated with nanoclays exhibited stability against heat with lower mass loss and lower decomposition rate compared to their untreated counterparts (Figure 5b and 5c). Similar findings have been reported in the scientific literature regarding nanoclay loaded cotton fabrics via different methods [1, 2, 9, 10, 18]. According to these studies, nanoclay particles settled on the surface of the fibers alter the flammability characteristics of the nanoclay treated fabric samples with higher amount of residual ashes compared to the untreated ones. Furthermore, as it is indicated, due to the mineral structure of nanoclay including Al, Si, Fe, Ca etc., enhanced char formation occurs and a kind of heat barrier begins to develop over the surface of the fibers, which lead to increase in the decomposition temperature of the cotton fabric samples.

a)



b)



c)

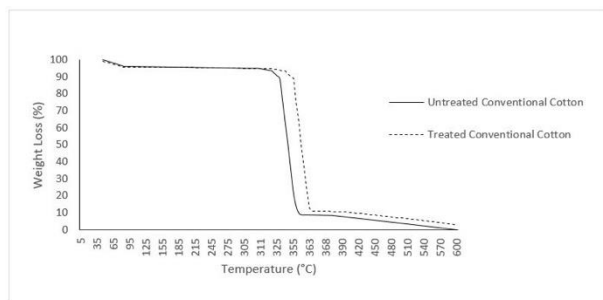


Figure 5. Weight loss as a function of temperature for cotton fabrics a) Raw b) Optical Brightened c) Conventional

3.7. Durability against Washing

In the literature, durability of the functionality of fabrics treated with finishing or coating solutions of nanoclays against washing have been considered performing the washing cycles according to different standard methods [1, 11, 36] and the fabrics washed after the treatments were found to have reasonable durability levels owing to the remaining nanoclays in the fabric structure.

3.7.1. Basis weight analysis

In order to reveal the durability of the treatment with the nanoclay Nanomer I.44P applied to the fabric samples, the fabric basis weight was analyzed for all types of cotton fabric samples after the treatment with the nanoclay and after the washing process that was performed subsequent to the treatment with the nanoclay. As a result of this analysis, although the fabric basis weight was determined to inconsiderably decrease for all of the cotton fabric samples after the washing process (Table 5), it was still considerably higher than that of the cotton fabric samples before the treatment with the nanoclay particles denoting the durability of the treatment with the nanoclay particles (Table 2).

Table 5. Basis weights of the fabric samples before and after the treatment with the nanoclay

Cotton Fabric Samples	Fabric Basis Weight (g/m ²)	
	After the Treatment	After Washing
Raw	1.4293	1.4132
Optical Brightened	1.4980	1.4570
Conventional	0.7421	0.7219

3.7.2. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR-ATR)

From the FTIR spectra of the nanoclay treated samples of the Raw Cotton Fabric, Optical Brightened Cotton Fabric and Conventional Cotton Fabric it can be clearly observed that similar peaks at around the same wavenumbers were obtained for the fabric samples before and for their counterparts after the washing process (Figure 6, 7 and 8) indicating the presence of the remaining nanoclay particles in the fabric structure after washing. Furthermore, since the FTIR-ATR spectra were

taken from 5 different regions of the surface of the each fabric samples before and after washing and in every one of them the nanoclay Nanomer I.44P was clearly detected, it can be concluded that the nanoclay remained in all over the surface of the cotton fabric samples with a homogenous dispersion even after washing implying the durability of the treatment against washing.

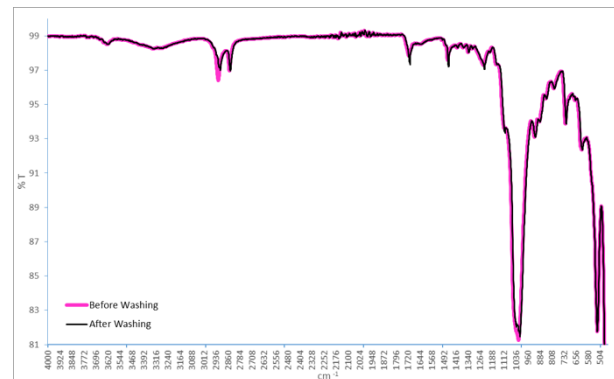


Figure 6. The FTIR spectra of the Raw Cotton Fabric sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P before and after washing

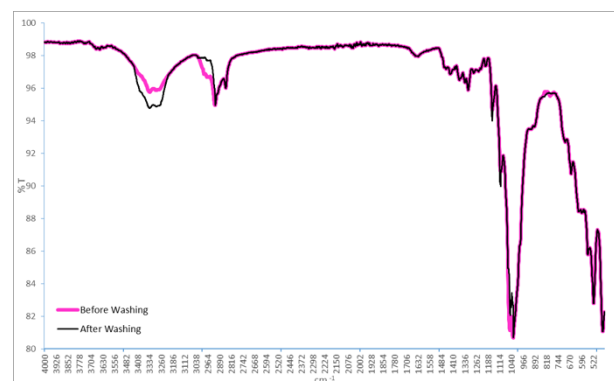


Figure 7. The FTIR spectra of the Optical Brightened Cotton Fabric sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P before and after washing

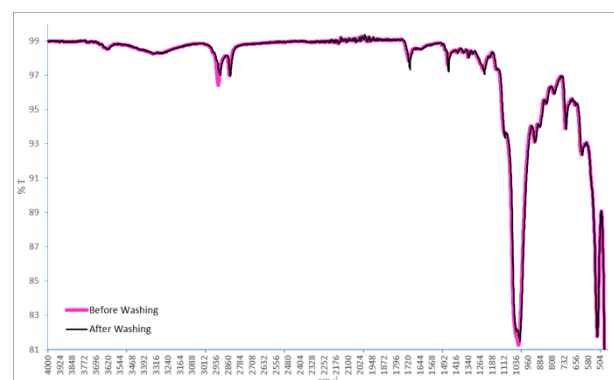


Figure 8. The FTIR spectra of the Conventional Cotton Fabric sample treated with the nanoclay Nanomer I.44P before and after washing

3.7.3. Scanning electron microscopy (SEM)

As can be seen from the SEM micrograph of the Raw Cotton Fabric sample that was washed after the treatment with the nanoclay (Figure 9), nanoclay particles were still found to be existing and distributed evenly on all over the surfaces of the fibers in the fabric structure. Moreover, from the figure, it is also apparent that nanoclay particles penetrated into the interfaces in between the fibers in the fabric structure and was not removed from the fabric structure with the effect of washing. Therefore, it can be once more deduced with this characterization technique that the treatment has durability against washing.

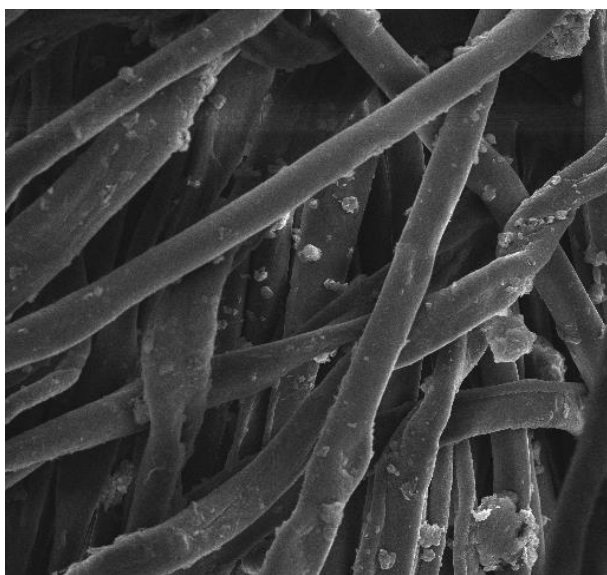


Figure 9. SEM micrographs of the Raw Cotton Fabric sample after washing (800X magnification)

3.7.4. Vertical flame test

When the results of the vertical flame test conducted for the investigation of the burning behavior and flammability properties of the cotton fabrics treated with the nanoclay particles before and after washing were considered (Table 6), no change was observed in the average ignition time values of the three different types of cotton fabrics after washing indicating that none of the fabrics lost their flame retardancy characteristics with the washing process. Hence, the treatment the fabrics were subjected to was found durable to washing.

Table 6. The average ignition times of each of the treated fabric samples before and after washing

Cotton Fabric Samples	Average Ignition Time (sec)	
	After the Treatment	After Washing
Raw	4	4
Optical Brightened	5	5
Conventional	4	4

4. CONCLUSIONS

Recently, textiles are required to be made multifunctional or have special functions to meet customer expectations. Thus, in the current study, cotton fabrics were functionalized with the incorporation of nanoclay particles via finishing techniques. The nanoclay Nanomer I.44P was preferred in this study owing to its antibacterial activity since the antibacterial characteristic of Nanomer I.44P has been reported [53]. Moreover, the fabrics treated with Nanomer I.44P can be acknowledged as environmentally friendly products since throughout the treatment no hazardous chemicals were used and the fabrics treated were made of natural and biodegradable fiber cotton. In addition to this, montmorillonite nanoclays are biodegradable and completely generated from naturally occurring resources as well as, Nanomer I.44P is known as environmentally friendly flame retardant. On the other hand, since the method used in the study is compatible with the conventional textile processes, Nanomer I.44P can be easily used in the textile industry for treating cotton fabrics via textile finishing processes improving the manufacturability of the product. After the treatment, the fabrics were assessed in terms of homogeneity of the nanoclay distribution over the fabric surface, flame retardancy, thermal stability, the change in tensile strength and durability of the functionality to washing. According to the results,

- All of the fabrics were demonstrated to have homogeneously distributed nanoclay particles over their surface by the basis weight analysis and FTIR spectroscopy.
- The fabrics were shown to possess lower flammability by the vertical flame test denoting that nanoclay incorporation had contributed to their burning behavior with flame retardancy.
- The fabric samples treated with nanoclays exhibited stability against heat with lower mass loss and lower decomposition rate compared to their untreated counterparts according to TGA implying the enhancement in their thermal stability.
- There was no decrease in the tensile strength of the fabrics implying that the treatment with the nanoclay particles did not affect the tensile strength in a negative way instead, enhanced it.
- Durability of the treatment against washing was analyzed by the basis weight analysis, FTIR spectroscopy and vertical flame test and the treatment was found durable to washing with no loss in flame retardancy.

REFERENCES

- [1] Monteiro A., Jarrais B., Rocha I.M., Pereira C., Pereira M.F.R. and Freire C., "Efficient immobilization of montmorillonite onto cotton textiles through their functionalization with organosilanes", *Applied Clay Science*, 101: 304-314, (2014).
- [2] Fang F., Tong B., Du T., Zhang X., Meng Y., Liu X. and Tian X., "Unique nanobrick wall nanocoating for flame-

- retardant cotton fabric via layer-by-layer assembly technique”, *Cellulose*, 23:3341-3354, (2016).
- [3] Liu H. and Wang S., “Preparation of the Cotton Fabric with Ultraviolet Resistance and Antibacterial Activity Using Nano Attapulgite Colloidal Particles”, *Fibers and Polymers*, 13(10):1272-1279, (2012).
- [4] Chang S., Slopek R.P., Condon B. and Grunlan J.C., “Surface Coating for Flame-Retardant Behavior of Cotton Fabric Using a Continuous Layer-by-Layer Process”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53:3805-3812, (2014).
- [5] Li Y.C., Schulz J., Mannen S., Delhom C., Condon B., Chang S.C., Zammarano M. and Grunlan J.C., “Flame Retardant Behavior of Polyelectrolyte-Clay Thin Film Assemblies on Cotton Fabric”, *ACS Nano*, 4(6):3325-3337, (2010).
- [6] Gao D., Li R., Lv B., Ma J., Tian F. and Zhang J., “Flammability, thermal and physical-mechanical properties of cationic polymer/montmorillonite composite on cotton fabric”, *Composites Part B*, 77:329-337, (2015).
- [7] Huang G., Liang H., Wang X. and Gao J., “Poly(acrylic acid)/Clay Thin Films Assembled by Layer-by-Layer Deposition for Improving the Flame Retardancy Properties of Cotton”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51:12299-12309, (2012).
- [8] Joshi M., Bhattacharyya A., Agarwal N. and Parmar S., “Nanostructured coatings for super hydrophobic textiles”, *Bulletin of Materials Science*, 35(6):933-938, (2012).
- [9] Maryan A.S., Montazer M. and Rashidi A., “Introducing Old-look, Soft Handle, Flame Retardant, and Anti-bacterial Properties to Denim Garments Using Nano Clay”, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 8(4):68-77, (2013).
- [10] Maryan A.S. and Montazer M., “One pot denim washing and finishing using organo-montmorillonite: introducing nano mineral washing and finishing”, *Textile Research Journal*, 85(1):91-100, (2015).
- [11] Maryan A.S., Montazer M., Harifi T. and Rad M.M., “Aged-look vat dyed cotton with anti-bacterial/anti-fungal properties by treatment with nano clay and enzymes”, *Carbohydrate Polymers*, 95:338-347, (2013).
- [12] Li Y.C., Schulz J. and Grunlan J.C., “Polyelectrolyte/Nanosilicate Thin-Film Assemblies: Influence of pH on Growth, Mechanical Behavior, and Flammability”, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 1(10):2338-2347, (2009).
- [13] Patra D., Vangal P., Cain A.A., Cho C., Regev O. and Grunlan J.C., “Inorganic Nanoparticle Thin Film that Suppresses Flammability of Polyurethane with only a Single Electrostatically-Assembled Bilayer”, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6:16903-16908, (2014).
- [14] Dastjerdi R. and Montazer M., “A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79:5-18, (2010).
- [15] Hu Y., Yu B. and Song L., “Novel fire-retardant coatings”, *Novel Fire Retardant Polymers and Composite Materials*, Woodhead Publishing, U.K., (2016).
- [16] Alongi J., Frache A., Malucelli G. and Camino G., “Multi-component flame resistant coating techniques for textiles”, *Handbook of fire resistant textiles*, Woodhead Publishing, U.K., (2013).
- [17] Halasz K., Grozdits G. and Csoka L., “Functional nanostructured coatings via layer-by-layer self-assembly”, *Anti-Abrasive Nanocoatings: Current and Future Applications*, Woodhead Publishing, U.K., (2015).
- [18] Horrocks A.R., Kandola B. and Padbury S., “The Effect of Functional Nanoclays in Enhancing the Fire Performance of Fibre-forming Polymers”, *Journal of the Textile Institute*, 94(3):46-66, (2003).
- [19] Pavlidou S. and Papaspyrides C.D., “A review on polymer-layered silicate nanocomposites”, *Progress in Polymer Science*, 33:1119-1198, (2008).
- [20] Devaux E., Rochery M. and Bourbigot S., “Polyurethane/Clay and Polyurethane/POSS Nanocomposites as Flame Retarded Coating for Polyester and Cotton Fabrics”, *Fire and Materials*, 26:149-154, (2002).
- [21] Bhat G., Hegde R.R., Kamath M.G. and Deshpande B., “Nanoclay Reinforced Fibers and Nonwovens”, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 3(3):22-34, (2008).
- [22] Thostenson E.T., Li C. and Chou T.W., “Nanocomposites in context”, *Composites Science and Technology*, 65:491-516, (2005).
- [23] Morlat S., Mailhot B., Gonzalez D. and Gardette J.L., “Photo-oxidation of Polypropylene/Montmorillonite Nanocomposites. I. Influence of Nanoclay and Compatibilizing Agent”, *Chemistry of Materials*, 16(3):377-383, (2004).
- [24] Mittal V., “Polymer Layered Silicate Nanocomposites: A Review”, *Materials*, 2:992-1057, (2009).
- [25] Horrocks A.R., Kandola B.K., Smart G., Zhang S. and Hull T.R., “Polypropylene Fibers Containing Dispersed Clays Having Improved Fire Performance. I. Effect of Nanoclays on Processing Parameters and Fiber Properties”, *Journal of Applied Polymer Science*, 106:1707-1717, (2007).
- [26] Ray S.S. and Okamoto M., “Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing”, *Progress in Polymer Science*, 28:1539-1641, (2003).
- [27] Smart G., Kandola B.K., Horrocks A.R., Nazare’ S. and Marney D., “Polypropylene fibers containing dispersed clays having improved fire performance. Part II: characterization of fibers and fabrics from PP-nanoclay blends”, *Polymers for Advanced Technologies*, 19:658-670, (2008).
- [28] Sharma S.K., Nema A.K. and Nayak S.K., “Polypropylene Nanocomposite Film: A Critical Evaluation on the Effect of Nanoclay on the Mechanical, Thermal, and Morphological Behavior”, *Journal of Applied Polymer Science*, 115:3463-3473, (2010).
- [29] Ahmadi S.J., Huang Y.D. and Li W., “Synthetic routes, properties and future applications of polymer-layered silicate nanocomposites”, *Journal of Materials Science*, 39:1919-1925, (2004).
- [30] Kandare E., Kandola B.K., Price D., Nazare’ S. and Horrocks A.R., “Study of the thermal decomposition of flame-retarded unsaturated polyester resins by

- thermogravimetric analysis and Py-GC/MS”, *Polymer Degradation and Stability*, 93:1996-2006, (2008).
- [31] Marras S.I., Tsimpliaraki A., Zuburtikudis I. and Panayiotou C., “Surfactant-induced morphology and thermal behavior of polymer layered silicate nanocomposites”, *Journal of Physics: Conference Series*, 61:1366-1370, (2007).
- [32] Zhang S., Hull T.R., Horrocks A.R., Smart G., Kandola B.K., Ebdon J., Joseph P. and Hunt B., “Thermal degradation analysis and XRD characterisation of fibre-forming synthetic polypropylene containing nanoclay”, *Polymer Degradation and Stability*, 92:727-732, (2007).
- [33] Qin H., Zhang S., Zhao C., Feng M., Yang M., Shu Z. and Yang S., “Thermal stability and flammability of polypropylene/montmorillonite composites”, *Polymer Degradation and Stability*, 85:807-813, (2004).
- [34] Bourbigot S., Devaux E. and Flambard X., “Flammability of polyamide-6/clay hybrid nanocomposite textiles”, *Polymer Degradation and Stability*, 75:397-402, (2002).
- [35] Horrocks A.R., “*Flame retardant/resistant textile coatings and laminates*”, Advances in fire retardant materials, Woodhead Publishing, U.K., (2008).
- [36] Maryan A.S. and Montazer M., “Natural and organo-montmorillonite as antibacterial nanoclays for cotton garment”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 22:164-170, (2015).
- [37] Cain A.A., Nolen C.R., Li Y.C., Davis R. and Grunlan J.C., “Phosphorous-filled nanobrick wall multilayer thin film eliminates polyurethane melt dripping and reduces heat release associated with fire”, *Polymer Degradation and Stability*, 98:2645-2652, (2013).
- [38] Horrocks A.R., Nazare S., Masooda R., Kandola B.K. and Price D., “Surface modification of fabrics for improved flash-fire resistance using atmospheric pressure plasma in the presence of a functionalized clay and polysiloxane”, *Polymers Advanced Technologies*, 22:22-29, (2011).
- [39] Innes A. and Innes J., “*Flame Retardants*”, Handbook of Environmental Degradation of Materials, William Andrew, U.K., (2012).
- [40] Horrocks A.R., “*Smart flame retardant textile coatings and laminates*”, Smart textile coatings and laminates, Woodhead Publishing, U.K., (2010).
- [41] Nazaré S., “*Environmentally friendly flame-retardant textiles*”, Sustainable textiles Life Cycle and Environmental Impact, Woodhead Publishing, U.K., (2009).
- [42] Mohan T.P. and Kanny K., “Chemical treatment of sisal fiber using alkali and clay method”, *Composites: Part A*, 43:1989-1998, (2012).
- [43] Wei C., Zeng S., Tan Y., Wang W., Lv J. and Liu H., “Impact of Layer-by-Layer Self-Assembly Clay-Based Nanocoating on Flame Retardant Properties of Sisal Fiber Cellulose Microcrystals”, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015:1-7, (2015).
- [44] Apaydin K., Laachachi A., Ball V., Jimenez M., Bourbigot S., Toniazzo V. and Ruch D., “Polyallylamine-montmorillonite as super flame retardant coating assemblies by layer-by layer deposition on polyamide”, *Polymer Degradation and Stability*, 98:627-634, (2013).
- [45] Kiliaris P. and Papaspyrides C.D., “Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy”, *Progress in Polymer Science*, 35:902-958, (2010).
- [46] Horrocks A.R., Kandola B.K., Davies P.J., Zhang S. and Padbury S.A., “Developments in flame retardant textiles—a review”, *Polymer Degradation and Stability*, 88:3-12, (2005).
- [47] Pack S., Si M., Koo J., Sokolov J.C., Koga D., Kashiwagi T. and Rafailovich M.H., “Mode-of-action of self-extinguishing polymer blends containing organoclays”, *Polymer Degradation and Stability*, 94:306-326, (2009).
- [48] Horrocks A.R., “Flame retardant challenges for textiles and fibres: New chemistry versus innovatory solutions”, *Polymer Degradation and Stability*, 96:377-392, (2011).
- [49] Song G. and Lu Y., “*Flame resistant textiles for structural and proximity fire-fighting*”, Handbook of fire resistant textiles, Woodhead Publishing, U.K., (2013).
- [50] Kandola B.K., Smart G., Horrocks A.R., Joseph P., Zhang S., Hull T.R., Ebdon J., Hunt B. and Cook A., “Effect of Different Compatibilisers on Nanoclay Dispersion, Thermal Stability, and Burning Behavior of Polypropylene–Nanoclay Blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, 108:816-824, (2008).
- [51] Zhang S., Horrocks A.R., Hull R. and Kandola B.K., “Flammability, degradation and structural characterization of fibre-forming polypropylene containing nanoclay-flame retardant combinations”, *Polymer Degradation and Stability*, 91:719-725, (2006).
- [52] Weil E.D. and Levchik S.V., “*Overview of Modes of Action and Interaction of Flame Retardants*”, Flame Retardants for Plastics and Textiles Practical Applications, Carl Hanser Verlag GmbH & Co., Germany, (2015).
- [53] Memis S., Tornuk F., Bozkurt F. and Durak M.Z., “Production and characterization of a new biodegradable fenugreekseed gum based active nanocomposite film reinforced with nanoclays”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 103:669-675, (2017).
- [54] Nanocor Inc., Nanomer®: Nanoclay as Flame Retardation Additives, Environmentally Friendly Flame Retardants, July 19-20, 2007, http://www.nanocor.com/tech_papers/Pira-Enviro-F-FR-Nanocor-7-20-07%20%20%20in%201.pdf, accessed on 22.05.2018.
- [55] Yao H., You Z., Li L., Goh S.W., Lee C.H., Yap Y.K. and Shi X., “Rheological properties and chemical analysis of nanoclay and carbon microfiber modified asphalt with Fourier transform infrared spectroscopy”, *Construction and Building Materials*, 38:327-337, (2013).
- [56] Abidi N., Hequet E. and Cabrales L., “*Applications of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Study Cotton Fibers*”, Fourier Transforms-New Analytical Approaches and FTIR Strategies, InTech, U.K., (2011).
- [57] Allen A., Foulk J. and Gamble G., “Textile Technology: Preliminary Fourier-Transform Infrared Spectroscopy Analysis of Cotton Trash”, *The Journal of Cotton Science*, 11:68-74, (2007).
- [58] Adebajo M.O. and Frost R.L., “Acetylation of raw cotton for oil spill cleanup application: an FTIR and ¹³C MAS NMR spectroscopic investigation”, *Spectrochimica Acta Part A*, 60:2315-2321, (2004).

- [59] Perincek S., “Ozonation: A new patterning method for optical bleached fabrics”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(1):76-83, (2016).
- [60] Haule L.V., Carr C.M. and Rigout M., “Investigation into the supramolecular properties of fibres regenerated from cotton based waste garments”, *Carbohydrate Polymers*, 144:131-139, (2016).
- [61] Abid K., Dhouib S. and Sakli F., “Addition effect of nanoparticles on the mechanical properties of coated fabric”, *The Journal of the Textile Institute*, 101(5):443-451, (2010).
- [62] Maryan A.S., Montazer M. and Damerchely R., “Discoloration of denim garment with color free effluent using montmorillonite based nano clay and enzymes: nano bio-treatment on denim garment”, *Journal of Cleaner Production*, 91:208-215, (2015).