



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING

Cilt/Vol: 36

Sayı/Issue: 2

Haziran/June 2021

ISSN 2757-9255



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ
Cukurova University, Journal of the Faculty of
Engineering



Sahibi (Owner)

Ulus ÇEVİK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Serin MEZARCIÖZ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Ramazan ÇOBAN (ÇÜ)	Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)
Mutlu AVCI (ÇÜ)	Özen KILIÇ (ÇÜ)
Mustafa GÖK (ÇÜ)	Serin MEZARCIÖZ (ÇÜ)
Ahmet DAĞ (ÇÜ)	Zeynep ZAIMOĞLU (ÇÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	Ali KESKİN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
Ali KOKANGÜL (ÇÜ)	F. Duygu SABAN (ÇÜ)
Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)	Hüseyin VAPUR (ÇÜ)
Mevlüt Sami AKÖZ (ÇÜ)	Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)
Metin GÜRÜ (GÜ)	Serter ATABAY (AUS-BAE)
Mehmet Emin AYDIN (UWE-İngiltere)	Muammer KOÇ (HBKU-BAE)
Azra BİLGİN (UCB-ABD)	Tamio ENDO (MU-Japonya)

Hakemli Bir Dergidir. Yılda Dört Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Quarterly.

Dergimiz **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.
Indexed by **TÜBİTAK ULAKBİM** Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi

Derginin eski adı: Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi
(ISSN: 1019-1011)

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Mühendislik alanındaki gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişimlerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda Türkçe bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe/İngilizcedir. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan makaleler kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering Faculty of Cukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal is published to follow the developments in the field of engineering, to contribute to the national and international development of professional organizations and individuals, and to create a Turkish resource in these areas. The language of the journal is Turkish/English. All original and up to date scientific research and applications articles that have not been published elsewhere are accepted.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Manyetik Nanopartiküllerin Anaerobik Çürütücüde Biyogaz Üretimi Üzerine Etkileri.....	283
<i>Effects of Magnetic Nanoparticles on Biogas Production in Anaerobic Digester</i>	
Özlem DEMİR ve Nurcan ATEŞ	
Su Kanalı İçerisinde Isıtılmış Dairesel Bir Silindir Çevresinde Sıcaklık Ölçüm Sistemi Tasarımı.....	297
<i>Design of a System for Temperature Measurement Around a Heated Circular Cylinder in a Water Channel</i>	
Doğan Burak SAYDAM, Ertaç HÜRDOĞAN ve Coşkun ÖZALP	
Yüksek Gerilim Kabloları için Güvenilir Mekanik Konektör Tasarımı ve Direnç Kontrol Analizi.....	305
<i>Reliable Mechanical Connector Design and Resistance Control Analysis for High Voltage Cables</i>	
Ahmet FEYZİOĞLU	
The Social and Economic Impacts of Novel Coronavirus Pandemic on Construction Sector and its Professionals.....	317
<i>Yeni Tip Koronavirüs Salgınının İnşaat Sektörü ve Sektör Profesyonelleri Üzerindeki Sosyal ve Ekonomik Etkileri</i>	
Olca GENÇ	
Jet Giriş Genişliğinin Isı Transferi ve Akış Yapısına Olan Etkisinin Araştırılması.....	331
<i>Search of the Effect of Jet Inlet Width on Heat Transfer and Flow Character</i>	
Doğan Engin ALNAK ve Koray KARABULUT	
Adana-Feke Yöresi Yeraltı Çinko Cevherleşmesinin Asit Maden Drenajı Oluşumuna Yönelik Kestirimlerinin Araştırılması.....	347
<i>Investigation of Acid Rock/Mine Drainage During of Feke/Adana Zinc Ore Mining Activities</i>	
Nil YAPICI ve Hakan GÜNEYLİ	
Üç Farklı İstatistiksel Dağılım Yöntemleri Kullanarak Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmin Edilmesi	359
<i>Estimating Wind Energy Potential Using Three Different Statistical Distribution Methods</i>	
Bülent YANIKTEPE ve Osman KARA	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Kızıldağ Ofiyolitleri (Arsuz–Çevlik, Hatay) İçinde Gözlenen Manyezit Oluşumlarının Kökeni	369
<i>Determination of Geological-Geochemical Properties of Magnesite Formations Observed in Kızıldağ Ophiolites (Arsuz-Çevlik (Hatay) Area)</i>	
Yusuf TOPAK	
Yapım İşlerinde Çalışanların Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımına Etki Eden Faktörler	381
<i>Factors Affecting Personal Protective Equipment Usage of Construction Workers</i>	
Şahin Tolga GÜVEL ve Emel LAPTALI ORAL	
Eğirme Türünün Haşıl Sonrası İplik Özelliklerine Etkisi.....	389
<i>Effect of Spinning Type on Yarn Properties After Sizing</i>	
Pınar DURU BAYKAL ve Zehra KUMAŞ	
Production of Biodiesel from in Vitro Grown Jojoba Calli Oil and a Comparison with Jojoba Biodiesel	401
<i>In Vitro Koşullarda Geliştirilen Jojoba Kallus Yağından Biyodizel Üretimi ve Jojoba Biyodizeli ile Karşılaştırılması</i>	
Zeynep ERGÜN, Hasan SERİN, Kadir AYDIN ve Saadet BÜYÜKALACA	
Düzenleyici Ekosistem Hizmetlerinde Toprak Erozyonunun Haritalanması: Göksu Havzası Örneği	409
<i>Mapping Soil Erosion in Regulating Ecosystem Services: The Case of Göksu Basin</i>	
Ahmet ÇİLEK	
Multi Response Optimization of Friction Stir Spot Welding Process Using Taguchi Based Grey Relational Analysis	421
<i>Taguchi Tabanlı Gri İlişkisel Analiz Kullanılarak Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak İşleminin Çoklu Yanıt Optimizasyonu</i>	
Onur ER, Mustafa Kemal KÜLEKÇİ, Uğur EŞME ve Cem BOĞA	
İletim Hatlarında Meydana Gelen Elektromanyetik Alanın İnsanlar Üzerindeki Etkilerinin Analizi.....	433
<i>Analysis of the Effects of Electromagnetic Fields Occuring in Transmission Lines on Humans</i>	
Yıldırım ÖZÜPAK	

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Van Gölü Havzasında Hidrometeorolojik Verilerin Eğilim Analizi 441**
Trend Analysis of Hydrometeorological Data in the Van Lake Basin
Mahsum AYDIN ve Arif ÖZ
- L ve T Tesisat Bağlantı Elemanlarında Nanoakışkan Kullanımında Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi 457**
Numerical Investigation of Flow Characteristics of Nanofluid Usage in L and T Fittings
Nehir TOKGÖZ, Mürüvvet AVCI, Mehmet Tahir ERDİNÇ ve Önder KAŞKA
- Aktif Tektonikte Uzaktan Algılama Uygulamaları: Doğu Anadolu Fay Zonu'ndan Bir Örnek 473**
Remote Sensing Applications in Active Tectonics: An Example from the Eastern Anatolian Fault Zone
Elif AKGÜN, Murat İNCEÖZ ve Hatice Seval MANAP
- Havaalanlarında Bagaj Sıralama İstasyonu Atama Probleminin Tampon Süre Açısından İncelenmesi 483**
Examining the Baggage Sorting Station Assignment Problem at the Airport in Terms of Buffer Time
Fatma Şeyma YÜKSEL ve Figen ANTMEN
- Akış Kontrolü Uygulanan Açık Bir Kavitede Akış Karakteristikleri ve Isı Geçişinin Sayısal Olarak İncelenmesi 493**
Numerical Investigation of Flow Characteristics and Heat Transfer in an Open Cavity with Flow Control
İrem DALGIÇ, Nehir TOKGÖZ ve Coşkun ÖZALP
- TBDY 2018 Yönetmeliğinde Verilen Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Taşıyıcı Sistemler için Maliyet ve Deprem Performansı Bakımından Bir Karşılaştırma..... 509**
A Comparison in Terms of Cost and Earthquake Performance for Reinforced Concrete Structural Systems of High Ductility Level Given in TBEC 2018
İsmail ÜNSAL ve Mehmet Fatih ŞAHAN
- Alüminyum, Magnezyum ve Çelik Malzemelerle Tasarlanmış Tek Hücreli ve Çok Hücreli Çarpışma Kutularının Çarpışma Performanslarının İncelenmesi 523**
Investigation for Crashworthiness Performance of Single-cell and Multi-cell Crash Boxes Designed with Aluminum, Magnesium and Steel Materials
Emre İsa ALBAK

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Ereğli-Ulukışla Arası Demiryolu Hattındaki Derin Kazı Şevlerinin Duraylılık İncelemesi..... 535**
Investigation of Stability of Deep Excavation Slopes in Ereğli-Ulukışla Railway Line
Selahattin YAPRAK ve Sedat TÜRKMEN
- Çankırı (Orta Anadolu) Yöresi Lütésiyan Ostrakod Faunasının İncelenmesi 547**
Investigation of Lutetian Ostracod Fauna of Çankırı (Central Anatolia) Region
Ümit ŞAFAK
- Tüketicinin Demografik Özelliklerinin Konut Satın Alma Davranışı Üzerindeki Etkileri..... 557**
The Effects of the Demographic Characteristics of the Consumers on the House Buying Behavior
Hatice Kübra BAŞ ARAS ve Gözde TANTEKİN ÇELİK
- Akasya Zambkı (Arabik Gam) ile İyileştirilen Nehir Kumunu ve Geri Dönüştürülmüş Kumun Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması 571**
Investigation of Engineering Properties of River Sand and Recycled Sand Improved with Acacia Gum (Arabic Gum)
Ufuk TUNÇ, Baki BAĞRIAÇIK ve Abdulazim YILDIZ

Manyetik Nanopartiküllerin Anaerobik Çürütücüde Biyogaz Üretimi Üzerine Etkileri

Özlem DEMİR^{*1}, Nurcan ATEŞ²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

²Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa

Geliş tarihi: 05.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun stabilizasyonu ve yenilenebilir enerji üretmek için yaygın olarak kullanılan işlemlerden biri olan anaerobik çürütme, birçok mikroorganizma grubu tarafından gerçekleştirilen bir işlemdir. Günümüzde, bilimsel araştırmalar için yeni bir alan olan nanoteknolojideki gelişmeler, nanopartiküllerin birçok alanda kullanılmasını sağlamıştır. Nanopartikülleri anaerobik çürütücülerdeki metan üretimi ve stabilizasyon üzerine etkileri son yıllarda dikkat çeken bir konu haline gelmiştir. En bilinen ve yaygın olarak kullanılan nanopartiküllerden biri Fe₃O₄'tir. Bu çalışmada, nanopartikül uygulamaları hakkında bilgi verilerek ve manyetik nanopartiküllerin, özellikle de Fe₃O₄ manyetik nanopartiküllerinin anaerobik çürütücüde biyogaz üretimi üzerine etkileri ile araştırılmıştır. Ayrıca, laboratuvar ortamında, birlikte çökeltme yöntemi ile Fe₃O₄ manyetik nanopartikülü sentezlenmiş ve manyetik özellikleri değerlendirilmiştir. Fe₃O₄ sentezlendikten sonra farklı konsantrasyonlarda anaerobik çürütücülere ilave edilerek Fe₃O₄ dozunun biyogaz üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Fe₃O₄ konsantrasyonu artması ile biyogaz artışı görülmüş ve Fe₃O₄ kullanılmayan kontrol düzeneklerindeki ortalama biyogaz hacmi 428,9 mL iken 0,3 g/L Fe₃O₄ ilavesinde 572,8 mL biyogaz elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Stabilizasyon, Anaerobik çürütme, Metan üretimi, Nanopartikül, Fe₃O₄

Effects of Magnetic Nanoparticles on Biogas Production in Anaerobic Digester

Abstract

Anaerobic digestion, one of the processes commonly used to stabilize sludge produced in wastewater treatment plants and to generate renewable energy, is a process performed by many groups of microorganisms. Nowadays, advances in nanotechnology, a new field for scientific research, have enabled nanoparticles to be used in many areas. The effects of nanoparticles on methane production and stabilization in anaerobic digesters have become a remarkable issue in recent years. One of the most known and widely used nanoparticles is Fe₃O₄. In this study, the effects of magnetic nanoparticles, especially Fe₃O₄ magnetic nanoparticles, on biogas production in anaerobic digesters were investigated by giving information about nanoparticle applications. In addition, Fe₃O₄ magnetic nanoparticle was synthesized in the laboratory using the co-precipitation method and its magnetic properties were evaluated. After Fe₃O₄ was synthesized, the effects of Fe₃O₄ dose on biogas production were investigated

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Özlem DEMİR, odemir@harran.edu.tr

by adding different concentrations to anaerobic digesters. Biogas increased with the increase in Fe_3O_4 concentration, and the average biogas volume in the control devices without Fe_3O_4 was 428.9 mL, while 572.8 mL biogas was obtained with the addition of 0.3 g/L Fe_3O_4 .

Keywords: Stabilization, Anaerobic digestion, Methane production, Nanoparticle, Fe_3O_4

1. GİRİŞ

Atıksu arıtma tesislerinin sayısının artması, tesislerde üretilen çamur miktarının artışı da beraberinde getirmektedir. Atıksu arıtma tesislerinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri atık aktif çamurun çok fazla üretilmesidir. Atık aktif çamur arıtımı ve bertarafının temel amaçları, çamurda bulunan organik maddelerin stabilizasyonu, suyun bir kısmının uzaklaştırılmasıyla atılacak çamur hacminin azaltılması, patojenlerin imha edilmesi ve kullanılabilen yan ürünlerin toplanmasıdır. Atık aktif çamurun uygun olmayan bir şekilde arıtılması ve bertaraf edilmesi, ikincil kirliliğe neden olmakta ve çevreye önemli riskler taşımaktadır [1]. Bundan dolayı, çamur miktarını azaltılabilen ve aynı zamanda enerji geri kazanımı sağlayabilen atık aktif çamur arıtım stratejileri son zamanlarda ilgi çeken bir konu haline gelmiştir [2].

Arıtma çamuru için enerji kazanım ve çevresel sürdürülebilirlik açısından en uygun yöntem olarak anaerobik çürütme önerilmektedir. Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan en eski arıtım teknolojilerindedir. Arıtma çamurlarının anaerobik olarak çürütülmesi modern atıksu arıtma tesislerinde yaygınlaşmaktadır. Anaerobik parçalanma sistemleri özellikle de büyük kapasiteli arıtma tesislerin önemli bir parçası haline gelmektedir [3]. Kısacası, anaerobik çürütücü, atıksu çamurunu stabilize etmek ve biyogaz için yenilenebilir enerji üretmek için en yaygın olarak kullanılan işlemlerden biridir [4,5].

Nanoteknoloji, son on yılda bilim ve teknolojiye en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir. Nanometrik boyut aralığındaki parçacıklar nanopartiküller olarak adlandırılır. Boyut, büyük ölçüde bunların sentezi için kullanılan işleme bağlıdır. Nano boyut, hücre zarlarına nüfuz etme kabiliyetini belirlediği için biyolojik sistemler ile etkileşimin kardinal

özelligidir, böylece biyolojik bariyerler arasında geçişi, bağışıklık sistemi ile etkileşimi, alımını, absorpsiyonunu, dağılımını ve metabolizmasını kolaylaştırır [6]. Nanopartiküller, 1 ila 100 nm arasında boyutlara sahip olan ve yüzey yükü, yüksek yüzey alanı/hacim oranı nedeniyle yüksek reaktivite, yüksek özgülük ve dağılıbilirlik gibi bazı benzersiz spesifik fizikokimyasal özellikler ile karakterize edilen bir partikül grubu olarak tanımlanır [7]. Bu benzersiz özellikler nanopartikül maddelerin endüstriyel alanda kullanımları için avantaj sağlamaktadır. Yapısal özelliklerinin yanı sıra az atık oluşumu ve ekonomik olma özelliklerine de sahiptir [3].

Anaerobik çürütme işlemi, normalde üç basamaktan oluşur (hidroliz, asitleme ve metanojeniz), ilk adım olarak bilinen çamurun hidrolizine daha fazla dikkat edilir. Çamurun biyolojik enzimler tarafından hidrolizi, son yıllarda giderek daha fazla araştırılmaktadır ve çok sayıda enzimin (amilaz, proteaz, lipazlar ve endoglikanazların vs.), biyolojik olarak parçalanabilen partikül organik maddelerin hidrolizinde önemli bir rol oynadığı bildirilmektedir [8]. Anaerobik çürütmede asitleme fazının performansı da son derece önemlidir, çünkü özellikleri ve kimyasal bileşimi sonraki metanogenezi doğrudan etkileyebilir. Ayrıca, bazı karmaşık organik atıklar için, hidroliz ve asit oluşumu anaerobik çürütme prosesi sırasında hız belirleyici adım olarak kabul edilmiştir [9].

Son yıllarda, metan üretimi ve proses stabilitesi için anaerobik çürütücülerde nanopartiküllerin eklenmesi büyük ilgi görmektedir [10]. Nanopartiküllerin ayrıca anaerobik çürütücü hidrolizini hızlandırdığı, metan verimini arttırdığı ve stabilize edilmiş çamur ürettiği belirlenmiştir [5].

Fe_3O_4 manyetik nanopartiküllerin anaerobik çürütme üzerindeki etkisi ile ilgili az sayıda

çalışmaya rastlanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, Fe₃O₄ tarafından salınan Fe⁺² ve Fe⁺³ iyonlarının metanojenlerin aktivitesini artırması, Fe₃O₄'in bölgeler arası elektron transferini kolaylaştırması, Fe⁺² ve Fe⁺³'ün mikroorganizmalara besin sağlaması ve sülfür demirlerini engelleyerek sülfat indirgeyen bakterilerin anaerobik çürütme üzerindeki engelleyici etkisini azaltması gibi avantajlarından yola çıkılarak, Fe₃O₄'in anaerobik çürütücüdeki etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda, fazla Fe₃O₄ dozunun da toksik etki yapma yönü gözönünde bulundurularak anaerobik çürütücüde elde edilen için optimum Fe₃O₄ dozu bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, nanopartikül çeşitleri, karakterizasyonu, sentezleri, uygulamaları, özellikleri hakkında bilgiler verilmiş ve nanopartiküllerin, özellikle de Fe₃O₄ manyetik nanopartiküllerinin, atıksu arıtma tesislerindeki anaerobik çürütücüde performansları ile ilgili çalışmalar ele alınmıştır. Fe₃O₄ manyetik nanopartikülü birlikte çökeltme yöntemi ile sentezlenmiş ve bu partikülün manyetik özellikleri incelenmiştir. Daha sonra, sentezlenen Fe₃O₄ laboratuvar ölçekli küçük anaerobik çürütücülere farklı konsantrasyonlarda eklenerek biyogaz üretimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

1.1. Anaerobik Çürütme ve Demir Oksit Nanoparçacıkların Etkisi

Anaerobik çürütücü, atıksu arıtma tesisi (A.A.T)'deki atıksu çamurunun hammaddesi ile çürütücüdeki toksik maddelere maruz kalma potansiyeline sahiptir. Organik ve inorganik olan kirleticiler, atıksu çamurunda A.A.T'deki yolu boyunca birikir ve daha sonra anaerobik çürütücülere taşınır. Bu kirleticiler, anaerobik çürütücünün sabit durumunu tehlikeye sokar. Bununla birlikte, stabilizasyon ve metan üretimini sürdürülebilir ve verimli bir şekilde elde etmek için sabit durumun anaerobik bir çürütücü içinde tutulması çok önemlidir [11].

Anaerobik çürütme, organik atıkları metan yan ürünü formunda yenilenebilir enerjiye dönüştürmek için en önemli tekniklerden biri olarak düşünülebilir, çünkü yakıt olarak işlem maliyetini düşürebilmektedir [12,13]. Biyolojik

dönüşümü yüksek olan anaerobik çürütme, canlı hayvan gübresiyle başa çıkmada köklü bir teknolojidir ve enerji harcamasından tasarruf etmek ve yenilenebilir enerji üretmek için elektrik üretimi, konut ısıtma vb. için kullanılabilir [14,15].

Anaerobik çürütmenin genel sonucu, biyobozunur organik maddenin metan, karbon dioksit, hidrojen sülfid, amonyak ve yeni bakteri biyokütlesine neredeyse tamamen dönüşmesidir [16,17]. Anaerobik çürütme, bir mikroorganizma konsorsiyumu tarafından gerçekleştirilir ve pH, sıcaklık, C/N oranı vb. gibi çeşitli faktörlere bağlıdır; bu nispeten yavaş bir işlemdir. Proses stabilitesi eksikliği, düşük yükleme oranları, kötüleşmeden sonra yavaş iyileşme ve atık bileşimi için özel şartlar anaerobik çürütme ile ilişkili diğer sınırlamalardan bazılarıdır [14,15]. Çürütücü içindeki sıcaklığın biyogaz üretim süreci üzerinde büyük etkisi vardır [18].

Anaerobik çürütme, organik maddeleri metan ve karbondioksite dönüştüren bir dizi mikrobiyal işlemde oluşur ve biyobozunmasına rağmen psikofilik (<20°C), mezofilik (25-40°C) veya termofilik (50-65°C) koşullar altında gerçekleşebilir. Mezofilik koşullar altında en yaygın olanıdır. Aynı zamanda aerobik arıtmadan daha yüksek yükleme oranları ve daha fazla patojen yıkımı sağlar [19]. Farklı çalışma koşulları altında çeşitli biyolojik ve kimyasal katkı maddelerini kullanarak mikrobiyal aktiviteyi uyarak biyogaz üretimini arttırmaya yönelik bazı girişimlerde bulunulmuştur. Biyogaz tesisinde katkı maddelerinin kullanılması performansını önemli ölçüde artırabilir. Bir katkı maddesinin uygunluğunun, substrat tipine kuvvetlice bağlı olması beklenir [20].

Fe₃O₄ nanoparçacıkları, süper paramanyetik, toksik olmayan ve biyo-uyumlu özelliklerinden dolayı metan üretimini ve substrat bozulmasını arttırmak için anaerobik çürütmede uygulanmıştır. Anaerobik çürütücülerde, demir nanopartiküller ilavesinin biyogaz işlem performansını stimüle ve stabilize ettiği gösterilmiştir. Demir nanopartikülleri kararsızdır ve yavaşça çözünebilir ve Fe⁺² ve Fe⁺³ iyonları sağlayabilir. Aslında, bu demir iyonları kofaktör ve enzimlerin temel

bileşenleridir ve anaerobik çürütücülere eklenmesi, Archaea mikroorganizmalarının (metanojen mikroorganizma) etkinliğini artırabilir. Bununla birlikte, Fe^{+2} iyonlarının eklenmesi sadece ilk 24-48 saatinde biyogaz üretimini artırabilir ve yüksek demir iyon konsantrasyonunun bakteriler üzerinde toksisite etkisi vardır, bu da biyogaz üretimini azaltır. Bu nedenle, demir nanopartikülleri, doymamışlık ve biyolojik olarak kullanılabilir olması nedeniyle anaerobik çürütme işlemi için optimal demir konsantrasyonunu sürdürmek için iyi bir adaydır. Birçok çalışma, demir nanopartikül takviyesinin, sentrofik metanojenizde yer alan bölgeler arası elektron transferini (DIET) kolaylaştırabileceğini öne sürmüştür [21]. Çalışmalar ayrıca, Fe^{+2} ve Fe^{+3} mikroorganizmalara besin sağladığını ve sülfür demirlerini engellediğini, böylece sülfat azaltıcı bakterilerin anaerobik çürütücü üzerindeki engelleyici etkisini azalttığını göstermiştir [22].

Küçük nanopartiküller arasında manyetik etkiler olduğundan, manyetik alan varlığında ototrofik bakterilerin aktivitesini artacaktır. Bu arada, ototrofik bakterilerin daha yavaş çoğalması nedeniyle, bir taşıyıcıya bağlanmak, reaktörde büyümeleri ve zenginleşmeleri için pozitif etki yaratmaktadır [23]. Literatürde, manyetik nanopartiküller arasındaki etkileşimlerin, bakterilerin aktivitelerini artırabileceği belirtilmiştir [24].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zhang ve arkadaşları (2011), yaptığı çalışmada, sıfır değerlikli demir (ZVI) anaerobik bir reaktöre eklendiğinde, atık su arıtımı için kullanılan reaktörün düşük sıcaklıklarda ve kısa bir hidrolik alıkonma süresi altında daha fazla KOİ giderimi elde etmesini sağlayan metanojenlerin büyümesini desteklediğine dair doğrudan kanıtlar sağlamıştır. Reaktöre sıfır değerli demir (ZVI) eklenmesinin metan üretiminde % 17 artış sağladığı sonucuna varmışlardır [25].

Mu ve arkadaşları (2011), dört metal oksid nanoparçacığını (nano- TiO_2 , nano- Al_2O_3 , nano- SiO_2 ve nano- ZnO) araştırmış ve sadece nano-

ZnO 'nun metan üretimi üzerinde inhibe edici etkisi olduğu ve nano- ZnO 'nun doza bağımlı olduğu sonucuna varmıştır. Düşük nano- ZnO (6mg/g-AKM) metan oluşumu üzerinde herhangi bir etki yaratmamıştır [26].

Liu ve arkadaşları (2015), anaerobik granüler çamur reaktörlerinde ZVI ilavesiyle geliştirilmiş metan üretimini ve sülfat indirgemelerini tanımlamak için farklı çalışma koşullarına bağlı iki farklı matematiksel model geliştirmişlerdir. Sonuçlar, ZVI'nin metan üretimini artırmak için propiyonat bozunmasını ve metanojenizi doğrudan teşvik ettiğini göstermektedir [27].

Zhou ve arkadaşları (2015), yaptığı araştırmada, aktif çamur anaerobik hidrolizinin teşvik edilmesi için uygulanabilir bir strateji sunulmuştur. Desteklenen demir porfirinin, fazla tortunun anaerobik hidrolizi üzerine bir biyomimik katalizör olarak uygulanması araştırılmıştır. Optimal koşullar altında, $KOİ_C/ KOİ_T$ ve UAKM azaltma oranı, ilk %13,2 ve %17,0'den (kontrol testi) sırasıyla %25,7 ve %35,3'e yükselmiştir. Sonuçlar, bu desteklenmiş biyomimik katalizörün, çamur hidrolizinin teşvikinde dikkate değer bir performans sergilediğini göstermiştir [8].

Suanon ve arkadaşları (2016), biyogaz üretimini iyileştirmek için mezofilik anaerobik çürütme (AÇ) işlemlerinde (37 ± 1 C) iki farklı demir nanopartikülü sıfır değerlikli demir (nZVI) ve manyetit (Fe_3O_4) kullanmışlardır. Ayrıca demir nanopartikülleri olan ve olmayan çamurun AÇ sırasında ağır metal (Cd, Co, Cu, Zn, Ni ve Cr) spekülasyonu değişiklikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, uygun şekilde kullanıldığında demir nanoparçacıkları sadece biyogaz verimini artırmakla kalmayıp AÇ prosesi sırasında metallerin mobilizasyonunu düzenleyip ve kontrol ettiği ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu bildirmişlerdir [5].

Eduok ve arkadaşları (2017), nanopartiküllerin çamur çürütme performansı üzerindeki potansiyel etkisini araştırmak için 150 L pilot anaerobik çürütücüye gümüş oksit, titanyum dioksit ve çinko oksit karışımıyla eklenmiş birincil ve atık aktive edilmiş çamur karışımı ile beslemişlerdir.

Sonuçlar, mikrobik bolluğu ve çeşitliliği azaltırken, bazı organizmalara rekabet avantajı sunan Fusobacteria, Actinobacteria ve Trojanhorse benzeri etkenlerin esnekliğine dair çarpıcı kanıtlar sunmaktadır [28].

Ma ve arkadaşları (2018), yaptığı çalışmada asidifikasyon fazına mezofilik ve oda sıcaklığında demir oksit-zeolit katkı maddesi eklenmiştir. İlave edilen katkı maddesi sayesinde, daha yüksek çözünür kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ_c) konsantrasyonu (%21,53-227,30) ve daha iyi lignoselülozik degradasyon açısından önemli ölçüde geliştirilmiş hidroliz/fermentasyon elde edilmiştir [29].

Zhang ve arkadaşları (2019), anaerobik çürütme (AÇ) reaktörlerine sırasıyla nano sıfır değerlikli demir (nZVI) ve Fe₃O₄ Nanopartiküller ilave edilip, AÇ işlemi, pH, biyogaz verimleri ile toplam katıların (TS), uçucu katıların (VS) ve çözünür kimyasal oksijen talebinin (sCOD) giderim oranı ile değerlendirilmiştir. AÇ biyogaz üretiminin kinetiğini araştırmak için üç model kullanılmıştır. Uygun dozda nZVI veya Fe₃O₄ nanopartiküllerin eklenmesi sonucunda çamurun anaerobik çürütülebilirliğini arttırdığını gözlemlemiştir. 80 günlük mezofilik işlem sonrasında En yüksek kümülatif biyogaz verimi, Fe₃O₄ nanopartiküller 137,13 L, nZVI ile 140,34 L'dir. Bu iki reaktörün kümülatif biyogaz üretimi, %15,70 ve %13,44'e kadar önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir [30].

Romero-Güiza ve arkadaşları (2019), serbest nitroz asit (FNA) ile ikincil çamur ön işleminin, anaerobik çürütme sırasında oluşan metan üretiminin performansı araştırmışlardır. Sürekli 2 reaktörde ikincil çamur 50-250 mg NO₂N-N/L aralığında 5 saat boyunca 6,7 pH'da, nitrit ile ön arıtmadan geçirilmiştir. Biyokimyasal metan potansiyel testleri (BMP'ler) elde edilen sonuçlar, 150 mg NO₂N-N/L ve metan artışı %24'dür. Sonuçlar, her iki reaktörde metan gelişimi açısından çok benzer bir performans ortaya çıkmıştır. Bu nedenle metan verimini arttırmak için çamur asitleştirmeye gerek olmadığı bildirilmiştir [31].

Abdelsalam ve arkadaşları (2016), mikro elementler olarak iz metallerin, hayvan dışkıları, mahsul artıkları veya herhangi bir başka organik atık türüyle işletilen tarımsal biyogaz çürütme performansı ve stabilitesi üzerinde çok önemli bir rol oynadığını ve Ni ve Fe₃O₄ nanopartiküllerinin metan verimini arttırdığı sonucunu bildirmişlerdir [6].

Casals ve arkadaşları (2014), reaktörde 60°C'de 37°C'de sentezlenmiş Fe₃O₄ nanopartikülleri (7 nm) kullanmış ve metan üretiminde %234 artış olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak anaerobik çürütücüde optimal demir konsantrasyonlarını korumanın, bakteriyel aktiviteyi iyileştirmek için kritik bir adım olduğunu varsaymışlardır [32].

Goyal ve arkadaşları (2018), çok fonksiyonlu (ZnO-Fe₃O₄) nanokompozitler için bir sentez yolu geliştirip, Fe₃O₄ nanoparçacıkları ZnO yüzeyi üzerinde işlemişlerdir. (ZnO-Fe₃O₄) nanokompozitlerindeki bileşenlerin bileşimi, sahadan çıkarılması gereken kirliliklerin türüne bağlı olarak değiştirilebilirliği ve Cu (II) ve Pb (II) için pH 5,5'te sırasıyla maksimum 4,1 mg/g ve 3,68 mg/g adsorpsiyon kapasitesi gözlemlenmiştir. Bu çok fonksiyonlu nanokompozitler, organik boyaların, inorganik metal iyonlarının ve mikrobiyal kontaminasyonun giderilmesi için etkili bir yeniden kullanılabilir nano-adsorban görevi görmekte olduğunu, aynı zamanda ZF nanokompozitlerini, su arıtımı için hızlı, etkili, ucuz ve çekici bir seçenek sunmak için tek bir platform sistemi olarak gösterdiğini bildirmişlerdir [33].

Demirel ve Scherer (2011), Fe ilavesiyle biyogaz üretimindeki iyileşmenin inek gübresi ve kanatlı kumu kullanılarak araştırmıştır. Her iki substrat için FeSO₄ ilavesi, biyogaz üretimini ve CH₄ biyogaz içeriğini iyileştirmiştir. Su sümbülü sığır gübresinin anaerobik çürütme sırasında FeCl₃ ilavesinin, biyogaz üretiminde %60'tan fazla bir artışa yol açtığı bildirilmiştir. Ayrıca, domuz dışkısı ile kesikli deneyleri sırasında FeCl₂ ilavesinin sülfid inhibisyonunu önlediği belirtilmiştir [34].

Mu ve arkadaşları (2011), dört metal oksid nanoparçacığını (nano-TiO₂, nano-Al₂O₃, nano-SiO₂ ve nano-ZnO) araştırmış ve sadece nano-ZnO'nun metan üretimi üzerinde inhibe edici etkisi olduğu ve nano-ZnO'nun doza bağımlı olduğu sonucuna varmıştır. Düşük nano-ZnO (6 mg/g-AKM) metan oluşumu üzerinde herhangi bir etki yaratmamıştır [26].

Zhou ve arkadaşları (2015), yaptığı araştırmada, aktif çamur anaerobik hidrolizinin teşvik edilmesi için uygulanabilir bir strateji sunulmuştur. Desteklenen demirporfirinin, fazla tortunun anaerobik hidrolizi üzerine bir biyomimik katalizör olarak uygulanması araştırılmıştır. Demirporfirinin tarafından modifiye edilen manyetik Fe₃O₄ nanoparçacıkları ayrıca bir silanasyon yöntemiyle sentezlenmiş ve X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, bu desteklenmiş biyomimik katalizörün, çamur hidrolizinin teşvikinde dikkate değer bir performans sergilediğini göstermiştir. Optimal koşullar altında, KOİ_Ç/ KOİ_T ve UAKM azaltma oranı, ilk %13,2 ve %17,0'den (kontrol testi) sırasıyla %25,7 ve %35,3'e yükselmiştir. Sonuçlar, nötr yakın pH değerlerinde biyomimik katalizörlerin mevcudiyetinde fazla tortunun hidrolizinin, alkalın ve asidik pH aralıklarında yapılanlardan daha verimli olduğunu göstermiştir. Geri dönüşüm çalışmaları, biyomimik katalizörlerin, katalitik kapasitede önemli bir değişiklik olmadan birkaç kez kullanılabileceğini göstermiştir [8].

Barrena ve arkadaşları (2009), Fe₃O₄, Ag ve Au nanopartiküllerinin salatalık ve marul bitkilerinin çimlenme evresi, deniz bakterisi olan *Photobacterium phosphoreum* ve anaerobik çamur üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Anaerobik mikroorganizmalar üzerindeki etkilerin belirlenmesi amacıyla anaerobik aşı çamur evsel katı atıkların anaerobik olarak çürütüldüğü bir tesisten alınmış ve sonuçlar toplam biyogaz üretim miktarının ölçümü üzerinden yapılan anaerobik toksite testi ile değerlendirilmiştir. Fe₃O₄, Ag ve Au nanopartikülleri için sırasıyla 18, 16 ve 10 mg/L konsantrasyonların kullanıldığı anaerobik test 21 gün sürdürülmüştür. Elde edilen bu

değerlerin istatistiksel değerlendirmesi sonucunda her üç nanopartikülün de gaz üretimine herhangi bir etkisi olmadığı saptanmıştır. Her ne kadar bu çalışmada inhibisyon etkisi tespit edilemediyse de inorganik nanopartiküllerin çevre ile etkileşimlerinin daha derinlemesine araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir (Barrena ve arkadaşları, 2009).

Zhang ve arkadaşları (2020), biyogaz üretimi ve atık çamur azaltımını arttırmak için iki aşamalı anaerobik çürütmede Fe₃O₄ nanoparçacıkları (FNP) uygulanmıştır. En uygun FNP dozu, 100 mg/L, 11,9 mL H₂/gVS hidrojen ve 109,8 mL CH₄/gVS metan verimi gözlemlenmiştir. Bu, kontrolünkine kıyasla %15,1 hidrojen verimi ve %58,7 metan verimini arttırdığını bildirmişlerdir [21].

Abdelsalam ve arkadaşları (2017), nanopartiküllerin biyogaz ve metan üretimi üzerindeki etkilerini, özel olarak tasarlanmış bir seri anaerobik sistem kullanarak incelemiştir. Bu amaçla, farklı konsantrasyonlardaki Demir (Fe) ve Demir Oksit (Fe₃O₄) nanoparçacıklarının biyogaz ve metan üretimi üzerindeki etkilerini incelemek için 2L biyodizel üretilmiştir. Nanopartikül katkı maddelerinin en iyi sonuçları, 20 mg/L Fe nanopartikül ve 20 mg/L Fe₃O₄ manyetik nanopartiküllerin (p <0,05) olduğu biyogaz ve metan üretiminin istatistiksel analizine (M-Stat kullanarak en küçük fark) dayalı olarak seçilmiştir. En yüksek spesifik biyogaz ve metan üretimi, 20 mg/L Fe₃O₄ manyetik nanopartiküllerle 584 mL Biyogaz/g UK ve 351,8 mL CH₄/gUK ile elde edilmiştir. Kontrol sisteminde ise spesifik biyogaz üretimi 352,6 mL Biyogaz/gUK iken metan üretimi de 179,6 mL CH₄/g UK'dir [23].

Noonari ve arkadaşları (2020), Fe₃O₄ nanopartiküllerin anaerobik çürütücü üzerine etkilerini araştırarak maksimum metan üretimi elde etmek ve Fe₃O₄ nanopartiküllerinin dozajını optimize etmek için çalışmalar yapmıştır. Bununla birlikte, Fe₃O₄ nanopartiküllerinin metan üretimini arttırdığını ve çürütme sürecini stabilize ettiği gözlemlenmiştir. İlk adımda, Fe₃O₄ nanopartikülleri sentezlenmiş ve karakterize edilmiştir. İkinci aşamada, farklı dozlardaki Fe₃O₄ nanopartiküllerin

manda içeriği karışım oranıyla (metan verimi açısından) kanola samanı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Üçüncü adımda, ikinci fazın aynı dozlarında Fe_3O_4 nanopariküllerin manda içeriği karışım oranına sahip (metan verimi açısından) muz bitkisi atıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son aşamada, ikinci ve üçüncü adımlar için Fe_3O_4 dozu optimize edilmiş ve metan üretimi ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar tüm dozların birlikte yaşama ve metan üretimindeki mikrobiyal aktiviteleri uyardığını göstermiştir. Maksimum metan verimi $256 \text{ mLCH}_4/\text{gUK}$ ve $202,3 \text{ mLCH}_4/\text{gUK}$, kontrolle karşılaştırıldığında sırasıyla kanola samanı ve muz bitkisi atıkları için $0,81 \text{ mg}$ ve $0,5 \text{ mg}$ dozajında elde edilmiştir [10].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Birlikte Çökeltme Yöntemi ile Fe_3O_4 Sentezi

Deneysel olarak, iyi tanımlanmış ebat, şekil ve malzeme özelliklerine sahip nanopariküllerin sentezi büyük önem taşımaktadır. Fe_3O_4 , birlikte çökeltme sentez yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir.

40 mL saf su içerisine,

- $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (1,62g)
- $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ (1,39g)

eklenerek çözünene kadar (5-10 dk) mekanik karıştırıcıya konulmuştur. Karıştırıcıdan çıkan çözeltiliye 5 mL 1 N NaOH eklenerek, karıştırıcı sonrası siyah parçacıkların oluşumu gözlemlenmiştir. Ardından hazırlanan çözeltili 70°C sıcak su banyosunda 30 dk boyunca bekletilmiştir. Bu aşama bittikten sonra 5 mL 3 N NaOH eklenip tekrar çözünene kadar manyetik karıştırıcıya konmuştur.

Hazırlanan çözeltili 3000 rpm hızda 20°C 'de 10 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Çökeltme işlemi sonrası parçacıklar üst suyundan ayrılarak saf su ile yıkanmıştır. Bu işlem 5 kez tekrarlanmıştır [36].

Yan ürünlerinden ayrılan parçacıklar son işlem olarak etüve konularak 106°C 'de 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Her türlü olası sorunun önüne geçilmek için hazırlanan parçacıklar cam kavanoz içerisinde saklanmıştır [37]. Sentezleme aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Fe_3O_4 sentezleme aşamaları

3.1.2. Deneysel Düzenek ve Anaerobik Çürütücülerin İşletimi

Bu çalışmada kullanılan atık çamur, Şanlıurfa Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin ikincil sedimantasyon tankından alınmış ve aşı çamur, tesisinin sindirim tankından toplanmıştır. Toplanan ham atık çamur bekletilmeden hemen kullanılmıştır.

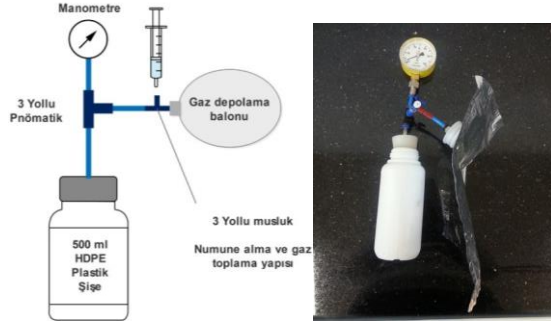
Tüm reaktörler kullanılmadan önce ön işlemlerden geçirilmiş, hiçbir sorun teşkil etmeyecek şekilde kullanıma hazır hale getirilmiştir. 500 mL çalışma hacmine sahip laboratuvar ölçekli anaerobik reaktörler kullanılmıştır. 5 tekrarlı 7 doz, 5 tekrarlı 1 doz olmak üzere toplamda 40 reaktör tasarlanmıştır. Her reaktör için 250 mL ham çamur, 70 mL aşı çamuru (anaerobik) eklenmiştir. Bu işlemlerden sonra Fe_3O_4 nanoparçacıkları da ilave edilerek fermente oluncaya kadar karıştırılmıştır. Reaktör için kullanılacak dozlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Mikrobiyal hücreleri bozmak ve atık çamurun anaerobik sindirim etkinliğini arttırmak için atık çamur mezofilik koşullarda ($30-40^\circ\text{C}$) çamur çökmeyecek şekilde sürekli çalkalanmıştır. Bu aşama 22 gün sürmüştür. Çalışmada kullanılan

örnek reaktör Şekil 2’de ve reaktör kurulumu Şekil 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 1. Reaktör için kullanılacak dozlar

Reaktör Serisi		Fe ₃ O ₄ Konsantrasyonu (g/L)
	Reaktör sayısı	
Kontrol		0
25	5	0,025
50	5	0,05
100	5	0,1
150	5	0,15
200	5	0,2
250	5	0,25
300	5	0,3



Şekil 2. Çalışmada kullanılan örnek reaktör şeması

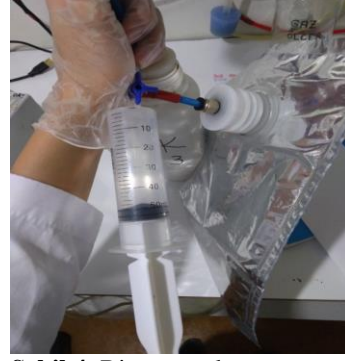


Şekil 3. Reaktör kurulumu

3.1.3. Biyogaz Hacminin Belirlenmesi

Yöntem olarak, biyogaz üretimi için gerekli olan anaerobik şartlar, mezofilik sıcaklık ve katı madde oranı belirlenip reaktörler kurulmuştur. Kurulan tüm reaktörlerin hava sızdırmazlığı kontrol edilip, reaktörde oluşan biyogaz çıkışları gözlenmiştir. 22 günlük bekleme süresi sonrası reaktörler açılıp

biyogaz çıkışları hesaplanmıştır. Biyogaz çıkışları Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Biyogaz çıkışı

3.1.4. Kimyasal Analizler

Anaerobik çürütücülerde kullanılan geri devir çamuru ve anaerobik çamurun pH, sıcaklık ve iletkenliği Hanna Instruments pH 211 tezgah ölçekli pH metre ile ölçülmüştür. Toplam katı madde ve organik madde ile çözülmüş KOİ analizleri ise Standard Metotlar’a göre yapılmıştır [38]. Aynı şekilde sentezlenmiş manyetik Fe₃O₄ nanopartiküllerin XRD analizleri daha önceki bir çalışma da [37] kullanılmış olup bu çalışmada da sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Sentezlenmiş Fe₃O₄ ve Manyetik Özellikleri

Sentezlenen manyetik Fe₃O₄, Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Fe₃O₄ nanoparçacıkları

XRD analizi sentezlenen nanoparçacıkların kristal yapısını ve büyüklüğünü bulmak için kullanılan bir tekniktir. Sentezden sonra elde edilen ürün üzerindeki ana oksidasyon analizinin sonuçları Çizelge 2’de gösterilmektedir [37]. Bu sonuçlara

göre, örnekte %93,73 Fe, %1,12 Si ve 0,42 ppm Mn bulunmaktadır. Çizelge 3’te verilen XRD analiz sonuçlarına göre, sentezlenen ürünün kimyasal formülünün Fe_3O_4 olduğu ve manyetik özelliğe sahip olduğu doğrulanmıştır [37].

Çizelge 2. Elemental analizi

Element	Si	Fe	Mn
Unit	%	%	ppm
	1,12	93,72	0,4

Çizelge 3. XRD analizi

%	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement (° 2 Th.)	Chemical Formula
100	01-075-1609	68	Magnetite Low	0,080	Fe_3O_4
	Pos.(° 2 Th.)	Height (cts)	FWHM (° 2 Th.)	d-spacing (Å)	Rel. Int. (%)
	2,0528	35244,11	0,1368	43,00158	100,00
	3,7111	5536,54	0,3192	23,78924	15,71
	30,2430	451,64	0,5472	2,95285	1,28
	35,6341	1310,98	0,3648	2,51749	3,72
	43,2634	269,23	0,5472	2,02958	0,76
	57,1854	263,30	0,5472	1,60955	0,75
	62,8184	341,41	0,2736	1,47808	0,97

4.2. Anaerobik Çürütücüler için Kullanılan Çamurların Karakterizasyonu

Bu çalışmada kullanılan atık çamur, Şanlıurfa Biyolojik A.A.T’nin proses geridevir tankından alınmış ve kullanılan aşı çamuru ise anaerobik çürütücü çıkışından alınmıştır. Toplanan ham atık çamur bekletilmeden hemen kullanılmıştır. Geri devir çamurunun ve anaerobik aşı çamurunun karakteristiği Çizelge 5’te verilmiştir

Çizelge 5. Geri devir çamuru ve anaerobik aşı çamurunun özellikleri

Parametre	Substrat	Anaerobik Aşı Çamur
pH	7,57	8,25
Sıcaklık	18,7	18,7
Toplam Katı Madde (mg/L)	10000	8000
Organik Madde (mg/L)	22000	16000
Çözünmüş KOİ (KOİç) mg/L)	1280	3585

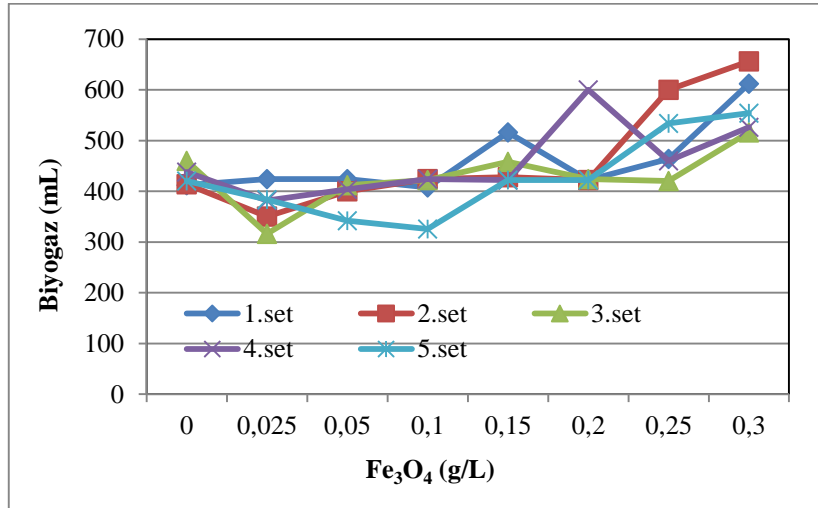
4.3. Fe_3O_4 Nanopartiküllerinin Anaerobik Çürütücüde Biyogaz Üretimi Üzerine Etkileri

Yapılan çalışma sonucunda kurulan 5 set anaerobik çürütücüdeki biyogaz hacimleri Çizelge 6’da verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda ilave edilen Fe_3O_4 ’ün etkisinin daha net anlaşılabilmesi için konsantrasyon artışına göre biyogaz değişimi Şekil 6’da gösterilmiştir. Anaerobik çürütücüdeki biyogaz hacimleri ve Fe_3O_4 konsantrasyonu ile biyogaz değişiminden de anlaşıldığı üzere anaerobik çürütücüye eklenen Fe_3O_4 konsantrasyonu arttıkça biyogaz hacmi de artmaktadır.

Fe_3O_4 konsantrasyonunun en yüksek olduğu 0,3 g/L için 5 sette de en yüksek biyogaz hacimleri gözlenmiştir. Fe_3O_4 kullanılmayan kontrol reaktörler olarak hizmet eden reaktörlerde ($Fe_3O_4=0$) ile kıyaslanacak olursa ortalama değerleri dikkate alınarak Fe_3O_4 ilave edilemeyen reaktörlerin ortalama biyogaz hacmi 428,8 mL iken, 0,3 g/L Fe_3O_4 ilave edildikten sonra biyogazın ortalama hacmi 572,8 mL’ye yükselmiştir.

Çizelge 6. Anaerobik çürütücülerdeki biyogaz hacimleri

Fe ₃ O ₄ konsantrasyonu (g/L)	Biyogaz (mL)					
	1. set	2. set	3. set	4. set	5. set	Ortalama
0	412	414	460	438	420	428,8
0,025	424	350	316	382	384	371,2
0,05	424	400	412	404	342	396,4
0,1	408	424	422	424	326	400,8
0,15	516	428	458	422	422	449,2
0,2	422	422	424	600	422	458
0,25	464	600	420	460	534	495,6
0,3	612	656	516	526	554	572,8



Şekil 6. Fe₃O₄ konsantrasyonu ile biyogaz değişimi

Nanopartiküllerin, anaerobik çürütücüye olan etkileri ve özellikle daha yüksek konsantrasyonlar üzerindeki yayınlanmış araştırmaların sayısı sınırlıdır ve çoğu, anaerobik çürütücü hidrolik alıkonma süreleri (HRT) dikkate alınarak daha uzun süreli değerlendirmeler içermemektedir.

Uzun süreli ve daha yüksek konsantrasyonların bir araya getirilmesiyle ilgili literatürdeki modelleme ile birlikte araştırma eksikliği göz önüne alındığında, farklı nanopartiküllerin anaerobik çürütücüye olası etkilerini biyokimyasal enerji üretimi ve atık yönetimi süreci olarak algılamak önemlidir [39].

Demir nanoparçacıkları, mikroorganizma için en fazla artan talebe sahip ve besin kaynağı olan nanopartiküllerden biri olarak bilinir. Demir metal,

Ag ve Cu'dan daha fazla reaktivite gücüne sahiptir [40].

Araştırmacılar, nanopartiküllerin de anaerobik çürümeye sürecinde besin olarak etkileyici bir rol oynadığını gözlemlemişlerdir. Fe₃O₄, NiO, CuO, ZnO, vb. kesikli reaktörlerde metanojenik aktivitelerin kayda değer şekilde artmasını sağlamıştır.

Methanobacterium thermo-autotrophicum gibi çeşitli metanojenlerin; Methanosarcina barkeri; Methanococcus parvum ve Methanococcus metilutens; Methanococcus vanielli ve Methanococcus, Fe, Ni, Co, Se ve molibden (Mo) besin olarak gerekli görmüştür [10].

Fe₃O₄ nanopartikülleri, atıksu arıtımında sıklıkla kullanılır. Fe₃O₄ nanoparçacıklarının sulu

çözümlerden kadmiyum iyonu gidermek için birlikte çöktürülerek metal bağlanması için uygun fizikokimyasal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir [41]. Fe_3O_4 nanoparçacıkları da boyaların hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayabilir [42]. Bununla birlikte, Fe_3O_4 nanoparçacıkları mıknaştırılmasından daha pahalıdır. Manyetik bir malzeme olarak bilinen Fe_3O_4 , manyetik alan üretebilir ve Fe^{+2} ve Fe^{+3} 'e iyonize edilebilir. Harici bir manyetik alanın yardımıyla, katı-sıvı ayrılma probleminin aşılmasında daha başarılı olmuştur [41]. Dahası, atıksu arıtımına Fe_3O_4 eklenmesi, aktif çamurdaki demir bileşiklerini mıknaştırabilir ve çamur çöktürme verimliliği, manyetik kuvvetlerin parçacıkları birbirleriyle birleştirmesiyle artar [43,44].

Fe^{+2} 'in aktif çamurun düşük konsantrasyonlarda (2 mg/L) mikrobik bağlanmasına faydalı olduğu, ancak bağlanma seviyesinin yüksek konsantrasyonlarda (metal ilavesi olmadan) kontrol seviyesine düştüğü bildirilmiştir [45,46].

Farklı araştırmacılar, anaerobik çürütmedeki üstün manyetik nanopartikül formunun Fe_3O_4 olduğunu bildirmişlerdir. Fe_3O_4 'ün nanoparçacıkları, anaerobik çürütücülerdeki mikrobiyal aktiviteler için Fe_2O_3 , NiO, CuO ve Ag'den daha temel besinler olarak gösterilir [47].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Anaerobik çürütücü, atıksu çamurunu stabilize etmek ve yenilenebilir enerji üretmek için kullanılan işlemlerden biridir. Nanopartiküllere anaerobik çürütücülere eklenmesi son yıllarda metan üretimi ve proses stabilitesi için büyük ilgi görmektedir.

Nanopartiküllerin ayrıca anaerobik çürütücü hidrolizini hızlandırdığı, metan verimini artırdığı ve stabilize edilmiş çamur ürettiği belirlenmiştir. Fe_3O_4 nanopartiküller, mikroorganizma için en fazla büyüyen talep ve besin kaynağı olan nanopartiküllerden biri olarak bilinmektedir. Uygun şekilde kullanıldığında Fe_3O_4 nanopartikülleri, biyogaz verimini iyileştirmekle

kalmamakta, aynı zamanda anaerobik çürütücü işlemi sırasında metallerin mobilizasyonunu düzenlemekte ve kontrol etmektedir. Anaerobik çürütücüde hidrolik alıkonma süresi yüksek seviyelere ulaştığında, kararlı durumunun bozabileceğini söylenebilir. Yapılan bu çalışma sonucunda, Fe_3O_4 konsantrasyonu artması ile biyogaz artışı görülmüş ve Fe_3O_4 kullanılmayan kontrol düzeneklerindeki ortalama biyogaz hacmi 428,9 mL iken 0,3 g/L Fe_3O_4 ilavesinde ise ortalama olarak 572,8 mL biyogaz elde edilmiştir

Sonuç olarak, tüm araştırmalar ışığında, atık su arıtımı ve diğer alanlarda dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda manyetik demir oksidin kullanımına son zamanlarda daha fazla ilgi duyulduğu ve demir oksitin anaerobik çürütücüde biyogaz ve metan üretimini olumlu etkilediği sonucuna varılabilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Liu, X., Xu, Q., Wang, D., Zhao, J., Wu, Y., Liu, Y., Ni, B. J., Wang, Q., Zeng, G., Li, X., And Yang, Q., 2018. Improved Methane Production from Waste Activated Sludge by Combining Free Ammonia with Heat Pretreatment: Performance, Mechanisms and Applications. *Bioresource Technology*, 268, 230–236.
2. Wang, D., Liu, X., Zeng, G., Zhao, J., Liu, Y., Wang, Q., Chen, F., Li, X., Yang, Q., 2018. Understanding the Impact of Cationic Polyacrylamide on Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge. *Water Research*, 130, 281–290.
3. Ünşar, E.K., Perendeci, N.A., 2016. Nanopartiküllerin Çevresel Akıbetleri ve Anaerobik Parçalama Prosesine Etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 503–512.
4. Skinner, S.J., Studer, L.J., Dixon, D.R., Hillis, P., Rees, C.A., Wall, R.C., Cavalida, R.G., Usher, S.P., Stickland, A.D., Scales, P.J., 2015. Quantification of Wastewater Sludge Dewatering. *Water Research*, 82, 2–13.
5. Suanon, F., Sun, Q., Mama, D., Li, J., Dimon, B., Yu, C.P., 2016. Effect of Nanoscale Zero-valent Iron and Magnetite (Fe_3O_4) on the Fate

- of Metals During Anaerobic Digestion of Sludge. *Water Research*, 88, 897–903.
6. Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y.A., Abdel-Hade, M.A., Hassan, H.E., Badr, Y., 2016. Comparison of Nanoparticles Effects on Biogas and Methane Production from Anaerobic Digestion of Cattle Dung Slurry. *Renewable Energy*, 87, 592–598.
 7. Turan, N.B., Erkan, H.S., Engin, G.O., Bilgili, M.S., 2019. Nanoparticles in the Aquatic Environment: Usage, Properties, Transformation and Toxicity—A Review. *Process Safety and Environmental Protection*.
 8. Ruan, M., Zhang, X., Niu, C., Huang, B., Zhou, L., Zeng, G., Huang, D., 2015. A Feasible Strategy for Promoting Activated Sludge Hydrolysis by Using Ironporphyrin Modified Fe₃O₄ Nanoparticles as an Efficient Biomimic Catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 280, 248–255.
 9. Liu, Y., Zhang, Y., Quan, X., Li, Y., Zhao, Z., Meng, X., Chen, S., 2012. Optimization of Anaerobic Acidogenesis by Adding Fe₀ Powder to Enhance Anaerobic Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Journal*, 192, 179–185.
 10. Noonari, A.A., Mahar, R.B., Sahito, A.R., Brohi, K.M., 2019. Anaerobic Co-digestion of Canola Straw and Banana Plant Wastes with Buffalo Dung: Effect of Fe₃O₄ Nanoparticles on Methane Yield. *Renewable Energy*, 133, 1046–1054.
 11. Sezgin, Y., 2013. Çamur Azaltım Tekniklerindeki Yeni Gelişmeler Fotokatalitik Çamur Dezentegrasyonu, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 82.
 12. Feng, Y., Zhang, Y., Quan, X., Chen, S., 2014. Enhanced Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge Digestion by the Addition of Zero Valent Iron. *Water Research*, 52, 242–250.
 13. Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P., 2009. The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization. *Bioresource Technology*, 100(22), 5478–5484.
 14. Wang, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., Han, X., 2012. Optimizing Feeding Composition and Carbon-nitrogen Ratios for Improved Methane Yield During Anaerobic Co-digestion of Dairy, Chicken Manure and Wheat Straw. *Bioresource Technology*, 120, 78–83.
 15. Yin, D., Liu, W., Zhai, N., Yang, G., Wang, X., Feng, Y., Ren, G., 2014. Anaerobic Digestion of Pig and Dairy Manure Under Photo-dark Fermentation Condition. *Bioresource Technology*, 166, 373–380.
 16. Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O’dwyer, T.F., Sutton, D., Leahy, M.J., 2002. Advances in Poultry Litter Disposal Technology-A Review. *Bioresource Technology*, 83(1), 27–36.
 17. Roy, H.S., Satriyo, K.W., Praptiningsih, G.A., Salafudin, Agus, S.Y., Imam, W., Salundik, D., 2014. The Study of Optimization Hydrolysis Substrate Retention Time and Augmentation as an Effort to Increasing Biogas Productivity from *Jatropha Curcas* Linn. Capsule Husk at Two Stage Digestion, In *Energy Procedia*, 255–262.
 18. El-Mashad, H.M., Van Loon, W.K.P., Zeeman, G., Bot, G.P.A., Lettinga, G., 2003. Reuse Potential of Agricultural Wastes in Semi-arid Regions: Egypt as a Case Study. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2(1), 53–66.
 19. Ravuri, H.K., 2013. Role of Factors Influencing on Anaerobic Process for Production of Bio Hydrogen: Future Fuel. *International Journal of Advanced Chemistry*, 1(2).
 20. Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., Rana, V., 2004. Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques-A Review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1–10.
 21. Zhang, Z., Guo, L., Wang, Y., Zhao, Y., She, Z., Gao, M., Guo, Y., 2020. Application of Iron Oxide (Fe₃O₄) Nanoparticles During the Two-stage Anaerobic Digestion with Waste Sludge: Impact on the Biogas Production and the Substrate Metabolism. *Renewable Energy*, 146, 2724–2735.
 22. Gong, L., Yang, X., You, X., Wang, J., Zhou, J., Zhou, Y., Yang, J., 2019. Explore the Effect of Fe₃O₄ Nanoparticles (NPs) on Anaerobic Digestion of Sludge, *Environmental Technology*, 42(10), 1542–1551.

23. Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Abdel-Hade, M.A., Hassan, H.E., Badr, Y. 2017. Influence of Zero Valent Iron Nanoparticles and Magnetic Iron Oxide Nanoparticles on Biogas and Methane Production from Anaerobic Digestion of Manure. *Energy*, 120, 842–853.
24. Ni, S-Q, Ni, J., Yang, N., Wang, J., 2013. Effect of Magnetic Nanoparticles on the Performance of Activated Sludge Treatment System. *Bioresour Technol.*, 143, 555-61.
25. Zhang, Y., Jing, Y., Quan, X., Liu, Y., Onu, P., 2011. A Built-in Zero Valent Iron Anaerobic Reactor to Enhance Treatment of Azo Dye Wastewater. *Water Science and Technology*, 63(4), 741–746.
26. Mu, H., Chen, Y., Xiao, N., 2011. Effects of Metal Oxide Nanoparticles (TiO₂, Al₂O₃, SiO₂ and ZnO) on Waste Activated Sludge Anaerobic Digestion. *Bioresour Technol.*, 102(22), 10305–10311.
27. Liu, Y., Zhang, Y., Ni, B.J., 2015. Zero Valent Iron Simultaneously Enhances Methane Production and Sulfate Reduction in Anaerobic Granular Sludge Reactors. *Water Research*, 75, 292–300.
28. Eduok, S., Ferguson, R., Jefferson, B., Villa, R., Coulon, F., 2017. Aged-engineered Nanoparticles Effect on Sludge Anaerobic Digestion Performance and Associated Microbial Communities. *Science of the Total Environment*, 609, 232–241.
29. Ma, F., Lu, X., Wang, S., Wang, H., Zhao, G., 2018. Improved Process Performance of the Acidification Phase in a Two-stage Anaerobic Digestion of Complex Organic Waste: Effects of an Iron Oxide-zeolite Additive. *Bioresour Technol.*, 262(April), 169–176.
30. Zhang, Y., Yang, Z., Xu, R., Xiang, Y., Jia, M., Hu, J., Zheng, Y., 2019. Enhanced Mesophilic Anaerobic Digestion of Waste Sludge with the Ironnanoparticles Addition and Kinetic Analysis. *Science of the Total Environment*, 683, 124–133.
31. Romero-Güiza, M., Zahedi, S., Monsalvo, V., Icaran, P., Pijuan, M., 2019. Nitrite and Free Nitrous Acid Sludge Pre-treatments to Enhance Methane Production in Continuous Anaerobic Digestion: Comparing Process Performance and Associated Costs. *Waste Management*, 95, 526–534.
32. Casals, E., Barrena, R., García, A., González, E., Delgado, L., Busquets-Fité, M., Font, X., Arbiol, J., Glatzel, P., Kvashnina, K., Sánchez, A., Puentes, V., 2014. Programmed Iron Oxide Nanoparticles Disintegration in Anaerobic Digesters Boosts Biogas Production. *Small*, 10(14), 2801–2808.
33. Goyal, P., Chakraborty, S., Misra, S.K., 2018. Multifunctional Fe₃O₄-ZnO Nanocomposites for Environmental Remediation Applications. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 10(March), 28–35.
34. Demirel, B., Scherer, P., 2011. Trace Element Requirements of Agricultural Biogas Digesters During Biological Conversion of Renewable Biomass to Methane. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 992–998.
35. Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sánchez, A., Puentes, V., 2009. Evaluation of the Ecotoxicity of Model Nanoparticles. *Chemosphere*, 75(7), 850–857.
36. Ateş, N., 2020. Manyetik Nanopartiküllerin Anaerobik Çürütme Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 89.
37. Demir, Ö., 2018. Synthesis of Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles and its Applicationın Catalytic Degradation of Sulfamethoxazole in Water. *J.Chem.Soc.Pak.*, 40(01), 111–122.
38. APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Ed.; Apha: Washington, Dc, Usa, 2005. American Water Works Association/American Public Works Association/Water Environment Federation.
39. Ünşar, E.K., 2018. What Kind of Effects do Fe₂O₃ and Al₂O₃ Nanoparticles Have on Anaerobic Digestion, Inhibition or Enhancement?, 211, 726–735.
40. Zhang, Y., Jing, Y., Zhang, J., Sun, L., Quan, X., 2011. Performance of a ZVI-uasb Reactor for Azo Dye Wastewater Treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86(2), 199–204.
41. Gupta, V.K., Nayak, A., 2012. Cadmium Removal and Recovery from Aqueous Solutions By Novel Adsorbents Prepared from

- Orange Peel and Fe_2O_3 Nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 180, 81–90
42. Ghaedi, M., Hajjati, S., Mahmudi, Z., Tyagi, I., Agarwal, S., Maity, A., Gupta, V.K., 2015. Modeling of Competitive Ultrasonic Assisted Removal of the Dyes-Methylene Blue and Safranin-O using Fe_3O_4 Nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 268, 28–37.
43. Hattori, S., Watanabe, M., Osono, H., Togii, H., Sasaki, K., 2001. Effects of an External Magnetic Field on the Flock Size and Sedimentation of Activated Sludge. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(9), 833–838.
44. Ozaki, H., Liu, Z., Terashima, Y., 1991. Utilization of Microorganisms Immobilized with Magnetic Particles for Sewage and Wastewater Treatment, in *Water Science and Technology*, 1125–1136.
45. Hao, W., Li, Y., Lv, J., Chen, L., Zhu, J., 2016. the Biological Effect of Metal Ions on the Granulation of Aerobic Granular Activated Sludge. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 44, 252–259.
46. Chen, Y., Ren, X., Gao, M., Zhao, Y., Guo, L., Shao, M., She, Z., 2018. The Influence of Fe^{2+} , Fe^{3+} and Magnet Powder (Fe_3O_4) on Aerobic Granulation and Their Mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164(August), 1–11.
47. Yang, Y., Zhang, C., Hu, Z., 2013. Impact of Metallic and Metal Oxide Nanoparticles on Wastewater Treatment and Anaerobic Digestion. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 15(1), 39–48.

Su Kanalı İçerisinde Isıtılmış Dairesel Bir Silindir Çevresinde Sıcaklık Ölçüm Sistemi Tasarımı

Doğan Burak SAYDAM¹, Ertaç HÜRDOĞAN*¹, Coşkun ÖZALP¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 08.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Bu çalışmada, dairesel bir silindir etrafındaki ısı transferinin incelenmesi için tasarlanmış bir sıcaklık ölçüm sistemi ele alınmıştır. Çalışmada, alüminyum bir silindir içerisine yerleştirilen elektrikli rezistans vasıtasıyla silindir yüzeyinde sabit sıcaklık elde etmek için bir sıcaklık ölçüm sistemi tasarlanmış ve ilk ölçümlerin değerlendirilebilmesi amacıyla farklı Reynolds (Re) sayıları için silindir etrafındaki sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Açık su kanalı içerisinde yapılan deneylerdeki sıcaklık ölçümlerinin anlık izlenebilmesi, kontrolü ve kayıt altına alınabilmesi için bir Merkezi Kontrol ve Veri Toplama Sistemi (SCADA) sistemi kurulmuş, ölçümlerin doğruluğu için gerekli kalibrasyonlar yapılmış ve ölçüm sistem bileşenlerinin belirsizlikleri hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler sonucunda, tasarlanan sıcaklık ölçüm sisteminin sorunsuz bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Farklı Re sayılarında yapılan deneylerden, sıcaklıkların akışa bağlı olarak silindir çevresi boyunca değişim gösterdiği ayrıca Re sayısının artması ile silindir çevresindeki sıcaklığın düştüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isıtılmış silindir, Açık su kanalı, Sıcaklık ölçümü, Isı transferi

Design of a System for Temperature Measurement Around a Heated Circular Cylinder in a Water Channel

Abstract

In this study, a temperature measurement system designed to investigate the heat transfer around a circular cylinder was considered. In the study, a temperature measurement system was designed to obtain a constant temperature on the cylinder surface by means of an electrical resistance placed in an aluminum cylinder, and the change of temperature around the cylinder was investigated for different Reynolds (Re) numbers within the scope of the evaluation of the first measurements. A Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system was established in order to instantly monitor, control and record the temperature measurements in the experiments carried out in the open water channel, the necessary calibrations were made for the accuracy of the measurements and the uncertainties of the measurement system components were calculated. As a result of the data obtained from the experiments, it has been seen that the designed temperature measurement system works without any problems. From the experiments conducted with different Re numbers, it was observed that the temperatures varied along the circumference of the cylinder depending on the flow and the temperature around the cylinder decreases with the increase of Re number.

Keywords: Heated cylinder, Open water channel, Temperature measurement, Heat transfer

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Isı geçişinin belirlenmesi, yanma odaları, endüstriyel kazanlar, döküm uygulamaları, binaların termal yönetimi, havacılık mühendisliği gibi farklı teknoloji ve mühendislik uygulamalarında büyük öneme sahiptir. Bununla birlikte, ısı geçişi veya ısı transfer katsayısının belirlendiği bir yüzeye erişim her zaman mümkün olamamaktadır [1]. Giydirilmiş yüzeylerde yüzey sıcaklığı, ısı transferi analizlerinde ölçülecek başlıca parametrelerden biridir. Fakat dıştan zorlanmış konveksiyon koşullarına maruz bırakılan bir cismin yüzey sıcaklığının ölçülmesi oldukça zor bir uygulamadır ve ısıtılmış yüzeylerde uygun yüzey sıcaklığı ölçüm tekniklerine ilişkin bilgiler çok sınırlıdır. Yüzey sıcaklık ölçümünde kullanılacak olan tekniğin akış ve yüzey koşullarını olumsuz etkilememesi de ölçüm yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan bir tanesidir [2,3]. Değişken şartlara sahip ortamların veya yüzeylerin sıcaklık ölçümünde, basit yapısı, düşük maliyeti ve sağlamlığı nedeniyle ısı eleman çiftleri (termokupllar) yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Literatürde, değişken şartlara sahip ortamlarda yer alan cisimlerdeki yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi ile ilgili farklı çalışmalar yer almaktadır [5-10]. Tsutsui ve Igarashi [5], bir rüzgâr tüneline silindir etrafındaki ısı geçişini incelemek için bir akrilik reçineden imal edilen borunun yüzeyini 0,02 mm kalınlığında paslanmaz çelik sac ile kaplamışlardır. Paslanmaz çelik sacın alt tarafına her bir ölçüm noktasının arası 10° aralıklarla konumlandırılacak şekilde 0,1 mm çapında bakır-konstantan (C-C) ısı çiftleri yerleştirilerek sıcaklık ölçümlerini gerçekleştirmişler ve yüksek doğrulukta ölçüm sonuçları elde etmişlerdir. Gau ve arkadaşları [6], rüzgâr tüneline ısıtılmış yatay bir silindirin akış ve ısı geçişini incelemişlerdir. Çalışmada silindirin çevresini 0,015 mm kalınlığındaki ince paslanmaz çelik folyo ile kaplamışlar ve daha sonra elektrik akımını folyodan geçirerek silindir yüzeyi istenen seviyede homojen olarak ısıtmışlardır. Euler ve arkadaşları [7], katmanlı girdap gövdeli bir brülörün (Cambridge/Sandia Stratified Swirl Burner) yüzey

sıcaklığı ölçümlerinin incelemesini yapmışlardır. Yazarlar, yüzey sıcaklık ölçümlerini lazer kaynaklı fosforlama (phosphorescence) tekniği ile gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklıklar, fosforun bozulma süresinin ölçülmesiyle elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, sıcaklığın farklı çalışma koşulları için 550-900 K aralığında değiştiğini gözlemlenmiştir. Yan ve arkadaşları [8], bir spektrometre ve yüksek hızlı bir kameranın eşzamanlı kullanımıyla nesnelerin sıcaklık ölçümü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sıcaklıklar spektrometre ve yüksek hızlı kamera kullanılarak dört farklı alev koşulunda ölçülmüş ve ısı eleman çiftlerinin sıcaklık ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Isıl eleman çiftleri vasıtasıyla alınan veriler, bir veri toplama kartına bağlanarak LabVIEW programı yardımıyla işlenmiştir. Çalışma sonucunda tasarlanan sistemin, yanma sırasında değişken sıcaklık ve emisyon değerlerine sahip katı yakıt parçacıkları gibi nesnelerin sıcaklık ölçümleri için kullanılabilmesinin uygun olabileceği vurgulanmıştır.

Literatürde yer alan yüzeyden sıcaklık ölçümü çalışmalarında farklı yöntemler kullanılmakla birlikte özellikle akış ve ısı transferi özelliklerinin birlikte incelendiği silindirik cisimlerin sıcaklık ölçümü çoğunlukla rüzgâr tüneline kullanılması ve cisim üzerine farklı metal aksesuarların giydirilmesi sonucunda yapılmıştır. Bu çalışmada ise farklı yüzey geometrisine sahip dönen ve dönmeyen silindirlerin akış ve ısı geçişine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi için bir su kanalı içerisinde bulunan ısıtılmış dairesel bir silindir etrafında sıcaklık ölçüm sisteminin tasarımı yapılmış ve ilk deneysel sonuçlar analiz edilmiştir. Çalışma bu yönüyle özellikle su kanalı içerisinde yüzeyden sıcaklık ölçümü yapılacak uygulamalara referans olmayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

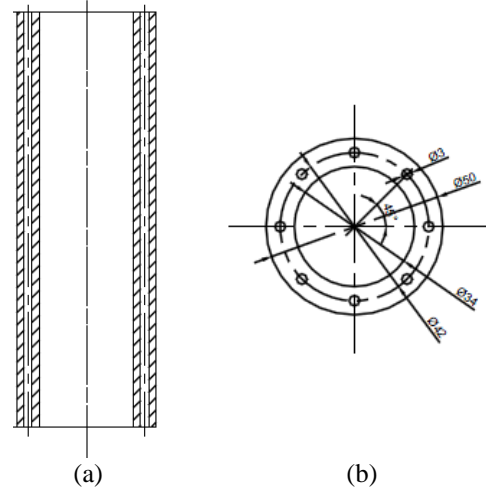
Çalışmada kapsamında tasarımı yapılan sistemde sıcaklık ölçümleri için K tipi ısı eleman çiftleri kullanılmıştır. Isıl eleman çiftleri iki farklı alaşımın ucunun birleştirilmesi ile oluşturulan basit bir sıcaklık

ölçüm elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Isıl eleman çiftinin ölçüm prensibi sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Isıl eleman çiftlerinin daha doğru ve hassas ölçüm yapabilmesi için tel uçlarının birbirleri ile birleştirilmesinde kaynak yöntemi kullanılmaktadır [11].

Sıcaklık ölçümünde kullanılacak ısıl eleman çiftleri ile ilgili çalışmaların (uçların birleştirilmesi, izolasyon, vb.) tamamlanmasından sonra ısıtılmış yüzeye sahip silindirlerin imalat aşamasına geçilmiştir. Öncelikle alüminyum malzemeden yapılmış silindir bloğunun içi, fişek tipi ısıtıcı rezistansı (Şekil 1) yerleştirebilmek için boşaltılmıştır. Daha sonra silindir etrafındaki ısı geçişinin incelenebilmesi amacıyla silindir çevresi boyunca silindir merkezi referans alınarak eşit açılarla (45°) konumlanmış 8 noktada dış yüzey sıcaklıkları ölçüm noktaları belirlenmiş ve bu noktalara ısıl eleman çiftlerini yerleştirebilmek için silindir derin delme yöntemi ile delinmiştir. Şekil 2’de deney silindirinin üst ve yan görünüşünün yer aldığı teknik çizimler yer almaktadır. Şekil 3a’da deneylerde kullanılmak üzere tasarlanarak imal edilen ve içerisinde ısıtıcı bulunan ve ısıl eleman çiftleri için oluşturulan deliklerin bulunduğu deney silindirinin, Şekil 3b’de ise ısıl eleman çiftlerinin silindir içerisine yerleştirildiği halinin görselleri yer almaktadır. Deney silindirinde, çevresi boyunca eşit açılara ayrılarak silindir merkezini referans alacak şekilde oluşturulan sekiz noktadan, ısıl eleman çiftleri ile ölçüm alınmaktadır. Şekil 4’de silindir yüzeyinden sıcaklık ölçümü yapılabilmesi için oluşturulan ölçüm noktalarının görseli yer almaktadır. Silindir yüzeyinde ölçüm noktalarına açılan deliklerin içerisine sıkı geçme yöntemi ile yerleştirilmek üzere torna işlemi ile eşdeğer kapaklar imal edilmiş ve ısıl eleman çiftlerinin birleştirilmiş uçları kapaklara tutturulmuştur. Kapakların bulunduğu noktalar ve silindir alt ve üst yüzeyleri, su izolasyonunu sağlamak için sıvı conta ile kaplanmıştır. Bu sayede kanal içerinden ölçüm noktalarına ve deliklerin içerisine su girişi engellenmiştir.



Şekil 1. Fişek tipi ısıtıcı rezistansın gerçek resmi



Şekil 2. Isıtılan silindirin yan (a) ve üst (b) görünüşüne ait teknik çizim



Şekil 3. Deney silindirinin (a), ve ısıl eleman çiftlerinin yerleştirilmiş halinin (b) resmi

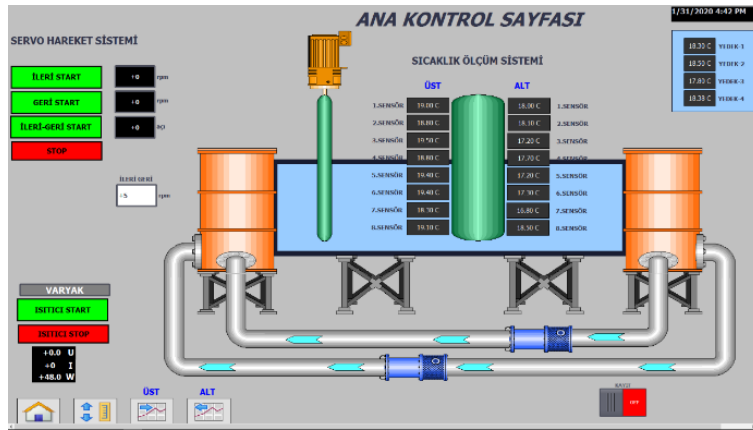


Şekil 4. Silindirin yüzeyinde oluşturulan ölçüm noktalarının resmi

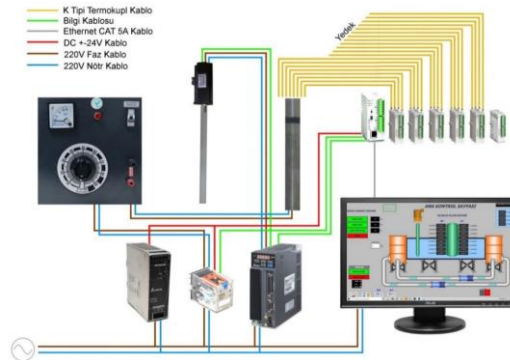
2.2. Yöntem

Isıtılmış yüzeye sahip silindirlerin imalat aşamasının tamamlanmasından sonra hareket sistemi ve sıcaklık ölçüm sistemleri kurulmuş ve bu

sistemlerin kontrolünde kullanılacak otomasyon panosu devreye alınmıştır. Şekil 5’de tüm kontrollerin yapıldığı SCADA sistemine ait görsel yer almaktadır. Şekilde, deneylerin yapıldığı kapalı devre açık su kanalının, hareket sisteminin, sıcaklık ölçümlerinin anlık olarak izlendiği ve kaydedildiği sıcaklık ölçüm sisteminin ve silindir yüzey sıcaklıklarının değiştirilmesinde kullanılan varyak sistemi görülebilmektedir. Sistemde kapalı devre açık su kanalında akışın hızını ve kanallar arasında su sirkülasyonunun gerçekleştirilmesini sağlayan iki adet eksenel santrifüj pompa yer almaktadır. SCADA sisteminde ayrıca silindir etrafında sıcaklıkların ölçüldüğü ve ölçümlerin anlık olarak izlendiği sıcaklık ölçüm sisteminin ve bir varyak ile silindir içerisinde bulunan rezistansın kontrol edildiği varyak kontrol sistemi de yer almaktadır (Şekil 6).



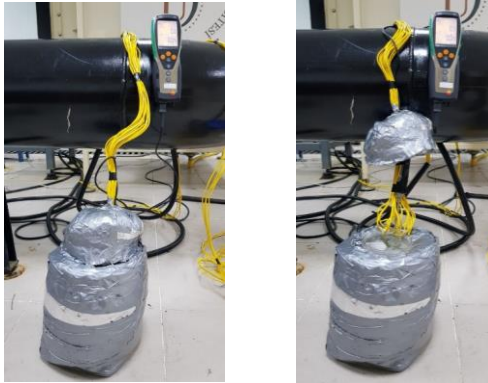
Şekil 5. SCADA sisteminin anlık ekran görüntüsü



Şekil 6. Sıcaklık ölçüm ve kontrol sisteminin şematik gösterimi

Isıtılacak silindirlerin imalatı ve sıcaklık ölçüm sisteminin kurulmasından sonra sıcaklık ölçümlerinde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin kalibrasyonu çalışmalarına geçilmiştir. Kalibrasyon çalışmalarında, referans sıcaklık tespiti için TÜRKAK standartlarına göre yapılmış güncel kalibrasyon sertifikasına sahip TESTO marka 435 model numaralı sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Silindir etrafındaki sıcaklık değişiminin ölçümünde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin kalibrasyonu farklı sıcaklıklar için yapılmıştır. Şekil 7’de kalibrasyon yapabilmek için oluşturulan kalibrasyon düzeneği (su banyosu) ve çalışmalara ait görseller yer almaktadır. Oluşturulan düzeneğin etrafı ısı kayıplarını en alt seviyeye indiregebilmek için 5 cm cam yünü ile kaplanmıştır.

Düzeneğin içerisine farklı sıcaklıklarda (buzlu su, sıcak su, soğuk/sıcak su karışımı) akışkan gönderilerek kalibrasyon çalışmaları için gerekli farklı sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

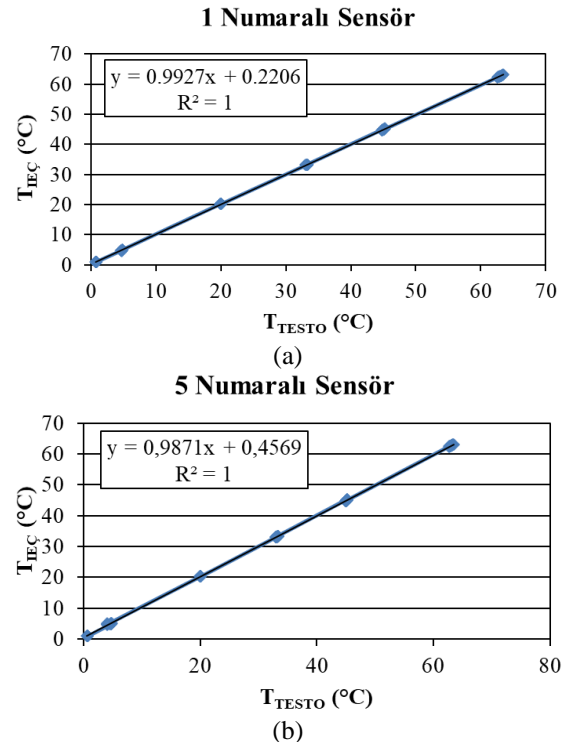


Şekil 7. Kalibrasyonların gerçekleştirildiği deney düzeneği

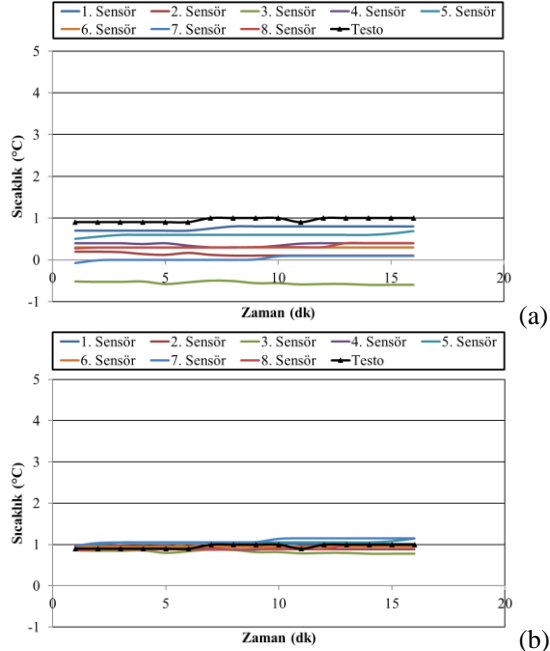
3. BULGULAR

Sistemde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin (8 adet) kalibrasyonu için 6 farklı sıcaklıkta ($\cong 1^\circ\text{C}$, 4°C , 20°C , 33°C , 45°C , 63°C) testler gerçekleştirmiştir. Her bir test sıcaklığında (her test 15 dakika süreyle yapılmıştır), ısı eleman çiftleriyle ölçülen sıcaklık ($T_{IEÇ}$), TESTO referans cihazıyla ölçülen sıcaklıkla (T_{TESTO}) karşılaştırılarak her bir ısı eleman çifti için

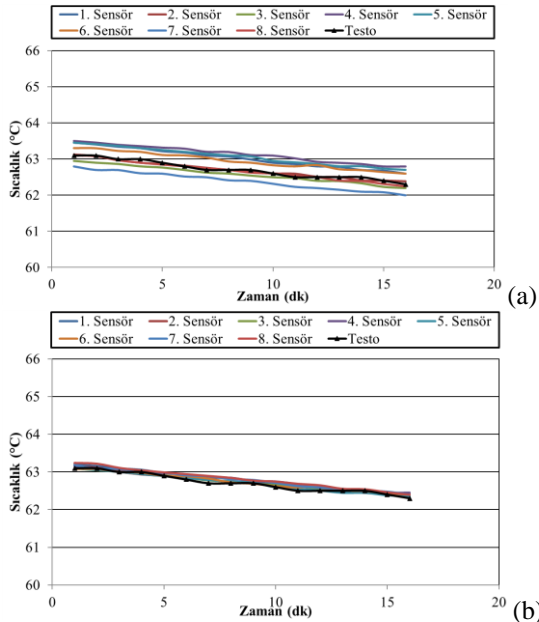
kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 8’de örnek olarak 1 (Şekil 8a) ve 5 (Şekil 8b) nolu ısı eleman çiftleri (sensör) için elde edilmiş eğrilere ait grafikler yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde oluşturulan formüllerde yakınsamanın çok iyi olduğu ($R^2=1$) görülmektedir. Benzer eğriler diğer ısı eleman çiftleri için de elde edilmiştir. Kullanılacak her bir ısı eleman çiftinin kalibrasyon eğrilerinin elde edilmesiyle ölçümlerin doğruluğu sağlanmıştır. Şekil 9 ve 10’da sırasıyla düşük ($\cong 1^\circ\text{C}$) ve yüksek ($\cong 63^\circ\text{C}$) sıcaklıkta yapılan testlerde, ısı eleman çiftlerinin kalibrasyon öncesi ve sonrasındaki sıcaklıkların değişimi verilmiştir. Şekillerden, kalibrasyon eğrileri ile düzeltilmeden önce gerçek sıcaklık değerleri (Testo) ve ısı eleman çiftleri (1-8. sensör) ile ölçülen sıcaklıklar arasındaki farklılıkların, kalibrasyon çalışması sonunda elde edilen eğriler kullanılmasıyla ortadan kalktığı (düzeltilen ısı eleman çifti sıcaklık değerleri, gerçek değere yaklaşmıştır) dolayısıyla elde edilen eğrilerin kullanılabilir olduğu görülmektedir.



Şekil 8. 1(a) ve 5(b) nolu ısı eleman çiftlerine ait kalibrasyon eğrilerinin yer aldığı grafikler

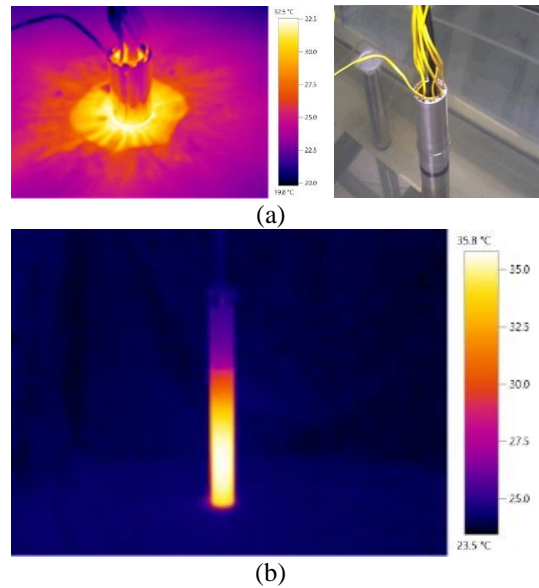


Şekil 9. Düşük sıcaklıktaki ($\cong 1^{\circ}\text{C}$) testler için kalibrasyon öncesi (a) ve sonrası (b) sıcaklık değişimleri

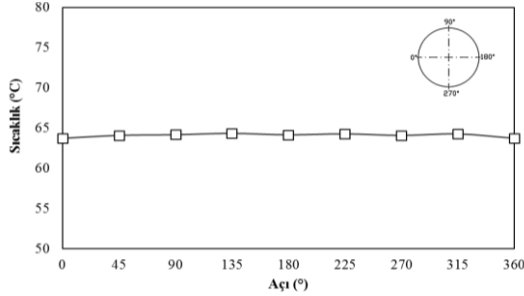


Şekil 10. Yüksek sıcaklıktaki ($\cong 63^{\circ}\text{C}$) testler için kalibrasyon öncesi (a) ve sonrası (b) sıcaklık değişimleri

Tasarımı yapılan ölçüm sisteminde silindirin ısıtılması, silindir içerisinde fişek rezistans kullanılarak sağlanmıştır. Isıtılan silindir etrafındaki incelemelere geçmeden önce kullanılan rezistansın yaydığı ısının silindir yüzeyine üniform yayılıp yayılmadığı test edilmiştir. Isıtılan silindir çevresindeki sıcaklık dağılımının yüzeylerde nasıl değiştiğini görmek için farklı ısıtma kapasiteleri (varyak %30 ve %100) için farklı perspektiflerde termal kamera ile ölçümler yapılmıştır. Termal kamera görüntüleri Şekil 11’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde silindir çevresinde homojen bir sıcaklık dağılımı olduğu dolayısıyla rezistansın ısıyı tüm yüzeylere eşit bir şekilde yaydığı görülmektedir. Yapılan testler kapsamında silindir etrafındaki sıcaklık dağılımı (açılara göre değişim), kanal durgun haldeyken ve varyak tam kapasite (%100) çalışır durumda iken de incelenmiştir. Şekil 12’de durgun su kanalı içerisinde bulunan silindirin, varyak tam kapasitede çalıştığı esnada yapılan testten elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçları verilmiştir. Silindir etrafındaki farklı açılara karşılık gelen sıcaklık değişimleri incelendiğinde, silindir yüzeyinde homojen bir sıcaklık dağılımı olduğu görülmektedir.



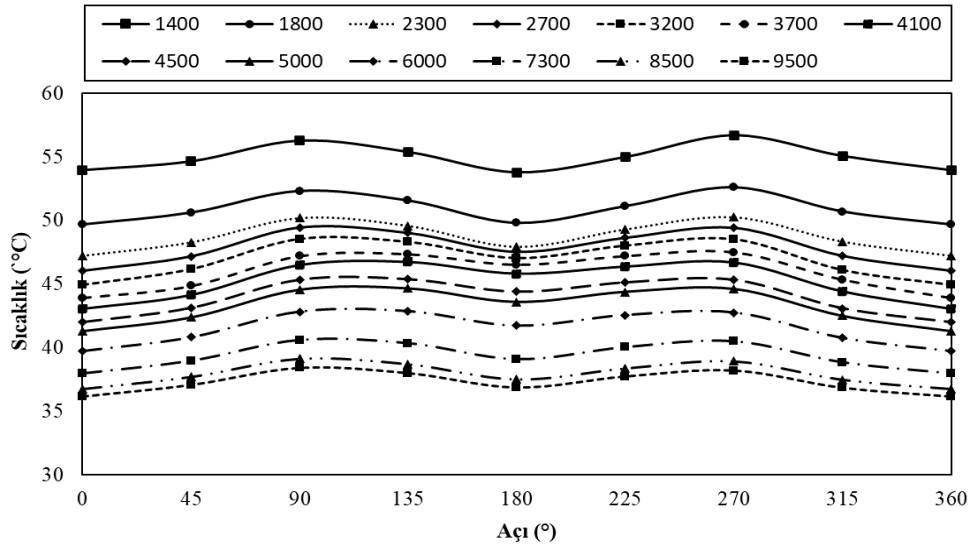
Şekil 11. Silindir etrafındaki sıcaklık dağılımının durgun kanalda su içerisinde (a) ve dış ortam havasında (b) görüntülenmesine ait görsel



Şekil 12. Durgun kanalda ısıtılan silindirin farklı noktalarındaki (açı) sıcaklık değişimi

Kontrolü ve testleri yapılan sıcaklık ölçüm sisteminin ilk ölçüm sonuçlarının değerlendirilebilmesi amacıyla silindir yüzeyindeki sıcaklık dağılımı farklı Re sayıları için incelenmiş ve her bir Re sayısındaki sıcaklık değişimleri Şekil 13'de verilmiştir. Çalışmada laminar

($Re \leq 2300$), geçiş ($2300 \leq Re \leq 4000$) ve türbülanslı ($Re \geq 5000$) akış yapılarında silindir etrafındaki sıcaklık değişimi incelenmiştir [12]. Laminar akışta akışkan parçacıkları bir yörünge (akım çizgisi) doğrultusunda düzenli bir şekilde akarken, türbülanslı akış yapısında dönen girdaplardan kaynaklı olarak düzensiz bir akış yapısı oluşmaktadır. Sınır tabakanın Reynolds sayısına göre değişmesi nedeniyle, silindir üzerinden koparak oluşan girdapların yapısı da akışın Reynolds sayısına göre değişiklik göstermektedir. Şekil 13 incelendiğinde, akış hızının yükselmesiyle (Re sayısı arttıkça), akış yapısındaki düzensizliklerden kaynaklı olarak silindir yüzeyindeki sıcaklıkların düştüğü görülmektedir. Şekilden ayrıca, sıcaklık değerlerinin silindir yüzeyindeki akışa bağlı olarak açılara göre değiştiği görülmektedir.



Şekil 13. Farklı Reynolds sayılarında ölçüm noktalarındaki sıcaklık değişimi

4. SONUÇ

Literatürde yapılan çalışmalarda cisimler etrafındaki akış yapısı incelenirken termal etkiler için genelde akışkan ortamı olarak hava kullanılmıştır. Sızdırmazlık problemi nedeni ile su içerisinde termal ölçümlere az sayıda rastlanılmıştır. Termal etkilerden kaynaklı yoğunluk değişimi ile silindir yüzeyinde oluşabilecek yukarı yönlü

hareketleri önleyebilmek için silindir yüzeyi sıcaklığı ve iş akışkanı olan su sıcaklığı arasındaki fark düşük tutulmuştur. Çalışmada, ısıtılan bir silindir etrafındaki ısı geçişinin değişimini inceleyebilmek için Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarlarında su kanalında kullanılmak üzere bir sıcaklık ölçüm sistemi tasarlanıp, kurulmuş ve sıcaklık ölçümleri başarı ile alınmıştır.

Gerçekleştirilen ilk deneylerden, sistemin hassas ve düzenli bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile tasarım sırasında öngörülen değerler arasında iyi bir uyum olduğu belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından sırasıyla OKÜBAP-2019-PT3-021 ve TÜBİTAK-218M357 projeleri kapsamında desteklenmiştir. OKÜBAP ve TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Cebula, A., Taler, J., Ocloń, P., 2018. Heat Flux and Temperature Determination in a Cylindrical Element with the Use of Finite Volume Finite Element Method. *International Journal of Thermal Sciences*, 127, 142-157.
2. Liptak, B.G., 2002. *Instrument Engineers Handbook*, 3rd ed. CRC Press.
3. Govinder, K., Slabber, J.F., Meyer, J.P., 2020. External Surface Temperature Measurements for the Heat Transfer Analysis of Internally Heated Cylindrical Clad-tubes Subjected to External Forced Convection Bulk Water Coolant Thermal-hydraulic Conditions. *Nuclear Engineering and Design*, 368, 110779.
4. Li, Y., Zhang, Z., Zhao, C., Hao, X., Dong, N., Yin, W., Pang, Z., 2020. Laser Based Method for Dynamic Calibration of Thermocouples. *Applied Thermal Engineering*, 174, 115276.
5. Tsutsui, T., Igarashi, T., 2006. Heat Transfer Enhancement of a Circular Cylinder. *Journal of Heat Transfer*, 128(3), 226-233.
6. Gau, C., Wu, J.M., Liang, C.Y., 1999. Heat Transfer Enhancement and Vortex Flow Structure Over a Heated Cylinder Oscillating in the Crossflow Direction. *Journal of Heat Transfer*, 121, 789-795.
7. Euler, M., Zhou, R., Hochgreb, S., Dreizler, A., 2014. Temperature Measurements of the Bluff Body Surface of a Swirl Burner Using Phosphor Thermometry. *Combustion and Flame*, 161(11), 2842-2848.
8. Yan, W., Panahi, A., Levendis, Y.A., 2020. Spectral Emissivity and Temperature of Heated Surfaces Based on Spectrometry and Digital Thermal Imaging-validation with Thermocouple Temperature Measurements. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 112, 110017.
9. Ghorbani-Tari, Z., Chen, Y., Liu, Y., 2017. End-wall Heat Transfer of a Rectangular Bluff Body at Different Heights: Temperature-sensitive Paint Measurement and Computational Fluid Dynamics. *Applied Thermal Engineering*, 122, 697-705.
10. Tsutsui, T., Igarashi, T., Nakamura, H., 2001. Drag Reduction and Heat Transfer Enhancement of a Square Prism. *JSME International Journal Series B Fluids and Thermal Engineering*, 44(4), 575-583.
11. Saydam, D.B., 2020. Aktif Akış Kontrol Tekniği Uygulanan Bir Silindir Etrafında Sıcaklık ve Hız Dağılımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 185, Osmaniye.
12. Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., Engin, T., 2012. *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*, Güven Kitabevi.

Yüksek Gerilim Kabloları için Güvenilir Mekanik Konektör Tasarımı ve Direnç Kontrol Analizi

Ahmet FEYZİOĞLU*¹

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 19.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Yüksek gerilim kabloları, elektrik iletim şebekelerinin ve özellikle de elektrik dağıtım şebekelerinin değişmez ve en önemli parçalarıdır. Bu kabloların uzunluğu sınırlı olduğundan enerji hatlarının devamlılığını sağlayacak kablo bağlantı mekanizmaları kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada, elektrik iletiminde yüksek gerilim kablo sistemleri için bağlantı elemanı olarak kullanılan mekanik konektörlerin optimum özelliklere sahip tasarımının geliştirilmesi ve prototip üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda konektörün bozunma mekanizmaları ve konektör tasarım gereksinimleri araştırılarak 4 farklı tasarım geliştirilmiştir. Bu mekanik konektörler, 154 kV'lık taşıma kapasitesi ve $700 \pm 100 \text{ mm}^2$ kesit alanı özelliklere sahip bakır kablolar için geliştirilmiş olup tel kesitine göre yapılandırılabilir niteliktedir. Geliştirilen tasarımlar matematiksel modelleme ortamına aktarılarak mukavemet analizleri yapılmış yer değiştirme (m) ve güvenlik katsayıları incelenmiştir. Mukavemet sonuçlarının uygunluğunun incelenmesi takiben tasarımların kanıtlanması için üretimi yapılmıştır. Güç sistemi ve konektörlerin bulunduğu yüksek gerilim hattından oluşan test düzeneği üzerinde 70'şer dakikalık 50'şer yük çevrim testi yapılarak direnç, akım ve gerilim değerleri gözlemlenmiştir ve uygunluğu (VDE 0220 ve CENELEC standartlarına uygun) incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek gerilim, Konektör, Mekanik tasarım, Kablo bağlantı mekanizmaları

Reliable Mechanical Connector Design and Resistance Control Analysis for High Voltage Cables

Abstract

High voltage cables are the most important and unchangeable parts of electricity transmission networks and especially electricity distribution networks. Since the length of these cables is limited, it is necessary to use cable connection mechanisms to ensure the continuity of power lines. In this study, it is aimed to develop the optimum design and prototype production of mechanical connectors used as connecting elements for high voltage cable systems in electrical transmission. For this purpose, 4 different designs have been developed by investigating the degradation mechanisms of the connector and the connector design requirements. These mechanical connectors have been developed for copper cables with a carrying capacity of 154 kV and a cross section of $700 \pm 100 \text{ mm}^2$ and are configurable according to the wire cross section. The developed designs were transferred to the mathematical modelling platform and their strength analysis was made and the displacement (m) and safety coefficients were examined. After examining the suitability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet FEYZİOĞLU, ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr

of strength results, prototypes of designs were produced. Resistance, current and voltage values were observed by performing 50 load cycle tests for 70 minutes and their suitability (in accordance with VDE 0220 and CENELEC standards) was examined.

Keywords: High voltage, Connector, Mechanical design, Cable connectors

1. GİRİŞ

Son yıllarda şehirlerde artan nüfus yoğunluğu ve elektrikli eşyaların çeşitlenip ucuzlaması neticesinde daha çok insanın kullanımına girmesi elektrik aktarım ve dağıtım sistemlerinin eskisinden çok daha fazla yük taşımaya ve dolayısıyla daha yüksek operasyon sıcaklıklarında çalışmak zorunda kalmasına neden olmuştur. Deneysel sonuçlar ve servis raporları daha güvenilir güç bağlantılarının şu an kullanımda olan rutin teçhizat ve metotlarla sağlanamayacağını ortaya koymuştur [1,2]. Bunun yanında, servis vermekte olan konektörlerin ne kadar bozunmaya uğradığı düzgün bir biçimde ortaya konulamadığı için bakım aralıkları kestirilememektedir [3-8]. Değişik yüklenme koşulları altında bağlantı elemanı materyallerinin bozunma mekanizmaları hala tam olarak bilinmemektedir. Bunun başlıca iki sebebi vardır; ilki konektör bozunumu zamanla oluştuğu için saha tecrübesi ortaya net bir bilgi koymamaktadır, ikinci ve asıl önemlisi ise başarısızlığa uğramış konektörlerin termal kaçaklarla ilintili olması neticesinde, konektörün hangi bozunma mekanizması sonucu başarısızlığa uğramış olduğunun teşhis edilememesidir [9-11]. Bu durum konektörler için uygun materyal ve metotların seçilememesi ve dolayısıyla yeterince güvenilir konektörlerin üretilmemesiyle sonuçlanmaktadır. Konektörler genellikle elektrik networklerinin zayıf halkaları olarak bilinmektedirler. Konektörlerin stabiliteyi kaybetmesi çoğu zaman tüm elektrik networkünün bozulmasıyla sonuçlanır. Bu durumun ortaya çıkmasında konektörlerin zamanla kimyasal bozunmaya uğramasının yanında, kusurlu montaj sonucu ortaya çıkan fiziksel bozunmalar da önemli yer tutmaktadır [12].

Yüksek gerilim yeraltı kablolarının üretimi esnasında karşılaşılan mekanik sınırlamalar (üretim tekniği gereği karşılaşılan doğal sınırlamalar) ve sevkiyatı sırasında karşılaşılan engeller nedeniyle

kablolar sınırlı uzunluklarda üretilmekten olup; enerji hattının devamlılığını sağlamak adına sınırlı kablo uzunlukları yüksek gerilim kablo ekleri yani konektörler ile birleştirilerek istenilen hat devamlılığı sağlanmaktadır [13]. Literatürde iletkenler arasındaki elektriksel bağlantıların mekanik, kaynaşma-lehim (füzyon) veya basınç (kompresyon) gibi birleştirme yöntemleri ile yapıldığı görülmüştür. Bu doğrultuda montaj yöntemlerine ve yapılarına göre farklı şekillerde 3 çeşit konektör ortaya çıkmaktadır. Bunlar mekanik, kompresyon ve füzyon konektörlerdir [14].

Füzyon, lehimleme ve sert lehimlemede olduğu gibi iki ana metalin veya üçüncü bir metalin eritilerek birleştirilmesini içerir. Bu yöntem elektrik bağlantılarını birleştirmenin en eski yöntemlerinden biridir. İyi yapılmış bir lehimli bağlantı iyi bir bağlantıdır, ancak kalite doğrudan beceriye bağlıdır ve inceleme neredeyse imkansızdır. Lehimleme, farklı metaller ve akıların eklenmesiyle korozyon olasılığını artırır. Ayrıca lehimleme sertleştirme yoluyla iletkeni zayıflatabilir ve ısı birleşimindeki kablo yalıtımına zarar verebilir. Lehimin düşük erime noktası, aşırı yük koşullarında eklem arızalanmasına neden olabilir [15].

Kompresyon-basınç bağlantıları, ana metallerdeki çakışan uçlar arasındaki fiziksel temasla yapılır. Uygun basınçta bile konektörden itibaren uçlar deforme olabilmekte ve daha büyük bir temas ve iletken alan oluşabilmektedir [16]. Ayrıca farklı iletkenlerin ve/veya konektörlerin eşit olmayan genişlemeleri nedeniyle, iletken ve konektör arasında boşluklar yeniden oluşabilmektedir [17]. Bağlantı hava geçirmez değilse, bu boşluklar oksitlerin oluşması için bir yer sağlamış olur [18].

Yüksek ve orta gerilim hatlarında bahsedilen 3 tip konektörden sadece iki tipinin (mekanik, kompresyon) kullanıldığı görülmektedir [14]. Ayrıca yüksek ve orta gerilim alanlarında yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların genellikle

kompresyon konektörler üzerinde olduğu görülmektedir [19]. Kompresyon ve mekanik konektör kıyaslandığında mekanik konektör sahip olduğu özelliklerden dolayı daha avantajlıdır ve kullanımı daha yaygındır. Bu özellikler:

- 1- Kompresyon konektörde her enine kesit için özel bir kıvrım konektörü gereklidir. Mekanik konektör alçak ve orta gerilim uygulamaları için iletken kesiti ile ilgili aralıkları alır. Aksesuarların kesit aralığına uyarlanmıştır.
- 2- Kompresyon konektörde bakır iletkenin bakır konektöre, alüminyum iletkenin alüminyum konektöre ihtiyacı vardır. Mekanik konektör yuvarlak veya sektörel şekilli olabilen örgülü veya tek damarlı bakır ve alüminyum iletkenler bağlanabilir.
- 3- Kompresyon konektör kurulumu için ağır aletler ve çok sayıda farklı kalıp gereklidir. Mekanik konektör kurulum için özel bir alet gerektirmez.

Konektörlerde bir diğer sorun ise aşırı ısınmadır. Kablo bağlantıları bir kablo sistemindeki en zayıf bağlantılardır ve arızası esas olarak dahili aşırı ısınmadan kaynaklanmaktadır [20-23]. Kablo bağlantısında, en yüksek sıcaklık genellikle kompresyon konektöründe bulunur [24]. Kompresyon konektörü oldukça büyük bir bağlantı direncine sahipse, kablo bağlantısında yerel aşırı ısınmaya neden olan büyük miktarda ısı üretilebilir.

Bahsedilen araştırmalar değerlendirildiğinde güvenilir konektör tasarımında konektörlerin neden başarısızlığa uğradığının iyi analiz edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bozunmalara karşı dayanımı yüksek konektör üretmek, baskın başarısızlık mekanizmalarına karşı materyal dayanımı teorik ve deneysel olarak ispatlanmasıyla, kullanılması gereken ek kimyasallar ve/veya ekipmanlar varsa saptanmasıyla gerçekleştirilebilir. Hatalı montajdan kaynaklanan fiziksel hasarların azaltılması ise montajı kolay ve tecrübeli iş gücü gerektirmeyen konektörlerin tasarımıyla sağlanabilir. Bu çalışmada mekanik ve malzeme avantajlarından dolayı yüksek gerilim hatlarında kullanılmak üzere mekanik konektör tasarımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Tasarımı takiben prototip üretimi yapıldıktan sonra gerekli simülasyon ve testlerin uygulanarak optimum

özelliklere sahip mekanik konektörün geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Konektör Çeşitleri

Elektrik hatlarını oluşturan çeşitli çaplardaki kabloları bağlamada kullanılan, montaj yöntemlerine ve yapılarına göre farklı şekillerde konektör çeşitleri vardır. Bu çeşitlerden en önemlileri mekanik, kompresyon ve füzyon tipte olanlardır.

Mekanik Konektör: Donanımın veya benzer mekanik unsurların üzerinde mekanik sistem vasıtasıyla temas noktaları yaratılarak, bağlantının bütünlüğünün sürdürülmesi için kullanılmaktadır. Türkiye de mekanik konektör alanında ciddi bir açık bulunmaktadır. Kullanılan mekanik konektörlerin hepsi ithal edilmektedir. Kullanım yerlerine göre bakır veya alüminyum olmak üzere iki türdür.

Kompresyon Konektör: Mekanik konektörlerdeki gibi temas noktaları yaratılarak bağlantının bütünlüğünü sağlamaktadır. Buradaki fark bu bağlantının yüksek bir güç vasıtasıyla konektörün iletkenlere tutturulmasıyla sağlanması işlemidir. Kompresyon konektörlerin montajı sırasında hidrolik pres ve bu preste konektör çapına uygun kablo üzerinde istenilen sıkıştırmayı sağlayacak farklı boyutlarda materyaller kullanılmaktadır.

Füzyon Konektör: Füzyon konektörler, kompresyon ve mekanik konektörler ile aynı amacı elde etmek için kaynak, lehim veya pirinç ile kaplama yapılarak bağlantı sağlanmaktadır.

2.2. Konektör Bozunma Mekanizmaları

Konektör bozunma mekanizmalarının anlaşılabilmesi için öncelikle konektörün kritik komponentlerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Birbirine temas eden iki yüzey arasından elektrik akımı geçtiğinde, akımın geçtiği gerçek alan toplam temas yüzeyinin sadece küçük bir kısmını oluşturmaktadır.

Elektriksel kontakın sağlandığı yüzeyin alanı kontakları birbirine tutturucu kuvvetin büyüklüğüyle doğru orantılıdır, bu yüzden eklemlerdeki rezistans iletkenin toptan rezistansından çok daha yüksek bir değere sahiptir. Akım az sayıda ve az boyutta spottan aktığı için bu spotlardaki akım yoğunluğu devrenin kalanına göre daha şiddetlidir, bu durum temas yüzeyinde sıcaklığın balk kısma göre yüksek olmasının yanında erozyon ve kaynak gibi birçok deformasyonun oluşmasına da sebep vermektedir.

Diğer bir teknik problem ise konektörlerde karşılaşılan stres gevşemesi ve şekil değiştirme hassasiyeti konusudur. Malzeme belli bir zaman, sabit bir dış kuvvete maruz bırakılırsa sünme (creep) oluşur. Sünmenin oluşma hızı stresin büyüklüğüne, sıcaklığa ve malzeme cinsine bağlıdır. Malzemenin elektrik akımı taşıması sünmenin ve gerilme gevşemesi stress relaxation hızının katlanmasına sebep olur. Vidaları montaj aşamasında çok sıkı yapmak, eklemin sağlam olmasına katkıda bulunmaz. Aksine sünme ve stress relaxation hızının yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle vidalar olabildiğince az sıkılmalıdır.

Bir diğer teknik problem de korozyon ve oksitlenme problemidir. Bunun yanında karşılaşılan diğer bir problem de dalgalanma aşınımıdır (Fretting). Dalgalanma aşınımı kontak yüzeylerin sert kısımlarında oluşan korozyona karşılık gelmektedir. Bu tip aşınım yük altında ve tekrarlı yüzey hareketleri sonucunda oluşmaktadır.

Mekanik konektörün de yük altında olması ve sürekli değişen akımlardan dolayı termal salınımına maruz kalarak temas eden yüzeylerin termal genişleme ve mekanik titreşimlere maruz bırakılması neticesinde, dalgalanma aşınımı konektör başarısızlığında önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte dalgalanma aşınması neticesinde mekanik konektörlerin stabilitelelerinin kaybolduğu gözlenmiştir.

2.3. Mekanik Konektör Tasarım Gereksinimleri

Tasarım çalışmaları sırasında mekanik yükleme, yüzey durumu, malzeme uyumluluğu ve yüzey sertliği gibi önemli tasarım kriterleri dikkate alınarak mekanik konektör geliştirilmiştir.

Mekanik Yükleme: Mekanik yükün kontak direncine bağlı olması kabul gören bir gerçektir. Bunu takiben tasarımın gerilim gevşemesine ve elektriksel yük altında diferansiyel termal genişlemeye izin vermesi gerekmektedir. Herhangi bir konektör tasarımında doğru sıkıştırma basıncının başarıldığının ve sürdürüldüğünün sağlandığı kanıtlanmalıdır. Bunlara ilaveten herhangi bir özel ekipmana ve yeteneğe gereksinim duyulmadan konektörün birleştirilmesi bu aşamada hesaplanmalıdır.

Yüzey Durumu: Performans ve güvenilirlik için mekanik yükleme kadar önemli bir diğer unsurdur. Birbirine yaklaştırılmış iki metal yüzey düşünüldüğünde, yüzeylerin gözle görülür pürüzlülüğüne neden olan noktalar ve pürüzler bulunur. Yüzeyler birbirine yaklaştırıldığında, başlangıç kontakları bu noktalarda zirveye ulaşır. Yüzey pürüzlülük derecesini artırmakla kontak direnci düşürülmüş olur. Ürünün ömrünün uzatılması için bu çok önemli bir unsurdur.

Malzeme Uyumluluğu: Kullanılan malzemenin alaşımı tasarım yaparken dikkate alınması gereken bir diğer unsurdur. Alüminyumdan konektör tasarımı yaparken belirli kablo ebatlarını ve konfigürasyonlarını karşılamalıdır. Malzeme farklılığından dolayı (Bakır iletken – Alüminyum konektör) iletkenler ve konektör arasındaki direnç dikkate alınmazsa oluşacak dirençten dolayı sistemin zarar görmesi muhtemeldir.

Yüzey Sertliği: Konektör ve iletkenin yüzey sertliği kontak direncinin beklenenden daha az bir etkiye sahip olduğunu gösterir ama bakır/alüminyum sürtünme katsayısının alüminyum/alüminyum dan daha düşük olduğu yerlerde bağlantının gerilme kuvvetine etki eder. İnce pirinç geçiş malzemesi sayesinde sürtünme katsayısı artırılarak bakır/alüminyum bağlantının gerilme kuvvetine katkı sağlanır.

2.4. Tasarım ve Analiz Materyalleri

Mekanik konektör çizimleri ve civataların çizimleri AutoCAD (teknik resim) ve SolidWorks CAD (katı modelleme ve montaj) programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Konektörün teknik resimleri ve

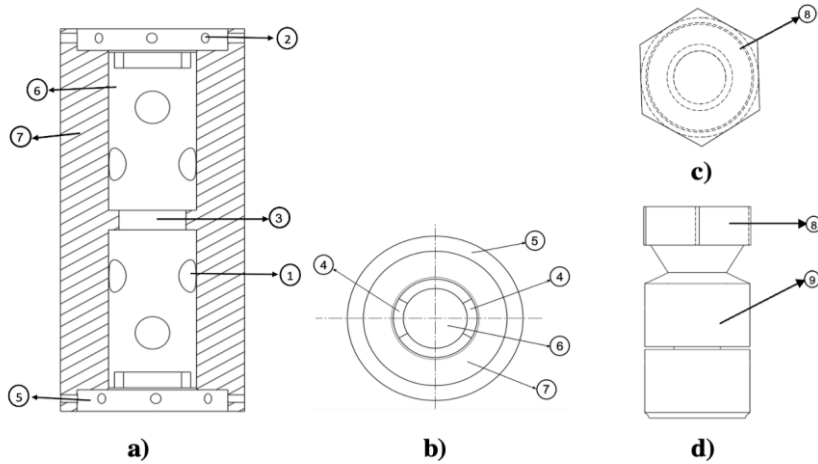
modellemeler tamamlandıktan sonra ANSYS ile analiz programlarıyla beraber mukavemet analizleri yapılmıştır. Böylece konektör için farklı tipte modellemelerle en iyi performansı elde etmek için gerekli bilgisayar simülasyonları oluşturulmuştur. Bilgisayar analizlerinde materyal olarak Al 6063 kullanılırken üretim için malzeme alımında piyasada daha çok yaygın olarak kullanılan Al 6082-T6 ile yapılmasına karar verilmiş ve bu malzemeye uygun analizler tekrar yapılmıştır. Üretimde testler için açılabilir farklı civata yerlerine sahip farklı konektör tasarımı oluşturulmuştur. Seri üretim ve imalat sürecinde malzeme tedariki sağlandıktan sonra gerekli üretim planı çıkarılmıştır. Bu doğrultuda konektör ve civata üretimi yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mekanik Tasarım

Tasarımı yapılan mekanik konektörün bölümleri Şekil 1'de gösterilmiş olup konektör; vida delikleri (1), tutucu delikler (2), konektör duvar kısmı (3), adaptör parçaları (4), tutucu deliklerin olduğu kısım (5), iç kanal (6), dış katı tabaka (7), vidanın baş (somon) kısmı (8) ve vidanın gövde kısmı (9) bölümlerinden oluşmaktadır.

Elektrik kablo bağlantılarını sağlayan konektörün genel olarak gövdesinde belirli açılarla yerleştirilmiş konektör vida delikleri (1) bulunmaktadır. Konektör vida delikleri (1) sayısı ve açılı düzen bakımından 120° ve 90° açıyla yerleştirilerek konektör iç kanalından (6) geçen elektrik kablosunu konektör vidasının gövde kısmı (9) sayesinde tutmaya yarar. Konektör vidası, vida baş (somon) kısmı (8) ve vida gövde kısmı (9) olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Konektör vidasının en büyük özelliklerinden biri belirli bir tork değeri ile sıkılırken sınır tork değerine ulaşıldığında vida baş (somon) kısmının (8) koparak sadece gövde kısmının (9) konektör dış katı tabakası (7) boyunca dolgu yapması ve konektör iç kanalından (6) geçen elektrik kablosunu belirli bir oranda sıkıştırarak bağlantı sağlamasıdır. Konektör parçası pirinç malzemeden talaşlı imalat yöntemi ile üretilmektedir. Pirinç blok malzemeden önce konektör iç kanalı (6) açılır. Konektör iç kanalı (6) içerisinde tam orta noktada konektör içerisinde su ilerlemesini önlemek amacıyla bir duvar kısmı (3) bulunmaktadır. Konektör iç duvar kısmı (3), konektör iç kanalında (6) belirli bir genişlik ve yükseklikte bırakılan katı malzeme tabakasıyla oluşur. Bu kısım uzun hatlar boyunca çekilen kablolar arasında herhangi bir nedenle su sızması olduğunda bu sızan suyun tüm hat boyunca ilerlemesini önleyerek sadece o kısımda lokal olarak bir bakım yapılmasına neden olarak tüm hattın bakımından ve onarımdan geçmesini önlemektedir.



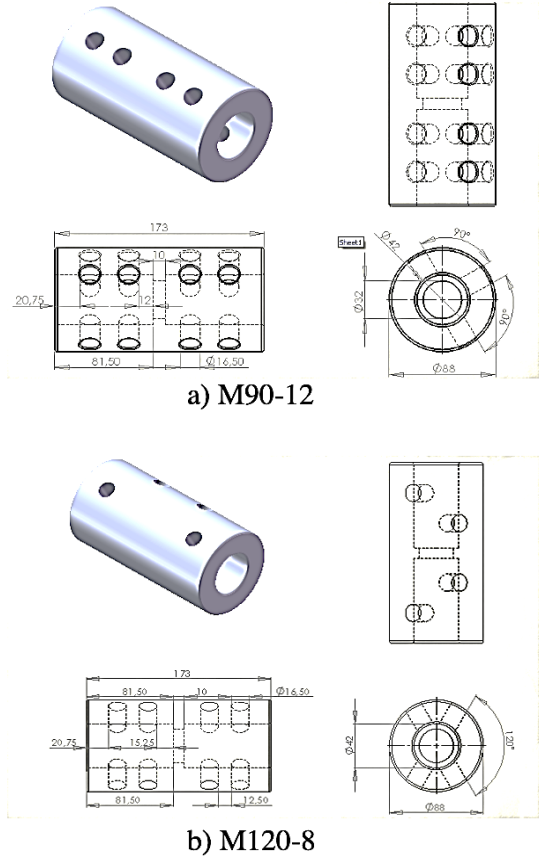
Şekil 1. M120-8'e (120° aralıkla 8 hizalı olmayan civata) ait a) konektörün kesit görünümü, b) konektörün üstten bakış görünümü, c) konektör vida üstten bakış görünümü d) konektör vida önden bakış görünümü

Konektörün her iki uç kısmında da konektör dış katı tabakasının (7) talaşlı imalatla inceltilmesiyle oluşturulmuş, daha ince bir tabaka (tutucu deliklerin olduğu kısım (5)) bulunmaktadır. Bu kısımda konektör üzerine kaplanacak koruyucu kısmı bağlayan tutucu delikleri (2) bulunmaktadır. Bu küçük tutucu delikler (2) konektörün bağlanması sırasında dış ortam koşullarına karşı konektörü koruyan tabakanın, konektörden ayrılmamasını sağlamaya yarar. Tutucu delikler (2), koruyucu tabaka konektör üzerine kaplandığında bu tabakayı tutturmak için kullanılan bağlama kablolarının geçtiği yerlerdir. Konektör dış katı kısmı (7) uç kısımlara doğru inceltilecek koruyucu kaplama malzemesini tutan tutucu deliklerin (2) açılması nedeniyle tutucu deliklerin olduğu kısım (5) oluşturulur. Konektörler farklı çaptaki kabloların bağlanması için her iki uç kısmında da bağlanacak kablounun çapına uygun bir adaptör parçası (4) içermektedir. Bu adaptör parçaları (4) ile konektörün kullanılabileceği çok sayıda değişik çaptaki kablolar da konektöre bağlanabilmektedir. Adaptör parçaları (4) tutucu deliklerin olduğu kısma (5) yerleştirilerek konektörün iç kanalından (6) geçen elektrik kablosunu tutarak, kablounun her iki uç kısmında da sabitlenmesini sağlamaktadır.

90° aralıklarla hizalı 8 ve 12 civata deliği bulduran ve 120° aralıklarla hizalı olmayan 8 ve 12 civata deliğinden bulduran toplamda 4 farklı çeşit olmak üzere mekanik konektör tasarımı yapılmıştır. Konektör isimlendirmesi Çizelge 1’de verilmiştir. Şekil 2’de M90-12 ve M120-8 teknik resimleri verilmiştir.

Çizelge 1. Konektör tasarım özellikleri ve isimlendirmesi

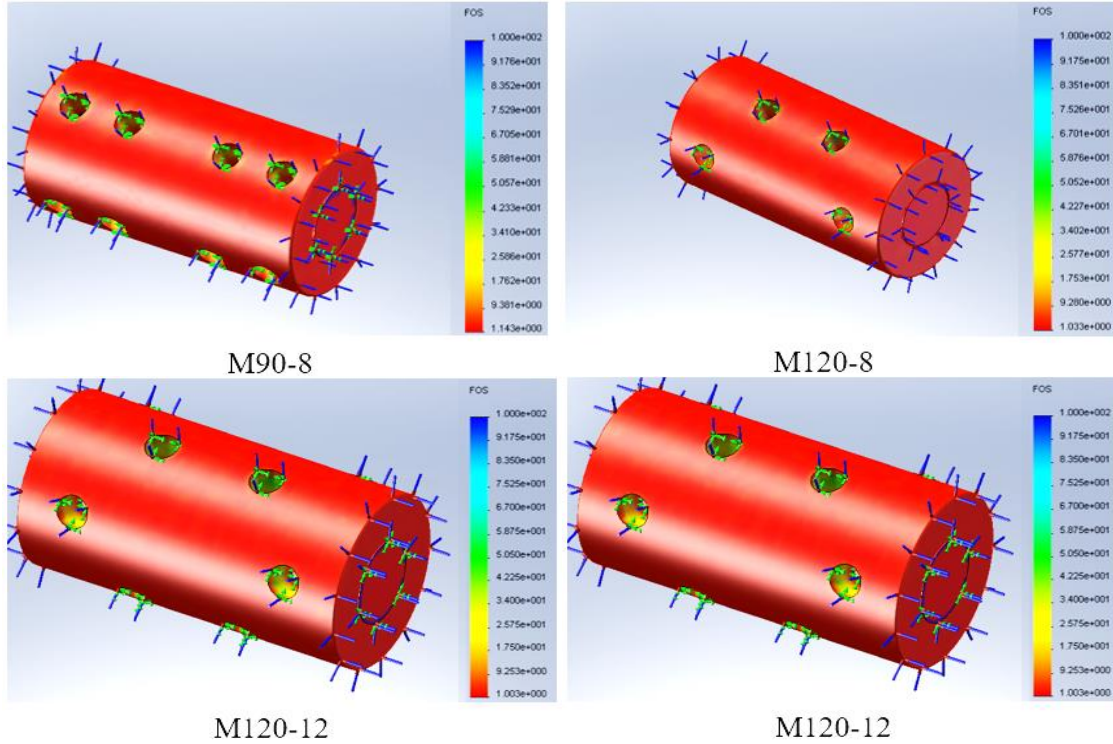
No	Konektör İsimlendirme	Açıklama
1	M90-8	90° aralıkla 8 hizalı civata
2	M90-12	90° aralıkla 12 hizalı civata
3	M120-8	120° aralıkla 8 hizalı olmayan civata
4	M120-12	120° aralıkla 12 hizalı olmayan civata



Şekil 2. M90-12 (90° aralıkla 12 hizalı civata) ve M120-8 (120° aralıkla 8 hizalı olmayan civata) konektörlerinin teknik resimleri

3.3. Mukavemet Analiz Çalışmaları

SolidWorks ortamında yapılan mekanik tasarımların mukavemet analizleri gerçekleştirilmiştir. Konektör ve delikleri üzerinde yükler tanımlandıktan sonra sonlu eleman ağı (mesh) oluşturulmuş ardından çözüm yaptırılmıştır. Çözüm sonlanmasını takiben sonuçların işlenmesi/görüntülenmesi sağlanmıştır. Çözüm sonuçları alınırken yer değiştirme ve güvenlik katsayısı (factor of safety (fos)) verileri değerlendirilmek üzere görüntülenmiştir. Şekil 3’de tüm konektörlere ait analiz görüntüleri mevcuttur. Çizelge 2’de her bir konektördeki maksimum yer değiştirme (m) ve güvenlik katsayısı değerleri verilmiştir.



Şekil 3. Konektörlerin simülasyon görüntüsü

Çizelge 2’de her bir konektördeki maksimum yer değiştirme (m) ve güvenlik katsayısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. Simülasyon sonuçları

Konektör	Yer Değiştirme (Displacement) (m)	Güvenlik Katsayısı (FOS-Factor of Safety)
M90-8	$3,6 * e-5$ m	1,143
M90-12	$6,1 * e-5$ m	1,05
M120-8	$4,44 * e-6$ m	1,33
M120-12	$4,1 * e-6$ m	1,21

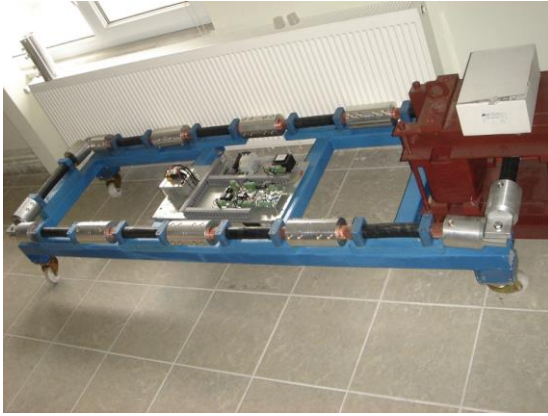
Birçok mekanik sistemde güvenlik katsayısı 1’den büyük olması beklenir. Çizelge 2’de görüldüğü üzere çalışmada tasarlanan 4 farklı konektörün de analiz sonucunda güvenlik katsayıları 1’den büyüktür. M120-8, diğer konektörlere kıyasla en yüksek güvenlik katsayısı sonucunu vermiştir. M120-8 konektörünün, en düşük güvenlik katsayısına sahip M90-12’nin 1,27 katı kadar yani %27 daha fazla güvenlik katsayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yer değiştirme verileri

incelendiğinde M120-12 en az M90-12 konektöründe ise en çok yer değiştirme görülmüştür. En yüksek yer değiştirme sonucunu veren M90-12’nin, en düşük yer değiştirmeye sahip M120-12’nin 14,9 katı kadar değeri olduğu gözlemlenmiştir. Güvenlik katsayısı karşılaştırıldığında M120-8, yer değiştirme verileri karşılaştırıldığında ise M120-12’nin değerleri daha iyi çıkmıştır. Hem yer değiştirme hem de güvenlik katsayısı verileri kıyaslandığında 120° açı aralıklı vida deliklerine sahip konektörler 90°’liklerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 90° açı aralıklı tasarımlar hizalı vida deliklerine sahipken 120° açı aralıklılar sıralı olmayıp vida delikleri dağıtılmıştır. 120° açı aralıklılarda vida deliklerindeki yüklerin dağıtılmış olmasının bu veriler üzerinde pozitif etkisinin olduğu sonucu çıkarılabilir.

3.4. Performans Testi

Üretimi yapılan prototipler, elektriksel fabrika

testlerine tabi tutulmuştur. Şekil 4'te test ortamı ve test düzeneği gösterilmiştir. Test düzeneği güç (besleme) sistemi ve konektörlerin bulunduğu yüksek gerilim hattından oluşmaktadır.



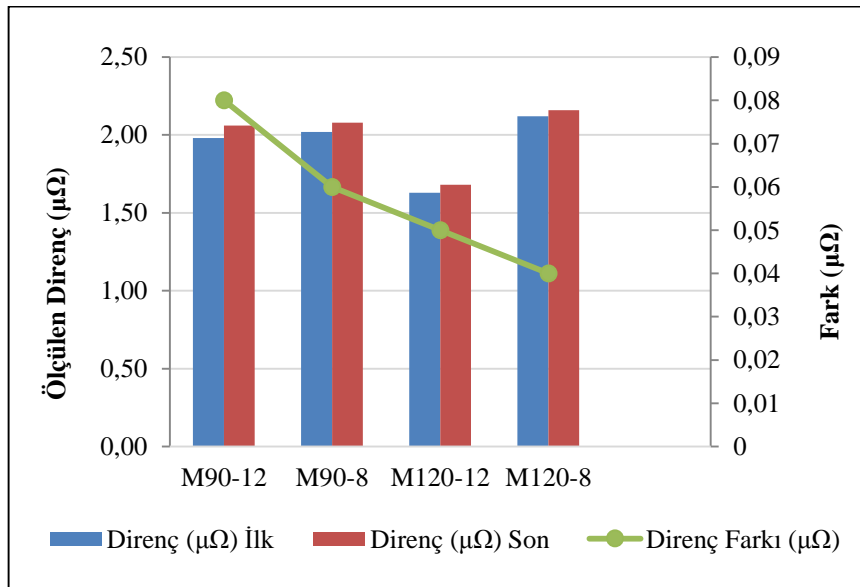
Şekil 4. Test düzeneği

Birbirine bağlanan iletkenler arasında uygulanan her biri 70 dakika süreyle 50'şer yük çevrim testi yapılmıştır. Bu operasyondan sonra sistem 40 A 1 sn. süreli kısa devre testine tabi tutulmuştur. Konektörler arasındaki dirençten kaynaklanan gerilim düşüşünü ölçmek için dijital voltmetre ve akım kaynağı kullanılmıştır.

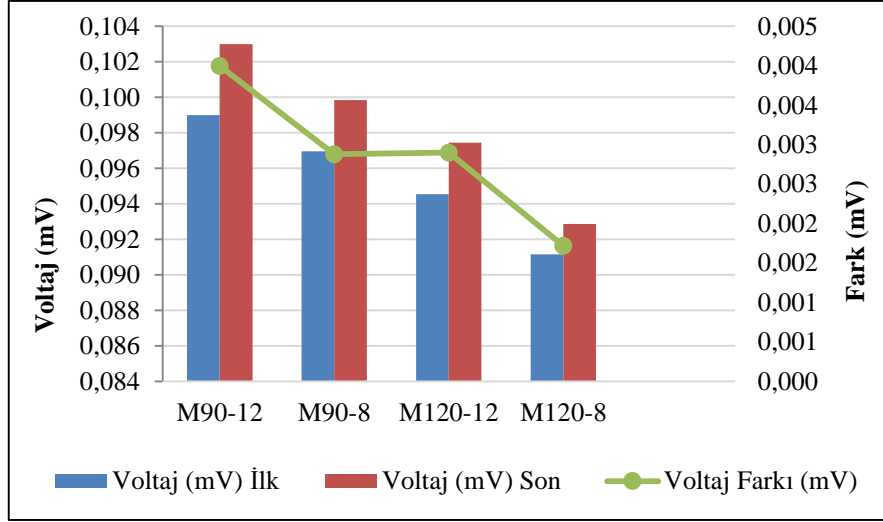
Yüksek gerilim hattının çalışma senaryosu incelendiğinde devrede 40+-15 A yüksek akım dolaşacağından bakır tel ve konektörlerde aşırı ısınma sebebiyle genişleme meydana gelecektir. Yüksek gerilim hattında iletimi sağlayan bakır telin genişleme miktarıyla alüminyum malzeme konektörün genişleme miktarı farklıdır. Genleşmeyle meydana gelen Alüminyum konektörlerdeki şekil değişimi Bakır telden daha fazla olacağından birbirlerine temas ettikleri bölgede boşluk meydana gelecektir. Buna ek olarak iletken ısınacağından direnç değerlerinde değişim meydana gelecektir. Eşitlik 1'de iletkenin direncinin sıcaklığa göre değişimini gösteren eşitlik verilmiştir [25]. T_0 başlangıç sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), R_0 T_0 'daki direnç (ohm), T mevcut sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), R mevcut direnç (ohm), α direnç değişim katsayısı değeridir.

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) \quad (1)$$

Konektörlerin bulunduğu bağlantı bölgesinde ilk (20°C 'de) ve son (27°C 'de) ölçülen direnç değerleri ($\mu\Omega$) Şekil 5 ve hesaplanan voltaj değerleri (mV) Şekil 6'da grafik üzerinde verilmiştir. Grafiklerin sol ölçek çubuğunda ölçülen değerler gösterilirken sağ ölçek çubuğunda son ve ilk ölçülen değerler arasındaki fark gösterilmiştir.



Şekil 5. Konektörlerin ilk ve son direnç değerlerini gösteren grafik



Şekil 6. Konektörlerin ilk ve son voltaj değerlerini gösteren grafik

Direnç grafiğinde en az direnç artışı M120-8 konektöründe olduğu gözlemlenmiştir. M120-8 konektöründe ilk direnç $2,12 \mu\Omega$ son direnç $2,16 \mu\Omega$ olup direnç %1,87 artmıştır. Direnç değişimine bağlı olarak voltaj değerindeki en az artış da M120-8 konektöründe olup bu değer $0,002 \text{ mV}$ 'dur. En az direnç artışı M120-8 de meydana geldiğinden nihai tasarım olarak seçilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mekanik ve malzeme avantajlarından dolayı yüksek gerilim hatlarında kullanılmak üzere mekanik konektör tasarımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 90° ve 120° açı aralıklı vida deliklerine sahip toplamda 4 farklı tasarım yapılmıştır. Tasarımı takiben prototip üretimi yapıldıktan sonra gerekli simülasyon ve testlerin uygulanarak optimum özelliklere sahip mekanik konektörün geliştirilmesi sağlanmıştır. Mukavemet simülasyon testlerinde yer değiştirme ve güvenlik katsayısı değeri bakımından M120-12 ve M120-8 isimli konektörler en iyi sonuçları vermiştir. Yük çevrim testi uygulanarak yapılan performans testlerinde direnç, akım ve voltaj değerleri ölçülmüştür. Özellikle direnç değerlerindeki ilk ve son ölçüm farkına göre M120-8 konektörü en optimal sonuçları verdiği gözlemlenmiş olup kullanım için uygunluğu ortaya koyulmuştur.

Konektörün detaylı tasarımı sonucu sahip olduğu mekanik özellikler değerlendirildiğinde kullanımının daha pratik ve farklı çaptaki kablolarla uygulanabilir olması öne çıkmaktadır. Konektör parçasının geometrisinin ve konstrüksiyonunun geliştirilmesiyle daha uygun fiyatta teknik özellikleri daha yüksek konektör geliştirilmiştir. Yapılan tasarım sayesinde konektörün iletkene temas halinde bulunduğu bölümlerde iletkenin oksit tabakası üzerinde hiçbir şekilde tahribata neden olmamaktadır. Bu duruma ilaveten geliştirilecek mekanik tasarım sayesinde konektörün beklenmedik büyüklükteki gerilme kuvvetlerine karşı direnç göstermesi sağlanmıştır. Montaj sırasında hidrolik prese ve özel sıkma çenelerine gerek duyulmamaktadır. Mekanik parçaların montajı diğer konektörlere göre daha kolay ve emniyetli bir şekilde yapılmaktadır. Mekanik tasarım sayesinde iletkene çapı ile konektör çapı aynı seviyeye getirilebilmekte ve elektrot izolasyon çapı aynı olduğu için ekstra bir elektrot elemanına gerek duyulmamaktadır. Ayrıca konektörün iletkene temas halinde bulunduğu bölümlerde iletkenin oksit tabakası üzerinde hiçbir şekilde tahribata sebebiyet vermemektedir. Konektörde kullanılan vidaların sıkma kuvvetleri hassas olarak ayarlanarak konektörün ısınması sırasında genişlemesine imkân sağlayarak aynı zamanda uygun sıkma kuvveti değerlerinde kalıp diğer yandan da vidaların uygun

değerde kuvvetle sıkılarak konektörün içindeki kablolarla zarar vermemesi de sağlanmaktadır.

Parçanın elektriksel tasarımı sayesinde konektörün düşük kontak direncine sahip olması sağlanmıştır. Bu nedenle konektör üzerinde kıvrımlar yaratılarak temas yüzeyleri artırılmış ve bu sayede de daha az kontak direncine sahip olması sağlanmıştır. Daha az kontak direncinin olması ile de kayıplar ve konektörün ısınması engellenmiştir. Sızdırmazlık yüzeyinden beklenmedik bir nedenle kabloların açık olan uçlarındaki kılcal tellere sızan su, eğer konektör arasında herhangi bir sızdırmazlık unsuru yoksa diğer kabloya ulaşması muhtemeldir. Buda her iki taraftaki hatta da zarara neden olmaktadır. Konektör üzerinde geliştirilen özel bölme sayesinde suyun kablo içinde ilerlemesi engellenerek, oluşabilecek zararların en aza indirilmesi sağlanmıştır. Konektörün ortasında açılan kanal dışarıdan gelen suyun bağlantının diğer tarafına geçmesine engel olarak hattın güvenliğini sağlamaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Braunovic, M., 2004. Effect of Connector Design on the Performance of Service Entrance Power Connectors Components and Packaging Technologies, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 27, 72-78.
2. Naybour, R. D., Farrell, T., 1973. Connectors for Aluminum Cables: A Study of the Degradation Mechanisms and Design Criteria for Reliable Connectors. IEEE Transactions on Parts, Hybrids and Packaging, 9(1), 30-36.
3. Frank, R. F., Morton, C. P., 2007. Comparative Corrosion and Current Burst Testing of Copper and Aluminum Electrical Power Connectors, IEEE Transactions on Industry Applications, 43(2), 462-468.
4. Mainier, L., 1990. Connection Technique for Aluminum Conductors in LV and MV Power Distribution Systems-Characteristics and Field Experience, Thirty-Sixth IEEE Conference on Electrical Contacts, and the Fifteenth International Conference on Electrical Contacts, Montreal, QC, Canada, 1990, 487-492.
5. Braunovic, M., 1990. Evaluation of Different Contact-aid Compounds for Aluminum-to-copper Connections, Thirty-Sixth IEEE Conference on Electrical Contacts and the Fifteenth International Conference on Electrical Contacts, Montreal, QC, Canada, 1990, 509-517.
6. Joyce, C.F., 1991. A Weibull Model to Characterize Lifetimes of Aluminum Alloy Electrical Wire Connections, IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, 14(1), 124-133.
7. Braunovic, M., 1994. Aluminium Connections: Legacies of the Past, Proceedings of IEEE Holm Conference on Electrical Contracts, Chicago, IL, USA, 1994, 1-31.
8. Braunovic, M., 1986. Effect of Contact Aid Compounds on the Performance of Bolted Aluminum-to- Aluminum Joints Under Current Cycling Conditions, IEEE Transactions on Components Hybrids and Manufacturing Technology, 9(1), 59-70.
9. Braunovic, M., 1988. Fretting Damage in Tin-plated Aluminum and Copper Connectors, Electrical Contacts, Proceedings of the Thirty Fourth Meeting of the IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, San Francisco, USA, 1988, 179-186.
10. Runde, M., Magnusson, N., Lenes, A., 2008. Bolted Connectors for Stranded Aluminum Power Conductors, IEEE Transactions on Power Delivery, 23(2), 523-530.
11. Dang, C., Braunovic, M., 1989. Metallurgic and Contact Resistance Studies of Sleeve Connectors in Aluminium Cable Splices, Proceedings of the Thirty Fifth Meeting of the IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Chicago, USA, 1989, 229-236.
12. Haverkamp, W. B., McKoon, T., Wilck, M., 1999. Bolted Connectors for High Voltage Accessories Installed on Underground Transmission Lines, IEEE Transmission and Distribution Conference (Cat. No. 99CH36333), LA, USA, 1999, 74-82.
13. Tuna, E., Kraus, J., 2016. Design and Production of High Voltage Cable Accessories in Turkey, Güç Sistemleri Konferansı, İstanbul, Türkiye, 34-42.

14. Facilities Engineering Branch Denver Office, August 2000. Facilities Instructions, Standards, and Techniques: Electrical Connections for Power Circuits, Volume 3-3, Denver, Colorado.
15. Sönmez, F., Başak, H., 2016. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yaşlandırılabilir Parçalar Üzerinde Etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1), 29-34.
16. Haim, K., Cisilino, D., Bentkowski, K., 2009. The Behavior of Shear Bolt Connectors in MV - Cable Accessories in Case of Critical Load and Overload, CIRED 2009-20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution-Part 1, Prague, Czech Republic, 2009, 1-4.
17. Yang, F., Zhu, N., Liu, G., Ma, H., Wei, X., Hu, C., Wang, Z., Huang, J., 2018. A New Method for Determining the Connection Resistance of the Compression Connector in Cable Joint, Energies-section Electrical Power and Energy System, 11(7).
18. Hernandez-Guiteras, J., Riba, J., Casals-Torrens, P., 2013. Determination of the Corona Inception Voltage in an Extra High Voltage Substation Connector, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 20(1), 82-88.
19. Nexans Power Accessories 2017. Bolted Connectors, Ürün Kataloğu.
20. Ruan, J., Liu, C., Huang, D., Zhan, Q., Tang, L., 2016. Hot Spot Temperature Inversion for the Single-core Power Cable Joint, Appl. Therm. Eng., 104, 146-152.
21. Fu, J., Cheng, P., Chen, W., Hu, X., Wang, Q., Yang, Q., Yang, F., 2016. Investigation of the Effects of Insulation Defects on the 3-D Electromagnetic-thermal Coupling Fields of Power Cable Joint, in Proceedings of the IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Hefei, China, 5-7 Haziran 2016, 1436-1439.
22. Liu, Y., Liu, G., Wang, Z., Xu, T., Xu, U., 2016. Experimental Analysis on Crimping Resistance of Connecting Pipe of Cable Intermediate Joint, Guangdong Electr. Power, 29, 108-112.
23. Ruan, J., Zhan, Q., Tang, L., Tang, K., 2018. Real-time Temperature Estimation of Three-core Medium-voltage Cable Joint Based on Support Vector Regression. Energies, 11, 1405.
24. Yang, F., Cheng, P., Luo, H., Yang, Y., Liu, H., Kang, K., 2016. 3-D Thermal Analysis and Contact Resistance Evaluation of Power Cable Joint, Appl. Therm. Eng., 93, 1183-1192.
25. Kasap, S.O., 2006. Principles of Electronic Materials and Devices (Third ed.), Mc-Graw Hill, Boston, 874.
26. Dag, M., Akcay, N., Koten, H., Guner, K., 2019. Determination of Photovoltaic Properties for Nanostructures. Journal of Electronic Materials, 48(11), 6919-6931.

The Social and Economic Impacts of Novel Coronavirus Pandemic on Construction Sector and its Professionals

Olcay GENÇ*¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun

Geliş tarihi: 23.02.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Abstract

The goal of this study is, in an unexpected exceptional situation such as Covid-19 outbreak, to demonstrate how the extent of understanding of the situation and its social and economic impact on the construction sector and on its practitioners can be defined and exposed. Hence, to provide insights to the practitioners to prepare the sector and its professionals for the next extraordinary situation. A questionnaire survey is prepared and delivered personally and via the Chamber of Civil Engineers to the civil engineers who work for public or private sectors, and then a comparative analysis is carried out. The exploratory results of the study show that the civil engineers follow precaution rules against Covid-19, they stay home unless compulsory matters, they are highly concerned about global, national and family economies after coronavirus pandemic and, while the majority of the civil engineers somehow continue working during the pandemic, only a very small portion of the private sector companies bankrupt.

Keywords: Economy, Construction sector, Coronavirus, Covid-19, Pandemic

Yeni Tip Koronavirüs Salgınının İnşaat Sektörü ve Sektör Profesyonelleri Üzerindeki Sosyal ve Ekonomik Etkileri

Öz

Bu çalışmanın amacı, Covid-19 salgını gibi beklenmedik bir durumda, durumun anlaşılma derecesinin ve bunun inşaat sektörü ve uygulayıcıları üzerindeki sosyal ve ekonomik etkisinin nasıl tanımlanıp ortaya çıkarılabileceğini göstermektir. Bu nedenle, sektörü ve profesyonellerini bir sonraki olağanüstü duruma hazırlamak için uygulayıcılara öngörü sağlamaktır. Kamu veya özel sektörde çalışan inşaat mühendislerine anket çalışması hazırlanarak bizzat ve İnşaat Mühendisleri Odası aracılığı ile ulaştırılmakta ve ardından karşılaştırmalı bir analiz yapılmaktadır. Çalışmanın sonuçları, inşaat mühendislerinin Covid-19'a karşı önlem kurallarına uyduğunu, zorunlu olmadıkça evde kaldıklarını, koronavirüs pandemisinden sonra küresel, ulusal ve aile ekonomileri konusunda son derece endişelendiklerini ve inşaat mühendislerinin büyük çoğunluğunun bir şekilde pandemi sırasında çalışmaya devam ettiklerini ve özel sektör şirketlerinin sadece çok küçük bir kısmının iflas ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomi, Covid-19, Koronavirüs, İnşaat sektörü, Pandemi

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Olcay GENÇ, olcay.genc@iste.edu.tr

1. INTRODUCTION

Coronaviruses are enveloped un-segmented positive-sense RNA viruses that belong to the Coronaviridae community and are commonly distributed to mammals including humans [1]. While most human coronavirus infections are moderate, the two epidemics, SARS and MERS cause approx. 10,000 cases over the last twenty years, with rates of death of 10% and 37%, respectively [2,3]. A recent series of reports of pneumonia in Wuhan, China, is caused by a novel beta coronavirus, the Covid-19 (Corona Virus Disease 2019) [4] confirmed by Chinese health officials in January 2020 [5]. On 11 March 2020, the World Health Organization (WHO) announced a pandemic of COVID-19, referring to more than 118.000 cases of coronaviral disease in more than 110 countries and territories across the world and the growing possibility of more global dissemination [6]. The new disease spread throughout almost all countries around the world in three months. As of December 31, 2020, a total of 81.947.503 confirmed Covid-19 cases, including 1.808.041 deaths (2.20%) in 216 countries are reported by the World Health Organization [7]. The novel coronavirus is first diagnosed on 11 March 2020 in Turkey [8]. As of December 31, 2020, a total of 2.220.855 confirmed Covid-19 cases, including 21.093 deaths (0.94%) in Turkey is reported by the ministry of health [8]. In the period from the first Covid-19 diagnosis to the present, the activities are canceled, schools are shut, many businesses and shopping malls are closed, curfews are declared for certain age groups and metropolitan cities on certain days in Turkey.

The Covid-19 disease outbreak has alarming effects on human lives as well as the economies of affected countries, i.e., with production hubs around the world undergoing a period of prolonged factory closures, the economic effect transcends national borders through global supply chains [9]. Other than natural disasters and human-made hazards, the world is unprepared to cope with disease outbreaks such as the COVID-19. The construction sector is considered one of the leading and immersive sectors

of the economy [10] because of the relationships between the construction sector and the whole economy, as well as the intersectoral relationships between construction and other industries [11]. Governments' use of construction investments as a tool to stabilize the economy also demonstrates the sector's central role in the national growth strategy [11,12], which means if the sector stops, the growth will stop as well, and the economic collapse may start. The literature lacks to have investigations on the social and economic impacts of a pandemic on the construction sector.

The aim of this study is, in an unforeseen extraordinary situation, to show how to define and reveal the perception level of the situation, and its social and economic effects on the construction sectors and its professionals. Hence, to provide insights to the practitioners to prepare the sector and its professionals for the next extraordinary situation. To this end, a questionnaire survey concerning the perception and social and economic effects of the Covid-19 pandemic on the construction sector is prepared and delivered to civil engineers personally and via the Chamber of Civil Engineers. Finally, comparative analyses are carried out by using different methods.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents the materials and methods. Section 3 provides the results of the analysis and also discusses the findings. Finally, Section 4 draws the conclusions.

2. MATERIALS AND METHODS

A questionnaire survey is used to solicit views and personal experiences of construction professionals regarding the perception and social and economic effects of the Covid-19 pandemic on the Turkish construction sector. A questionnaire entitled "The Perception of Coronavirus Pandemic on Construction Sector Professionals and the Impacts on the Sector" is prepared and delivered to civil engineers, who work in Turkey, personally and via the Chamber of Civil Engineers. The questionnaire consists of four sections.

- **Section 1:** Demographics of participants
- **Section 2:** Perception level, compliance, and satisfaction with the precaution rules
- **Section 3:** Satisfaction with the healthcare system
- **Section 4:** The social and economic effects of the pandemic on the sector and sector professionals, the adequacy of the economic policy steps taken by the government

The sample size of the study is 456 participants, which indicates sufficiency for statistical analysis [13–15]. The reliability of the scales is evaluated by calculating Cronbach's alpha coefficient. The Cronbach's alpha value of 0.7 and above is considered high internal consistency [16].

Parametric tests are used to analyze the data because collected data are always normally distributed. Based on the comparison of the opinions of civil engineers working in the public and private sector, the results are analyzed and evaluated using the Likert scale, frequency analysis, T-Test, Cross-tabulation analysis, and Pareto analysis. This Study was approved by Yozgat Bozok University Ethics Committee (No:95799348-050.01.04-E.29925; Date: 25.11.2020)

2.1. Likert Scale

To assess attitudes, which are preferred ways of acting/responding in a particular situation rooted in a fairly lasting structure of values and ideas gained through social experiences, the scale is developed in a scientifically agreed and validated manner in 1932 by Likert [17]. In this study, the five-point Likert scale (1- extremely poor to 5-extremely good) is used. Likert scale questions are analyzed by calculating the average score (Equation 1)) and using the evaluation criteria presented in Table 1 [14,18].

$$\bar{x} = \frac{(a \times 5 + b \times 4 + c \times 3 + d \times 2 + e \times 1)}{(a + b + c + d + e)} \quad (1)$$

where a is the number of respondents who answer "definitely agree"; b is the number of respondents

who answer "agree"; c is the number of respondents who answer "neither agree nor disagree"; d is the number of respondents who answer "disagree"; and e is the number of respondents who answer "definitely disagree". Please note that negative expressions, e.g., I do not feel-good today, coded in reverse (1- definitely agree to 5- definitely disagree).

Table 1. The evaluation criteria of Likert scale questions

Score Interval (Mean)	Evaluation Criteria
1,00 – 1,79	Very low level
1,80 – 2,59	Low level
2,60 – 3,39	Medium level
3,40 – 4,19	High level
4,20 – 5,00	Very high level

2.2. Frequency Analysis

Frequency analysis is a part of descriptive statistics that describes the characteristics of a set of data quantitatively [19]. The frequency indicates the number of times an event occurs in statistics. The analysis is an important area of statistics that works with the number of occurrences (frequency) and analyzes the measurements of central tendency, diffusion, percentiles, etc. [20].

2.3. T-Test

A t-test is a form of inferential analysis used to assess if there is a significant difference between the results of two classes that could be linked to certain characteristics [21]. There are two types of t-test: (1) the independent t-test, i.e., the classes under comparison are independent of each other, and (2) the dependent t-test, i.e., the classes under comparison are dependent on each other [22]. This study employs the independent t-test.

2.4. Cross Tabulation Analysis

Cross tabulation is a method to analyze the relationships between multiple variables quantitatively by employing frequency distribution of events displayed on a contingency table [13]. The analysis is followed by a chi-square test to assess statistical significance.

2.5. Pareto Analysis

The technique is a formal methodology where several different courses of action are competing for consideration. Pareto analysis is often called the 80/20 rule indicating 20% of the reasons cause 80% of the results [23], e.g., 20% of the risks have the most impact (80%) on a project or 20% of all consumers account for 80% of all shopping.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the results of the analysis. Firstly, the demographics of the participants are presented. This is followed by the results of analysis concerning perception, compliance, and satisfaction with the precaution rules. Then, the results of the analysis concerning trust in government, health officials, and the oppositions, satisfaction with the healthcare system are presented. Finally, the result of the social and economic effects of the pandemic are presented.

3.1. Demographics of the Participants

The demographic characteristics of the respondents are presented in Table 2. The gender composition of the sample is 86.18% (f=393) male and 13.72% (f=63) female. All participants are civil engineers and most of them (78.29%) work for the private sector.

Table 2. The demographic composition of the participants

Demographics		f	%
Gender	Male	393	86.18
	Female	63	13.72
	Total	456	100
Sector	Private	357	78.29
	Public	99	21.71
	Total	456	100
Occupation	Civil Engineer	456	100
	Total	456	100

3.2. Perception, Compliance and Satisfaction with the Precaution Rules

Table 3 shows the average scores of participants' compliance with the precaution rules specified by the authorities against Covid-19 and the outcome of the t-test. It is observed from the table that all participants highly agree ($3.40 \leq \bar{x} \leq 4.19$) with following the precaution rules against novel coronavirus. The variable "worn mask where it is necessary" has the highest average rating of 4.409 while the variable "paid attention to the sleeping pattern" has the lowest average rating ($\bar{x}=3.000$). T-test results show that there is statistically significant disagreement ($p \leq 0.05$) between public and private sector' civil engineers on all variable averages except for the variable "paid attention to the sleeping pattern". The public sector' mean values of the variables "stayed home except for mandatory situations", "Stopped seeing risky-group relatives", and "Stopped eating outside/from outside" are higher than private-sector' mean values ($\bar{x}_{public} = 4.51, \bar{x}_{private} = 4.08; \bar{x}_{public} = 4.42, \bar{x}_{private} = 4.06$ (; $\bar{x}_{public} = 3.77, \bar{x}_{private} = 3.32$, respectively). Although the other variables' mean values differ by sectors, they fall into the same evaluation criteria category and does not have a difference of interpretation.

The reasons for the participants to leave their homes are presented in Table 4. Figure 1 shows the Pareto diagram of the reasons for going outside. It is evident that 85% of the reasons for leaving home are based on four basic categories:

- Shopping
- Going to work
- Exercising
- Visiting relatives who in need

When the main reasons for leaving home are examined, except for the exercising, it is seen that the participants go out only in compulsory situations, which is in line with participants' agreement on following the precaution rules specified by the authorities against Covid-19. First of the reasons for leaving home is "shopping", e.g., going to market, with 74.34% rate (f=339) followed by "going to work" (72.36%) and "for relatives who in need" (14.47%).

Table 3. Compliance with the precaution rules

Variables	All participants		t-test						Cron. Alpha
	\bar{x}	σ	EVA/ EVNA	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	
Washed hands more than usual	4.272	1.176	EVA	11.823	0.001	-2.636	454	0.009	0.877
			EVNA			-3.148		212.137	
Watched the news more than usual	3.347	1.299	EVA	0.827	0.364	1.165	454	0.245	
			EVNA			1.133		150.758	
Worn mask where it is necessary	4.409	1.046	EVA	9.275	0.002	-2.453	454	0.015	
			EVNA			-2.978		219.686	
Stayed home except for mandatory situations	4.179	1.199	EVA	13.182	0.000	-3.185	454	0.002	
			EVNA			-4.130		255.463	
Followed social-distance rule	4.300	1.012	EVA	7.011	0.008	-0.370	454	0.712	
			EVNA			-0.444		214.590	
Stopped seeing risky-group relatives	4.145	1.162	EVA	1.120	0.290	-2.724	454	0.007	
			EVNA			-2.910		172.840	
Stopped eating outside/from outside	4.033	1.296	EVA	2.549	0.111	-0.764	454	0.445	
			EVNA			-0.804		168.878	
Started caring about balanced nutrition	3.420	1.222	EVA	9.324	0.002	-3.257	454	0.001	
			EVNA			-3.480		172.879	
Paid attention to the sleeping pattern	3.000	1.304	EVA	0.007	0.935	-1.307	454	0.192	
			EVNA			-1.284		152.865	0.201
Mean	3.90	0.853	EVA	6.285	0.013	-2.363	454	0.019	
			EVNA			-2.708		195.487	0.007

EVA: Equal variances assumed EVNA: Equal variances not assumed

Table 4. Pareto analysis results of the reasons for leaving home

No	Reasons	f	cf	%
1	Never left home	36	36	3.81
2	For relatives who in need	66	102	10.79
3	To use the freedom of going out	15	117	12.38
4	To exercise	72	189	20.00
5	Bored	9	198	20.95
6	To walk my dog	3	201	21.27
7	To shop (market)	339	540	57.14
8	To go to work	330	870	92.06
9	To meet with friends	15	885	93.65
10	To experience the excitement of breaking the rules	0	885	93.65
11	To go to a hospital	60	945	100.00
12	Other	0	945	100.00

Note: Because it is a multi-choice question, it can exceed 100% in total.

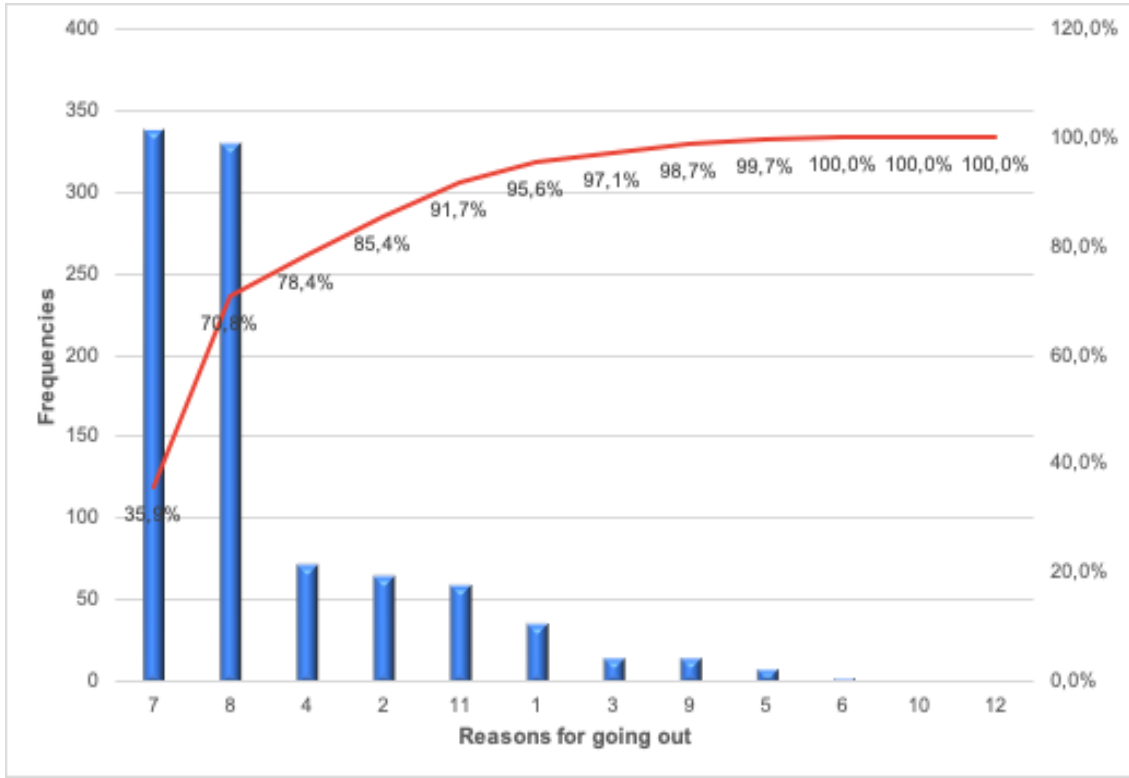


Figure 1. Pareto diagram of the reasons for going outside

Table 5 shows the participants' opinions about the precautions taken by the government against the Covid-19 pandemic. Most of the participants (60.5% of the private sector, 51.5% of the public sector) think that the precautions are not fully sufficient while 0.8% of the private sector participants think they are excessive. The chi-square test for independence is used to identify

associations between the judgments and the survey respondents' sectors. The result shows that there is no difference ($p > 0.05$) between the sector averages within a 95% confidence level. In other words, construction professionals agree that the precautions taken by the government are not fair enough.

Table 5. Sector-based contingency table of opinions about precautions

Which of the following describes your opinion on the precautions taken by the government against Covid-19?	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. Sig. (p)
The precautions are not fully sufficient	60.5	51.5	58.6	0.177
The precautions are appropriate and sufficient	20.2	30.3	22.4	
The precautions are not sufficient	16.8	15.2	16.4	
The precautions are somewhat excessive	1.7	3.0	2.0	
The precautions are excessive	0.8	0.0	0.7	
Total	100	100	100	

Table 6. Effectiveness of the precautions

Variables	All participants		t-test						Cron. alpha
	\bar{x}	σ	EVA/ EVNA	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	
The Social-distance method is effective in preventing the spread of the virus	4.395	0.745	EVA	0.763	0.383	-0.902	454	0.368	0.712
			EVNA			-0.983	178.759	0.327	
Partial curfew is effective in preventing the spread of the virus	3.632	1.191	EVA	0.107	0.744	1.099	454	0.272	
			EVNA			1.118	160.344	0.265	
General curfew is effective in preventing the spread of the virus	4.493	0.778	EVA	0.499	0.480	0.124	454	0.902	
			EVNA			0.119	148.197	0.906	
Wearing a mask is effective in preventing the spread of the virus	4.073	0.947	EVA	5.231	0.023	0.870	454	0.385	
			EVNA			0.908	166.715	0.365	
Washing hands frequently is effective in preventing the spread of the virus	4.470	0.657	EVA	0.815	0.367	-1.809	454	0.071	
			EVNA			-1.809	156.585	0.072	
Mean	4.21	0.603	EVA	0.310	0.578	0.123	454	0.902	
			EVNA			0.120	151.842	0.905	

EVA: Equal variances assumed EVNA: Equal variances not assumed

The mean values of the participants' opinions about the effectiveness of the precautions specified by the authorities against Covid-19 and also the outcome of the t-test is presented in Table 6. It is seen in the table that participants' agreement on the effectiveness of the precautions is at a very high level ($4.20 \leq \bar{x} \leq 5.00$). The variable "general curfew is effective in preventing the spread of the virus" has the highest average rating of 4,493 followed by the variables "Washing hands frequently is effective in preventing the spread of

the virus" ($\bar{x}=4.470$), "Social-distance method is effective in preventing the spread of the virus" ($\bar{x}=4.395$), "Wearing a mask is effective in preventing the spread of the virus" ($\bar{x}=4.073$), and "Partial curfew is effective in preventing the spread of the virus" ($\bar{x}=3.632$), respectively. T-test results show that there is no difference ($p>0.05$) between the sector's mean values within a 95% confidence level. This indicates that both public and private sector construction sector professionals find the precautions effective at a very high level.

Table 7. Satisfaction with the healthcare system

Variables	All participants		t-test						Cron. alpha
	\bar{x}	σ	EVA/ EVNA	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	
Our health infrastructure is sufficient for the coronavirus pandemic	3.573	0.9842	EVA	34.509	0.000	-3.241	454	0.001	0.881
			EVNA			-4.735	348.107	0.000	
Our healthcare professionals are sufficient for the coronavirus pandemic	3.573	0.9842	EVA	34.509	0.000	-3.241	454	0.001	
			EVNA			-4.735	348.107	0.000	
I wouldn't want to be in another country during the Covid-19 pandemic	4.173	0.9529	EVA	15.133	0.000	-1.455	454	0.146	
			EVNA			-1.903	260.886	0.058	
Mean	3.772	0.875	EVA	21.035	0.000	-2.956	454	0.003	
			EVNA			-4.153	313.541	0.000	

EVA: Equal variances assumed EVNA: Equal variances not assumed

3.3. Satisfaction with the Healthcare System

Table 7 presents the averages of the participants' satisfaction level of the healthcare system of the country. It is observed that participants are highly satisfied with the healthcare system of Turkey ($3.40 \leq \bar{x} \leq 4.19$). The variable "I wouldn't want to be in another country during coronavirus pandemic" has the highest average rating of 4.173 followed by the variables "Our health infrastructure is sufficient for the coronavirus pandemic" and "Our healthcare professionals is sufficient for the coronavirus pandemic" with the same average ratings ($\bar{x}=3.573$ for both variables). Except for the last variable, t-test results show that there is a difference between the sector averages. However, the averages fall into the same evaluation criteria category and do not have any difference in meaning.

3.4. Social and Economic Effects

The averages of participants' anxiety levels are presented in Table 8. It is observed that participants are between situations, in other words, neither worried nor calm ($2.60 \leq \bar{x} \leq 3.39$). The variable "generally pessimistic" has the highest average rating of 3.960 indicating that the participants decline to have a pessimist personality. It is followed by the variables "generally optimistic" with a mean value of 3.887, which is in line with the previous variable's interpretation. The participants are highly concerned about their families' health ($1.80 \leq \bar{x} \leq 2.59$). T-test results show that there is no difference between the sector's anxiety averages.

Table 8. Anxiety level

Variables	All participants		t-test						Cron. alpha
	\bar{x}	σ	EVA/ EVNA	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	
Worried because of the Covid-19 situation	2.553	1.139	EVA	1.703	0.193	-0.685	454	0.494	0.777
			EVNA			-0.648	145.531	0.518	
Calm and peaceful	3.100	1.141	EVA	1.781	0.183	-1.135	454	0.257	
			EVNA			-1.090	148.396	0.277	
Worried about own health	2.893	1.237	EVA	7.387	0.007	0.161	454	0.872	
			EVNA			0.150	142.194	0.881	
Worried about family' health	2.026	1.070	EVA	4.958	0.026	1.225	454	0.221	
			EVNA			1.343	180.425	0.181	
Stressful because will have to leave home	2.873	1.222	EVA	2.809	0.094	0.821	454	0.412	
			EVNA			0.806	152.564	0.422	
Generally pessimistic	3.960	1.039	EVA	0.060	0.807	0.892	454	0.373	
			EVNA			0.909	160.748	0.365	
Generally optimistic	3.887	0.957	EVA	0.016	0.900	0.092	454	0.926	
			EVNA			0.091	152.859	0.928	
Mean	3.040	0.731	EVA	5.719	0.017	0.284	454	0.777	
			EVNA			0.258	139.390	0.796	

EVA: Equal variances assumed EVNA: Equal variances not assumed Note: Except for the second and last variable, the other variables are negative expressions and coded in reverse.

Table 9. Economic concerns

Variables	All participants		t-test						Cron. alpha
	\bar{x}	σ	EVA/ EVNA	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	
Economic recession all around the world after the pandemic	1.730	0.874	EVA	6.362	0.012	0.038	454	0.969	0.738
			EVNA			0.046	213.416	0.963	
Economic recession in Turkey after the pandemic	1.886	1.017	EVA	.485	0.486	0.786	454	0.432	
			EVNA			0.852	177.054	0.395	
Worried about losing own job after the pandemic	3.013	1.257	EVA	18.958	0.000	-11.173	454	0.000	
			EVNA			-13.068	203.369	0.000	
Worried about a family losing their job after the pandemic	2.197	1.113	EVA	19.336	0.000	-4.855	454	0.000	
			EVNA			-4.177	131.316	0.000	
Mean	2.206	0.804	EVA	9.709	0.002	-5.414	454	0.000	
			EVNA			-6.416	208.795	0.000	

EVA: Equal variances assumed EVNA: Equal variances not assumed Note: All variables are negative expressions and coded in reverse.

Table 9 presents the averages of civil engineers' economic concerns after the pandemic. It is seen in the table that civil engineers are highly concerned ($1.80 \leq \bar{x} \leq 2.59$) about global, national, and family economies after the coronavirus pandemic. The variable "economic recession all around the world after pandemic" has the highest average rating of 1.730 indicating that civil engineers expect an economic crisis all around the world after pandemic at a very high level. It is followed by the variables "economic recession in Turkey after pandemic" with a mean value of 1.886, "worried about a family losing their job after pandemic" with a mean value of 2.197, and "worried about losing own job after pandemic" with a mean value of 3.013. For the last two variables, t-test results show that there is a difference between the sector averages. The average scores of public sector civil engineers are greater than private-sector averages for the last two variables ($\bar{x}_{\text{public}}=4.12$, $\bar{x}_{\text{private}}=2.70$; $\bar{x}_{\text{public}}=2.66$, $\bar{x}_{\text{private}}=2.06$, respectively). The reason for the difference for the third variable, which is "worried about losing own job after pandemic", is that the government did not layoff any employee so far and civil engineers' trust in this continue after the pandemic as well.

Figure 2 shows the private sector construction companies' insurance existence for extraordinary

situations. Because the question is valid for the only private sector, the public sector's result is not presented. Only 8.40% of the construction companies have insurance for the economic impact of extraordinary situations like pandemics while 62.20 of them have not. 29.40% of the participants state that they do not know whether their company has insurance covers inconceivable conditions. This result is in line with the study of Paleari (2019) [24] which indicates that most of the companies tend not to include unforeseen situations effects on their insurance policy because of high insurance penetration rates.

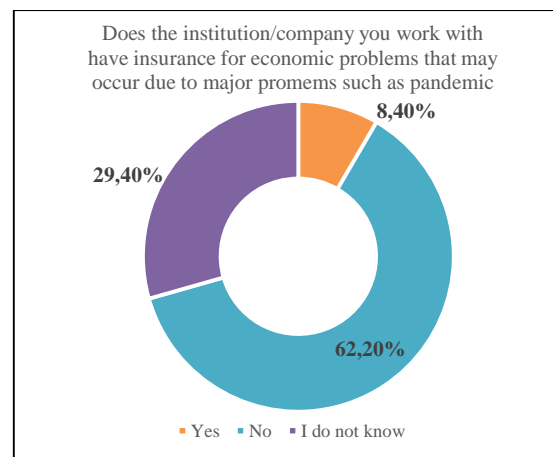
**Figure 2.** Insurance for the pandemic

Table 10 presents the effects of the novel coronavirus pandemic on sectors' businesses. When the private sector is examined, it is seen in the table that only 0.9% of the construction companies have to bankrupt while the majority of them (70.7%) have a decrease in their job. The pandemic has not any business effect at all on 27.6% of the private sector construction companies. When it comes to the public sector, 50.0% of them have decreased in their jobs while the other 50.0% has no any changes with their businesses. The result of the chi-square test for independence shows that there is a difference ($p < 0.05$) between the sector averages within a 95% confidence level. The reason for the difference is some variables such as "bankrupt" is not valid for the public sector and some variables such as "has decreased in its job" does not affect the sectors equally. Public civil engineers generally control the works of the private sector, and it can be

interpreted as the reduction of these inspections cause a decrease in public works.

Table 11 shows the effects of the Covid-19 pandemic on sectors' continued businesses. When the private sector is examined, it is seen in the table that 61.7% of the construction companies continue their jobs somehow while 22.6% postpone their holding jobs. A small portion of the private sector construction companies (15.7%) cancel the jobs they have when the diseases start. When it comes to the public sector, the majority of the sector (78.8%) somehow continue its jobs in hand while 12.1% postpone their holding jobs, and only a 12.1% of them cancel the jobs. Although the result of the chi-square test shows that there is a difference ($p < 0.05$) between the sector scores, both the public and private sector put the options in the same order (continued its jobs somehow > had to postpone its jobs > had to leave/cancel its jobs).

Table 10. Effects of the pandemic on sectors' business

Because of the Covid-19 pandemic, the company/ institution being worked for:	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. Sig.
Bankrupted	0.9	0	0.315	0.000
Had a decrease in its jobs	70.7	50.0	66.585	
Had an increase in its jobs	0.9	0.0	0.7	
Had no changes	27.6	50.0	32.4	
Total	100	100	100	

Table 11. Effects of the pandemic on sectors' continued jobs

Because of the Covid-19 pandemic, the company/ institution being worked for:	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. Sig.
Had to postpone its jobs	22.6	12.1	20.3	0.007
Had to leave/cancel its jobs	15.7	9.1	14.2	
Continued its jobs somehow	61.7	78.8	65.5	
Total	100	100	100	

Figure 3 shows the effects of the pandemic on the private sector's employment characteristics. Please note that again, because the question is too valid for the only private sector, the public sector's result is not presented. It is clear that 7.80% of the construction companies cannot pay the salaries

while 12.2% of them have to decrease the wages. Although 57.40% of them have no changes with their employment characteristics, 22.6% of the private sector construction companies have to remove some employees because of the pandemic's negative economic effects on businesses.

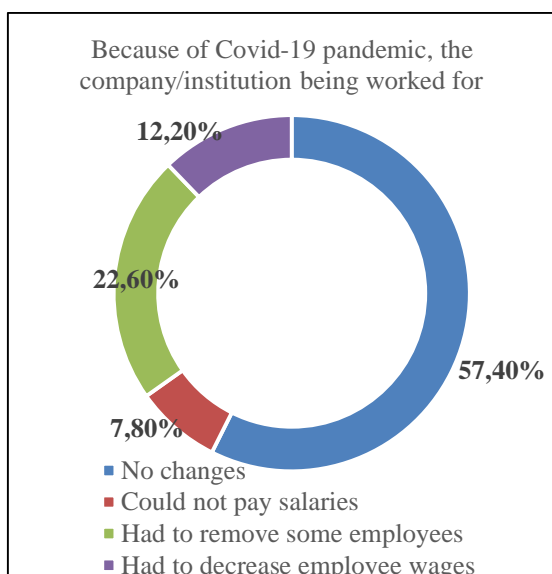


Figure 3. Effects on companies' employment characteristics

The effects of the Covid-19 pandemic on construction sector professionals' employment

status are presented in Table 12. 8.0% of the private sector employees lost their job while this rate is 0.0% in the public sector. Although 60.0% of the public and 25.0% of the private sector construction professionals work from home with getting the same salary as before the pandemic, 19.6% of the private sector professionals continue work partially or completely from home with a decrease in their wages. 40.2% of the private and 40.0% of the public sector civil engineers continue their job with the same conditions as before the pandemic. However, 4.5% of the civil engineers who work for the private sector get less salary than before the pandemic although they work their shift the same as before the coronavirus disease. In the private sector, 2.7% of civil engineers quit their job because of health concerns. The result of the chi-square test for independence shows that there is a difference between the sector averages. The reason for the difference is some variables such as "lost job" are not valid for the public sector and some variables including "wage decrease" do not affect the sectors equally.

Table 12. Effects on employees' employment status

Because of Covid-19 pandemic:	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. sig.
Lost job	8.0	0.0	6.3	0.000
Continued job partially or completely from home without wage changes	25.0	60.0	32.4	
Continued job partially or completely from home with wage decrease	19.6	0.0	14.9	
Continued job same way as before the pandemic	40.2	40.0	40.7	
Continued job same way as before the pandemic but with wage decrease	4.5	0.0	3.5	
Resigned because of health concerns	2.7	0.0	2.1	
Total	100	100	100	

Table 13. Effects on own and family

Caught Covid-19	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. sig.
Yes	0.8	0.0	0.7	0.280
No	97.5	100.0	99.3	
Total	100	100	100	
A relative caught Covid-19	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. sig.
Yes	8.4	18.2	10.5	0.005
No	91.6	81.8	89.5	
Total	100	100	100	
A relative lost his/her job because of Covid-19	Private (%)	Public (%)	Total (%)	Asymp. sig.
Yes	31.9	30.3	32.2	0.617
No	67.2	69.7	67.8	
Total	100	100	100	

Although most of both public and private sector construction professionals continue working either partially or fully, it is seen in Table 13 that only 0.8% of the professionals of the private sector diagnosed coronavirus. This indicates that the construction professionals who work for both sectors are very good at following the precaution rules against the pandemic. It is also seen in the table that 18.2% of the public civil engineers' relatives catch the virus while this ratio is 8.4% for private sector civil engineers' relatives. The ratio of relatives' job loss is higher in the private sector (31.9% and 30.3%, respectively) indicating that the private sector' families are affected more than public sector families.

4. CONCLUSION

Although the pandemics seen in the last two decades have not a significant impact in the world in terms of health, social and economic, the current pandemic caused by the novel coronavirus (Covid-19) spread to the world in a very short time because of the virus' high transmission rate and caused worldwide damage to these areas that are difficult to repair. Despite arriving late to Turkey, Covid-19 spread all over the country in less than one month. Because of the relationships between the construction sector and the economy as a whole, the sector is considered one of the leading sectors of the economy. Hence, if the sector stops, the economy stops. This study investigates the perception of the Covid-19 pandemic of construction professionals and its social and economic effects on the sector professionals by a questionnaire survey carried out in Turkey. The exploratory results of the study are: (1) although they think precautions are not fully sufficient, the construction professionals tend to follow precaution rules specified by health authorities, (2) they stay home unless compulsory matters, e.g., going to work or market to shop, (3) they trust the government and its institutions about public health, (4) they state that healthcare system of the country is very satisfactory, (5) they are highly concerned about global, national and family economies after coronavirus pandemic, and (6) the majority of the construction professionals somehow continue

working and only a very small portion of the private sector companies bankrupt.

The theoretical contribution of this study is in the form of a questionnaire survey study to the construction management knowledge base, in which in an unforeseen extraordinary situation the study illustrates how to define and reveal the perception level of the situation and its social and economic effects on one of the world's leading sectors and its professionals. Considering that there is no such a study addressing these issues, the study provides managerial guidance, to construction industry practitioners to define and cope with the effects of an extraordinary matter such as a pandemic, e.g., anticipating the behavior of sector professionals, taking into account extraordinary situations while regulating the contents of insurance coverage and bilateral employment contracts, etc. Future work will focus on the investigation of opinions of both public and private sector construction firms and their professionals about how to prepare for the next extraordinary situation in terms of social and economic.

The process of collecting data for the questionnaire was carried out in Turkey, and thus it is necessary to endure inter-cultural verification of the tool in order to enhance the generalization of objects. Future studies may replicate the methodology to investigate and compare the outbreak-related risk factors and their outcomes affecting the construction sector in other locations by addressing the limitations.

5. ACKNOWLEDGMENTS

My sincere gratitude is extended to the Chamber of Civil Engineers and Fuat KÖKER for their contribution in data collection.

6. REFERENCES

1. Richman, D.D., Whitley, R.J., Hayden, F.J., 2016. *Clinical Virology*, ASM Press, Washington, DC, USA.
2. WHO, 2015. Summary of Probable SARS Cases with Onset of Illness from 1 November

- 2002 to 31 July 2003,
https://www.who.int/csr/sars/country/table2004_04_21/en/ (accessed April 20, 2020).
3. WHO, 2020. Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV),
<https://www.who.int/emergencies/mers-cov/en/> (accessed April 20, 2020).
 4. Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., Xiao, Y., Gao, H., Guo, L., Xie, J., Wang, G., Jiang, R., Gao, Z., Jin, Q., Wang, J., Cao, B., 2020. Clinical Features of Patients Infected with 2019 Novel Coronavirus in Wuhan, China, *Lancet*, 497-506.
 5. World Health Organization (WHO), 2020. Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report - 1, Geneva, Switzerland.
 6. Zhang, D., Hu, M., Ji, Q., 2020. Financial Markets Under the Global Pandemic of COVID-19, *Financ. Res. Lett.* 101528.
 7. WHO, 2020.
<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/> (accessed December 31, 2020).
 8. T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020.
<https://www.saglik.gov.tr/> (Accessed December 31, 2020).
 9. Yu, K.D.S., Aviso, K.B., 2020. Modelling the Economic Impact and Ripple Effects of Disease Outbreaks, *Process Integr. Optim. Sustain.*
 10. Şafaklı, O.V., 2011. An Overview of the Construction Sector in Northern Cyprus, *African Journal of Business Management*, 5(35), 13383-13387.
 11. Giang, D.T.H., Sui Pheng, L., 2011. Role of Construction in Economic Development: Review of Key Concepts in the Past 40 Years, *Habitat Int.* 35 118–125.
 12. Leeper, E.M., Walker, T.B., Yang, S.C.S., 2010. Government Investment and Fiscal Stimulus, *J. Monet. Econ.* 57, 1000–1012.
 13. Erdis, E., Genç, O., Aydınli, S., 2019. Mobbing on Construction Professionals: Causes, Consequences, and Precautions, *Int. J. Constr. Manag.*
 14. Çelik, G.T., Oral, E.L., 2016. Big Five and Organizational Commitment-the Case of Turkish Construction Professionals, *Hum. Resour. Manag. Res.* 6, 6–14.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Big->
 15. Schönbrodt, F.D., Perugini, M., 2013. At What Sample Size do Correlations Stabilize?, *J. Res. Pers.* 47, 609–612.
 16. Mazlina Zaira, M., Hadikusumo, B.H.W., 2017. Structural Equation Model of Integrated Safety Intervention Practices Affecting the Safety Behaviour of Workers in the Construction Industry, *Saf. Sci.* 98, 124–135.
 17. Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., Pal, D.K., 2015. Likert Scale: Explored and Explained, *Br. J. Appl. Sci. Technol.* 7, 396–403.
 18. Genç, O., Erdiş, E., Çoşkun, H., 2017. İnşaat Mühendisleri Özelinde Eş Zamanlı Mühendislik Yaklaşımının İrdelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.* 31, 31–38.
 19. Thompson, C.B., 2009. Descriptive Data Analysis, *Air Med. J.* 28, 56–59.
 20. Buchli, J., Righetti, L., Ijspeert, A.J., 2008. Frequency Analysis with Coupled Nonlinear Oscillators, *Phys. D Nonlinear Phenom.* 237: 1705–1718.
 21. Assumpção, A., Pagano, T., Matsutani, L.A., Ferreira, E.A.G., Pereira, C.A.B., Marques, A.P., 2010. Quality of Life and Discriminating Power of Two Questionnaires in Fibromyalgia Patients: Fibromyalgia Impact Questionnaire and Medical Outcomes Study 36-Item Short-Form Health Survey, *Brazilian J. Phys. Ther.* 14(4), 284-9.
 22. Kim, T.K., 2015. T Test as a Parametric Statistic., *Korean J. Anesthesiol.* 68, 540–6.
 23. Hall, R.A., Daneshmend, L.K., 2003. Reliability Modelling of Surface Mining Equipment: Data Gathering and Analysis Methodologies, *Int. J. Surf. Mining, Reclam. Environ.* 17, 139–155.
 24. Paleari, S., 2019. Disaster Risk Insurance: A Comparison of National Schemes in the EU-28, *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 35, 101059.

Jet Giriş Genişliğinin Isı Transferi ve Akış Yapısına Olan Etkisinin Araştırılması

Doğan Engin ALNAK¹, Koray KARABULUT^{*2}

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Sivas

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi Programı, Sivas

Geliş tarihi: 29.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Bu çalışmada, farklı jet giriş genişliklerindeki kanallarda bulunan düz yamuk ve ters yarım daire şeklinde iki farklı desene sahip bakır plakalı yüzeylerden hava jeti akışı ile olan ısı transferi sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal hesaplamalar, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanalların üst ve alt yüzeyleri adyabatik olup desenli yüzeylere sabit ısı akısı uygulanmıştır. Jet giriş genişlikleri D_h ve $1,25D_h$ 'dir. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın sayısal ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür. Sonuçlar, her bir desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimi olarak sunulmuştur. Jet ve plaka arası mesafe (H/D_h) 12'de $Re=9000$ için ters yarım daire desenli yüzeylerin ortalama Nu sayısı, düz yamuk desenli yüzeylerden yaklaşık %56 daha fazladır.

Anahtar Kelimeler: Jet giriş genişliği, Çarpan hava jeti, Desenli yüzey, Isı transferi

Search of the Effect of Jet Inlet Width on Heat Transfer and Flow Character

Abstract

In this study, the heat transfer was numerically researched by air jet flow from copper plate surfaces having different pattern shapes as flat trapezoid and reverse semi-circular in channels with different jet inlet widths. Numerical calculations were performed by solving the energy and Navier-Stokes equations in three dimensions and steady, using the Ansys-Fluent program with standard k-ε turbulence model. The top and bottom facets of the channels are adiabatic and fixed heat flux was implemented to the patterned facets. Jet entrance widths are D_h and $1,25D_h$. The results of the study were compared with the numerical and experimental results of the work in the literature and it was obtained that they are compatible with one another. The results were exhibited as the average Nu number and variation of facet temperature for each patterned facet. The average Nu number of reverse semi-circular patterned facets is approximately 56% more than flat trapezoid patterned facets at distance between jet-plate (H/D_h) 12 for $Re = 9000$.

Keywords: Jet entrance width, Impingement air jet, Patterned facet, Heat transfer

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Koray KARABULUT, kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

1. GİRİŞ

Çarpan jet akışı, püskürtücüden yüzeye jet akışını içermektedir. Çarpan jetin ısı transferi, genellikle geleneksel yöntemlerle elde edilenden daha fazladır. Katı yüzeyi ısıtmak veya soğutmak için kullanılan yaygın bir yöntemdir [1]. Çarpan jet tekniğine metallerin sertleştirilmesi, türbin kanatçıklarının soğutulması işlemlerinde [2] ve güneş hücrelerin soğutulması gibi çok çeşitli sanayi uygulamalarında başvurulmaktadır [3]. Bunlardan başka, jet ile soğutma günümüzde yüksek kapasiteli elektronik ısı sistemler için kullanılabilir bir uygulama durumuna gelmiştir. Isı üretim miktarı fazla olan elektronik ekipmanlar, daima teknolojik gelişime uğradığı, hacimsel olarak küçüldüğü ve geliştiği için tekil olarak hava ile soğutulması kullanılabilmemesinin gerekli ve yeterli kapasiteyi sağlayamayacağı saptanmıştır. Soğutma işleminin çarpan jet ile yapılmasıyla fazla ısı akılı bu elemanlardan yüksek miktarlarda ısının transferi olanaklı hale gelmektedir [4,5].

Çarpan jet akışı hakkındaki daha önce gerçekleştirilen çalışmaların birinde, Carlomagno ve Ianiro [6] ısı transferi ve çarpan jet akış karakteristiği üzerinde Re sayısı ile jet ve plaka arası mesafenin etkisini detaylı bir şekilde incelemiştir. Çalışmalarını PIV (parçacık görüntülemeli hız ölçüm) tekniği ile gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, PIV sonuçlarını ileri hesaplama yöntemleriyle de kıyaslamışlardır. Argus ve arkadaşları [7] laminer hava jeti akışı ile bir kanaldaki ısınmış blokların ısı transferini sayısal olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında, jet Re sayısının, kanal yüksekliğinin, jetin delik genişliğinin, soğutulan plakalar arası uzaklığın, plakaların yükseklik ve ısı iletim katsayılarının etkisini değerlendirmişlerdir. Genel itibarıyla, blokların etkin olarak soğutulmasının azalan kanal yüksekliği ve artan Re sayısı ile mümkün olabileceğini bulmuşlardır. Popovac ve Hanjalic [8] çarpan jet akışı uygulamasıyla küp şeklindeki bir plaka için ısı transferini incelemiştir. Ayrıca, küp etrafındaki akış özelliklerini araştırmışlar ve küpten olan ısı transferi ile akış yapısı arasında doğrudan bir ilişkinin var olduğunu belirlemişlerdir. Yang ve Hwang [9] yarı silindirik şeklinde dış bükey bir yüzey üzerine çarpan

türbülans özellikli bir jet akışını sayısal olarak incelemişler ve artan Re sayısı ile yüzeydeki hız değişimi ve türbülans kinetik enerjide artış saptamışlardır. Karabulut ve Alnak [10] sur ve dikdörtgen şeklinde olmak üzere iki farklı desene sahip sabit ısı akılı bakır plakalı yüzeylerin tek bir hava jeti akışı ile soğutulmasının sayısal araştırmasını yapmışlardır. Değişken parametreler olarak jet-plaka arası uzaklığı ve Re sayısını kullanmışlardır. Çalışmalarında, $Re=4000$ ve jet-plaka arası uzaklık değeri 4 için sur deseni şeklindeki yüzeylere göre dikdörtgen desen şeklindeki yüzeylerde ortalama Nu sayısında %31,45'lik fazladan bir artış elde etmişlerdir. Bir diğer çalışmada, Karabulut [11] dikdörtgen kesitli kanallar içerisinde ısıtılmış beşer adet ters ve düz daire şeklindeki desenli yüzeylerin hava jeti akışı ile soğutulmasını sayısal hesaplamalı olarak incelemiştir. Desenli yüzeylerin soğutma performansları üzerinde desen şeklinin ve jet-plaka arası mesafenin Re sayısına göre daha büyük bir öneme sahip olduğunu belirlemiştir. Mushatat [12] çarpan jetler için ısı transferi ve akış yapılarını sayısal hesaplamalı olarak incelemiştir. Bununla birlikte, jetin Re sayısının ve jetler arası uzaklığın Nu sayısı ve türbülans kinetik enerji değerlerini önemli ölçüde etkilendiğini belirlemiştir. Tepe [13] yarı dairesel bir iç bükey yüzey üzerinde kademeli dizi halinde çarpan jet soğutmasını sayısal olarak araştırmıştır. Sayısal hesaplamalarını farklı Re sayıları, jet-plaka arası uzaklıkları ve jet lülesi ve plaka arasındaki mesafeyi değerlendirerek yapmıştır. Sonuçlarında, ortalama ve noktasal Nu sayılarının jet lülesi ve plaka arasındaki mesafenin azalmasıyla arttığını belirlemiştir. Belarbi ve arkadaşları [14] ise bilgisayar işlemcisi soğutma kapasitesini artırmak amacıyla çarpan hava jetini kullanarak soğutucu bloğun ısı ve aerodinamik performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Bunu yaparken hız gradyanı, ısı direnç ve sıcaklık değişimi üzerinde çarpan jetin uzaklığının etkisini de araştırmışlardır. Bunun yanında, ısı performans üzerinde bilgisayar işlemcisinin yerleştirilme konumunu da değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, jet yüksekliği/çap oranı (Y/D) için 0,606 değeriyle en iyi soğutma performansına ulaşıldığını ve işlemci ünitesinin gerçek konumundan boylamasına 10 mm mesafe kadar konum değiştirmesinin soğutma kapasitesini iyileştirdiğini göstermiştir.

Leena ve arkadaşları [15] düz bakır bir plaka üzerine birden çok hava jeti çarpmasının soğutma performansı özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal çalışma için Ansys-Fluent bilgisayar programını kullanırken, deneysel inceleme için ayrı bir sistem planlamışlardır. Simülasyonu yapılmış olan bir işlemcinin ısı transfer yüzeyi olarak tabandan ısıtılan bakır bir plakadan yararlanılmış ve sistemde sıralı jetler bir hat şeklinde düzenlenmiştir. Isı transferi miktarında Re sayısı ve jetler arası uzaklığın etkisini sayısal olarak araştırmışlar ve aynı zamanda, sayısal çalışma sonuçlarını deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır.

Sunulan çalışmada elektronik endüstrisinin en küçük birimi olup, bilgisayarlarda da kullanılan mikroçiplerden olan ısı transferini artırmak amacıyla dikdörtgen kesitli kanallar içerisindeki düz yamuk ve ters yarım daire şeklinde farklı desenlere sahip bakır plakalı yüzeylerin farklı jet genişliklerinde hava jeti akışı ile ısı transferinin sayısal incelemesi yapılmıştır. Sayısal inceleme, zamandan bağımsız, üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programının kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, literatürdeki uygulamalar da gözetilerek 50x200 mm ölçülerinde ve farklı yüksekliklere sahip dikdörtgen şeklindeki kanallar kullanılırken, çarpan jet akışkanı 300K kanal giriş sıcaklığı olan hava kullanılmıştır. D_h ve $1,25D_h$ olmak üzere jet akış giriş uzunluğu, jet-desenli yüzeyler arası uzaklıklar (H/D_h), düz yamuk ve ters yarım daire olarak farklı geometrik desen şekilleri ve jet Re sayısı değişkenler olarak incelenmiştir. Araştırmada, desenli yüzeylere 1000 W/m^2 'lik sabit bir ısı akısı uygulanmıştır. Çalışmada, jet Re sayısı aralığı 5000-11000 iken jet-desenli yüzeyler arası uzaklığı ise $6D_h$ ve $12D_h$ 'dir. İncelenen çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel ve sayısal sonuçlarıyla kıyaslanmış ve sonuçların uyumlu oldukları saptanmıştır. Ulaşılan sonuçlar, düz yamuk ve ters yarım daire olmak üzere desenli yüzeylerin her biri için ayrı ayrı ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak verilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmalı incelemesi yapılmıştır. Farklı jet giriş genişlikleri, H/D_h

mesafeleri ve Re sayıları için jet akışın kanal içerisindeki sıcaklık ve akım çizgisi konturu dağılımları desenli yüzeyler için analiz edilmiştir. Çalışmada ayrıca desenli geometrilerin farklı Re sayıları, jet-plaka uzaklıkları ($H/D_h=3$ ve 6) ve jet giriş genişlikleri için tüm yüzeyler dikkate alınarak ortalama Nu sayısı (Nu_o), kanaldan jet akış çıkış sıcaklığı ($T_{jç}$) değerleri yorumlanmıştır.

2. SAYISAL İNCELEME

Çalışmada, üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak farklı şekillere sahip desenli yüzeyler üzerindeki jet akışın zorlanmış taşınım ısı transferinin sayısal olarak hesaplamalı çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır.

Süreklilik ve momentum denklemleri için yakınsama ölçeği 10^{-6} olup, enerji denklemi için bu değer 10^{-7} 'dir. Simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı şekli dörtüzlüdür (tetrahedral). Ayrıca, çalışma literatürde bulunan diğer türbülans modelleriyle kıyaslandığında [16] üretilen kinetik enerjii azalttığı ve jet durma bölgesinde elde edilmesi gereken sonuca yaklaşıldığından çalışmada standart k-ε türbülans modelinin kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Kanaldaki akış ve ısı transferinin çözümüne aşağıda açıklandığı üzere gövde kuvvetinin bulunmadığı kararlı durumdaki türbülanslı akış için zaman ortalamalı kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden türetilen kısmi türevli diferansiyel denklemlerin çözümü ile ulaşılmıştır [16].

Süreklilik denklemi (Eşitlik 1):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi (Eşitlik 2):

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

Enerji denklemi (Eşitlik 3):

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u_i'} \right] \quad (3)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi (Eşitlik 4):

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k' u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k') = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi (Eşitlik 5):

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k'} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k'} \quad (5)$$

Bu denklemlerde ρ akışkanın yoğunluğunu, k' türbülanslı akışın kinetik enerjisini, u_i , x , y ve z eksenleri doğrultusundaki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k türbülanslı kinetik enerji Prandtl sayısını ($\sigma_k = 1$) göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) veren eşitlikler aşağıda verilmiştir [17] (Eşitlik 6-7).

$$G_k = -\rho \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k'^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve C_μ katsayıları, σ_ε ise türbülans yutulma Prandtl sayısını temsil etmektedir ve sırasıyla $C_{1\varepsilon}=1,44$, $C_{2\varepsilon}=1,92$, $C_\mu=0,09$ ve $\sigma_\varepsilon=1,3$ olarak alınmıştır [17]. Bu sabitlerin değerleri, birçok türbülanslı akış için çok sayıda veri uyumuyla elde edilmiştir.

Reynolds sayısı (Re) aşağıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 8).

$$Re_k = \frac{V_\infty D_h}{\nu} \quad (8)$$

Burada D_h , jet girişinin hidrolik çapıdır (Eşitlik 9).

$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{4(a.W)}{2(a+W)} \quad (9)$$

Bu denklemde A_c ve P sırasıyla jet girişinin kesit alanı ve çevre uzunluklarıdır. Nusselt sayısı (Nu), taşınım ile ısı geçişinin iletimle ısı geçişine oranı olarak değerlendirilir (Eşitlik 10).

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_s = h(T_\infty - T_s) \text{ ve } Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (10)$$

Burada, h yüzey üzerindeki yerel ısı taşınım katsayısı, n ise yüzeye dik yöndür ve ortalama ısı taşınım katsayısı h_m , ve ortalama Nu sayısı (Nu_o) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Ortalama ısı taşınım katsayısı (Eşitlik 11):

$$h_m = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (11)$$

Ortalama Nu sayısı (Eşitlik 12):

$$Nu_o = \frac{h_m D_h}{k} \quad (12)$$

Eşitlik 11 ve 12'de h ve h_m sırasıyla noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayılarını belirtmektedir.

3. GEOMETRİK TASARIM

Şekil 1'de çalışmada incelenen desenli yüzeylerin var olduğu kanalların ölçüleri ve kullanılan sınır şartları perspektif görünüşler üzerinde gösterilmektedir. Çalışmada D_h ve $1,25 D_h$ olmak üzere iki farklı jet püskürtücü genişliği kullanılmış olup, hidrolik çap D_h değeri $9,9 \text{ mm}$ 'dir. Kanal, 200 mm boy uzunluğuna (L) ve 50 mm genişliğe (W) sahiptir. Jet akışkanının püskürtücüden çıkan kanal giriş hızı aralığı $4,42\text{-}9,72 \text{ m/s}$ olup jet girişinde uniform hız profiline sahip dikdörtgen şeklindeki püskürtücünün ölçüleri $9,9 \times 50 \text{ mm}$ ve

12,375x50 mm'dir. Kanal yükseklikleri ise $6D_h$ ve $12D_h$ 'dir. İki ayrı kanal içerisinde yedi adet düz yamuk ve yedi adet ters yarım daire desenli yüzey bulunmakta iken desenler ardışık olarak tasarlanmıştır. Bununla birlikte, desenlerin genişlik ve yükseklikleri $2D_h$ ve D_h 'dir.

Bu çalışmada yapılan kabuller şunlardır:

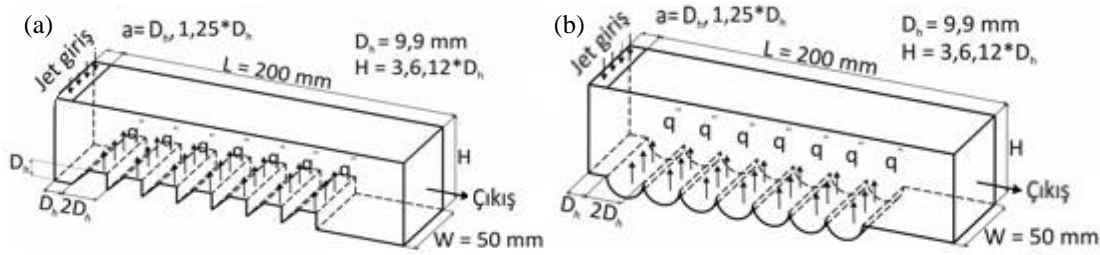
a) Akış alanı üç boyutlu, zamandan bağımsız ve akış türbülanslıdır.

b) Jet akışkanı sıkıştırılamaz havadır.

c) Desenli yüzey şekillerine sabit 1000 W/m^2 ısı akısı uygulanmıştır.

d) Jet akışkanının ısı özellikleri sabit ve kinematik viskozitesi $\nu=15,89 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, yoğunluğu $\rho=1,1614 \text{ kg/m}^3$, özgül ısı $c_p=1,007 \text{ kJ/kgK}$, ısı iletim katsayısı $k=26,3 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$ olarak alınmıştır.

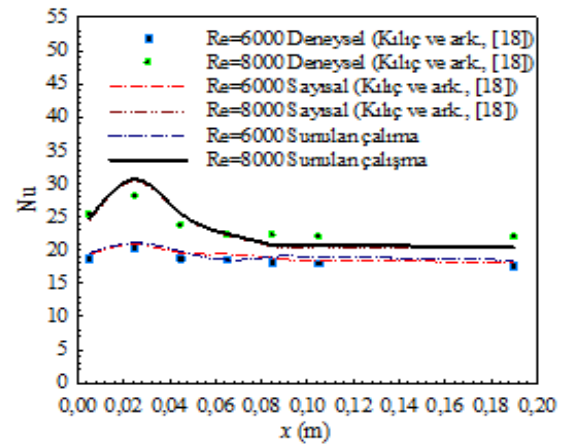
e) Jet akışkanı ve desenli yüzeyler için ısı üretimi yoktur.



Şekil 1. Sınır şartları ve boyutları olan hesaplama hacimlerinin perspektif görünüşleri (a) düz yamuk desenli (b) ters yarım daire desenli

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kılıç ve arkadaşları [18]'nin yaptıkları çalışmanın deneysel ve sayısal Nu sayısı sonuçları $H/D_h=6$ ve Reynolds sayısının 6000 ve 8000 değerleri için olmak üzere bu çalışmanın sayısal sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. $Re=6000$ 'de jetin çarpma bölgesindeki Nu sayısı değeri incelendiğinde Kılıç ve arkadaşları [18]'nin deneysel sonucu ile bu çalışmanın sayısal sonucu arasında %3,99'luk bir fark varken, sayısal sonuçlar arasında %1'lik bir fark olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, $Re=8000$ için çarpma bölgesinde türbülans yoğunluğunun artışına bağlı olarak Kılıç ve arkadaşları [18]'nin deneysel sonuçları ile bu çalışmanın sayısal sonuçları arasındaki fark artarak %9,15 olmaktadır. Aynı bölgede, sayısal sonuçlar arasındaki fark ise %1,02'dir. Ulaşılan bu sonuçlara göre, bu çalışmanın sayısal sonuçlarının Kılıç ve arkadaşları [18]'nin deneysel ve sayısal sonuçlarıyla kıyaslanabilir ve bu çalışmanın kabul edilebilir doğrulukta olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 2. Sonuçların karşılaştırılması

$H/D_h=3$ için desenli yüzeylerin ortalama Nu sayıları üzerinde ağ sayısının etkisini bulmak amacıyla düz yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeyler için gerçekleştirilen ağ bağımsızlık incelemeleri sırasıyla Çizelge 1 ve 2'de sunulmaktadır. Ulaşılan sonuçlara göre düz yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeylerin bulunduğu kanallar için sırasıyla 1208792 ve 1325054 adet ağ elemanın uygun olduğu saptanmıştır.

Çizelge 1. Düz yamuk desenli kanal için Nu_o için ağ bağımsızlık incelemesinin sonuçları

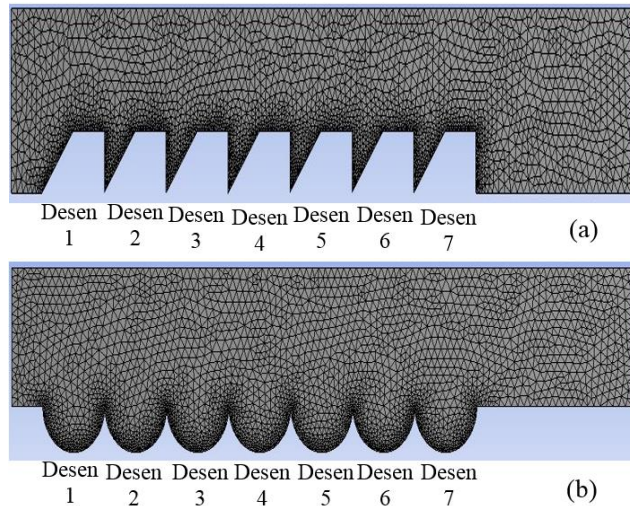
Ağ sayısı	Nu_o Re=5000	Nu_o Re=7000	Nu_o Re=9000	Nu_o Re=11000
578142	8,09	13,24	15,47	17,24
1208792	11,3	14,01	16,67	18,59
1684571	11,29	14,01	16,67	18,58

Çizelge 2. Ters yarım daire desenli kanal için Nu_o için ağ bağımsızlık incelemesinin sonuçları

Ağ sayısı	Nu_o Re=5000	Nu_o Re=7000	Nu_o Re=9000	Nu_o Re=11000
624574	8,47	12,34	15,74	18,48
1325054	11,25	14,81	18,15	21,23
1742403	11,25	14,82	18,16	21,23

Düz yamuk ve ters yarım daire desenli plakalı yüzeylere sahip kanallardaki ağ yapıları, desenlerdeki ağ yapılarını da kolaylıkla görünür

hale getirebilmek için yakınlştırılarak Şekil 3 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.



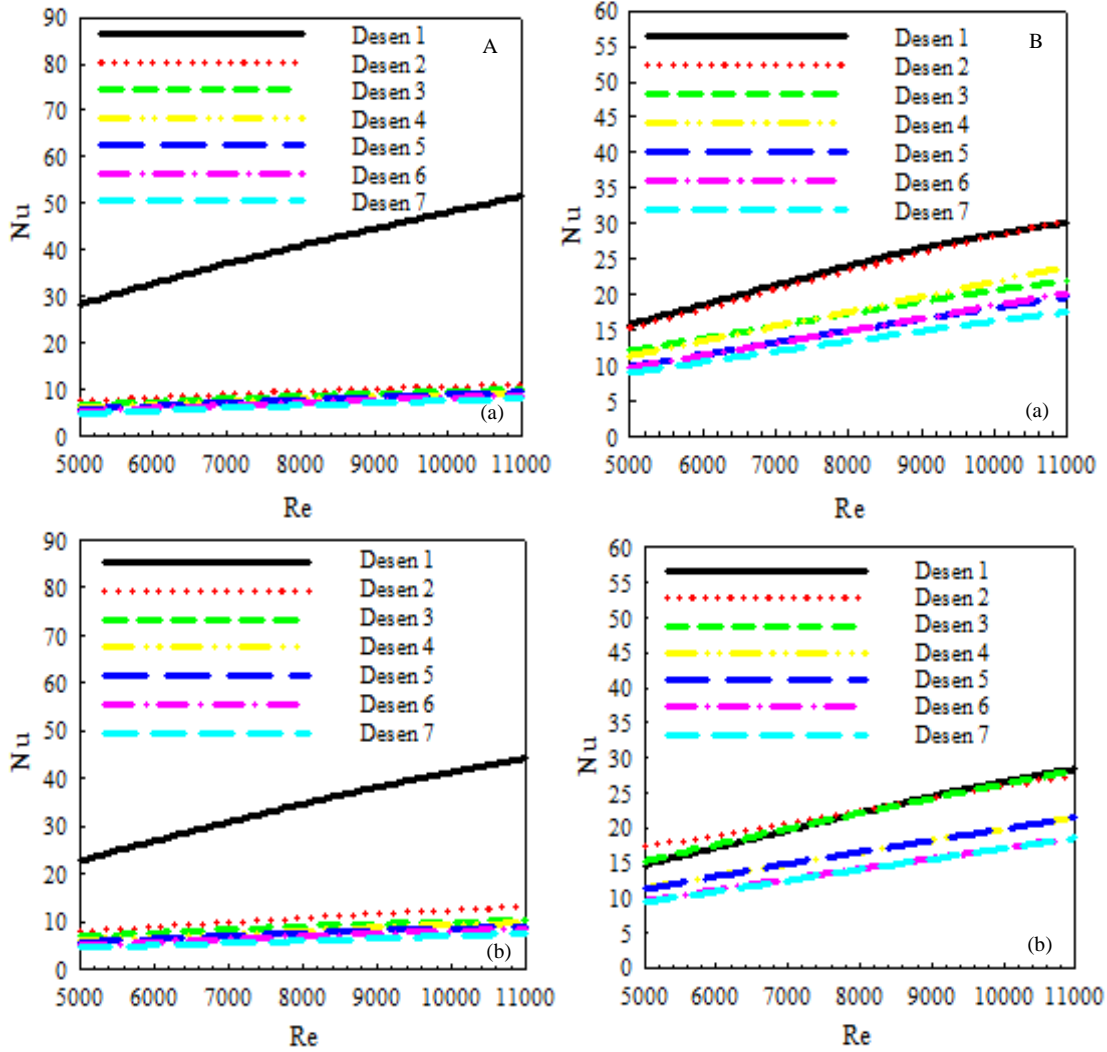
Şekil 3. Hesaplama için kullanılan (a) düz yamuk (b) ters yarım daire desenli yüzeylere sahip kanalların ağ yapıları

Şekil 4'de D_h jet giriş genişliğindeki kanallarda sırasıyla A-düz yamuk ve B-ters yarım daire desenli yüzeylere ait (a) $H/D_h=6$ (b) $H/D_h=12$ jet-plaka arası mesafelerde ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi sunulmaktadır. Kanalların her birinde eşit boyutlarda yedişer adet desenli yüzey bulunmaktadır. Şekil 4A(a)'da öncelikle birinci düz yamuk desenli yüzeye jetin çarpması nedeniyle Nu sayısında diğer yüzeylere göre daha yüksek bir değer elde edilmektedir. Bununla

birlikte, jetin desen geometrisine bağlı olarak diğer yüzeylerde etkisini kaybetmesinin yanı sıra desen aralarına nüfuz edememesi diğer desenlerde Nu sayısının azalmasına sebep olmaktadır. H/D_h mesafesinin 12 değerine çıkması ise desenler üzerinde jet etkisini azaltarak Nu sayısı değerinin tüm yüzeyler için azalmasıyla sonuçlanmıştır. Şekil 4B'de ters yarım daire desenli yüzeylere ait Nu sayısı grafiklerine bakıldığında ise düz yamuk desenli yüzeye göre birinci desen için Nu sayısı

değeri azalış gösterse de ikinci desenden itibaren Nu sayısı değerlerinin daha fazla olduğu grafikten kolaylıkla görülebilmektedir. Ayrıca, Şekil 4B (b)'de $H/D_h=12$ için kanal içerisindeki jet akış rejiminin değişimi sonucu özellikle ikinci ve

üçüncü desenlere ait Nu sayısında $H/D_h=6$ 'ya göre artışlar elde edilmiştir. $H/D_h=12$ 'de $Re=9000$ için ters yarım daire desenli yüzeylerin ortalama Nu sayısı değeri, düz yamuk desenli yüzeylerden yaklaşık %56 daha fazla olmaktadır.



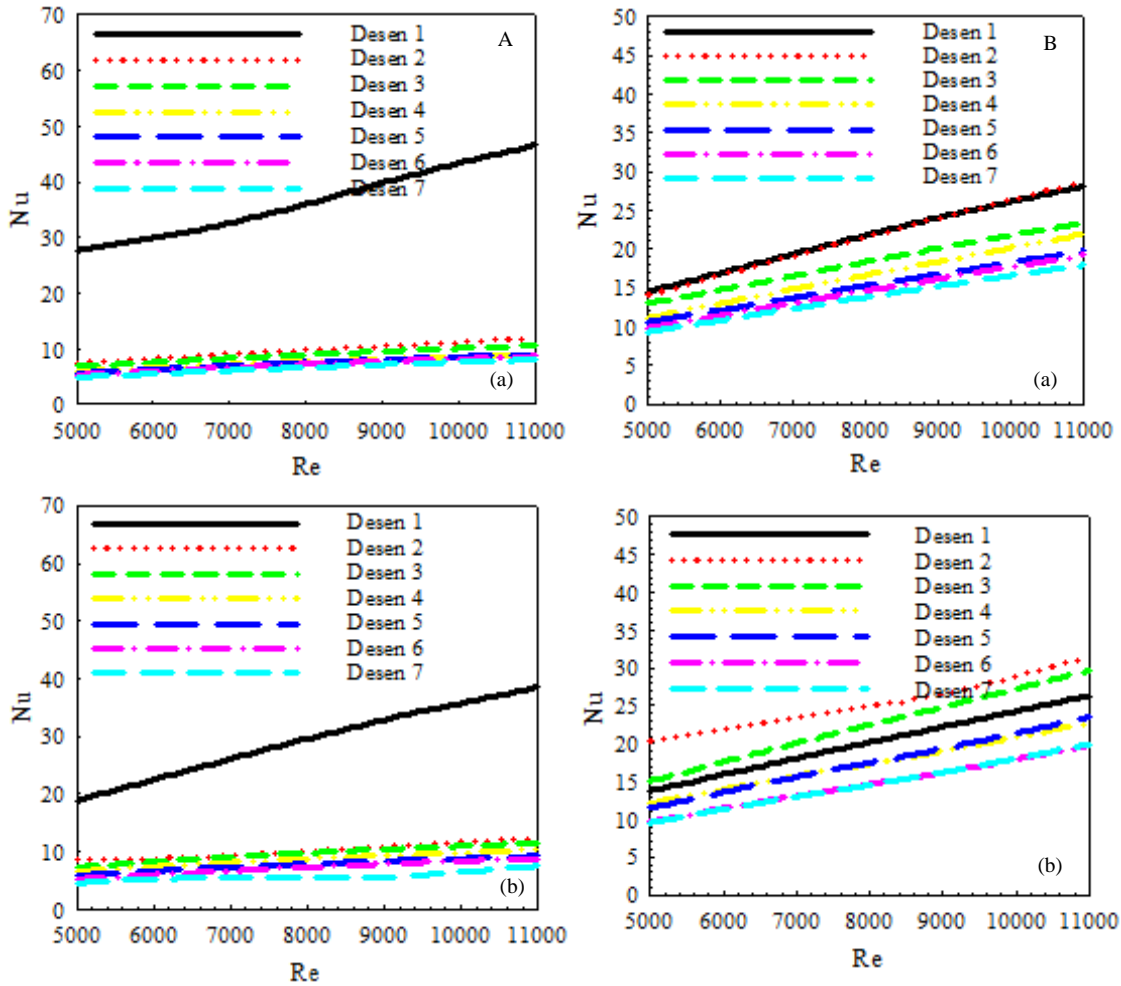
Şekil 4. $a=D_h$ için desenlerin ortalama Nu sayısı değişimi A-düz yamuk B-ters yarım daire desenli yüzey (a) $H/D_h=6$ (b) $H/D_h=12$

$a=1,25D_h$ jet giriş genişliğine sahip kanallarda bulunan A-düz yamuk ve B-ters yarım daire desenli yüzeylerdeki (a) $H/D_h=6$ ve (b) $H/D_h=12$ jet-plaka arası mesafelerde Re sayısına bağlı olarak ortalama Nu sayısı değişimi Şekil 5'de

verilmektedir. Jet giriş genişliğinin artışı, sabit Re sayısında jetin kanala giriş hızını azaltmaktadır. Bununla birlikte, bu olumsuz durumun etkisinin azaltılması desenli yüzeylerin geometrik şekline bağlı olarak jetin yüzeylerle olan temasının

artırılmasına bağlı olmaktadır. Şekil 5A (a) ve (b)'de düz yamuk desenli yüzeylere ait ortalama Nu sayısı değerleri, D_h jet giriş genişliğindeki Nu sayısı değerleri ile karşılaştırıldığında her iki jet-plaka arası uzaklık için de değerlerin azalma eğiliminde oldukları görülebilmektedir. Bununla birlikte, Şekil 5B (a)'daki ters daire desenli yüzeyde ise $H/D_h=6$ için D_h jet giriş genişliğine göre ortalama Nu sayısı değerlerinde az da olsa azalma görülse de $H/D_h=12$ değerine göre ise $1,25D_h$ jet giriş genişliğinde Nu sayısında artış elde edilmektedir. Bu duruma jet-plaka arası mesafe artışıyla azalan jet etkisine rağmen ters daire

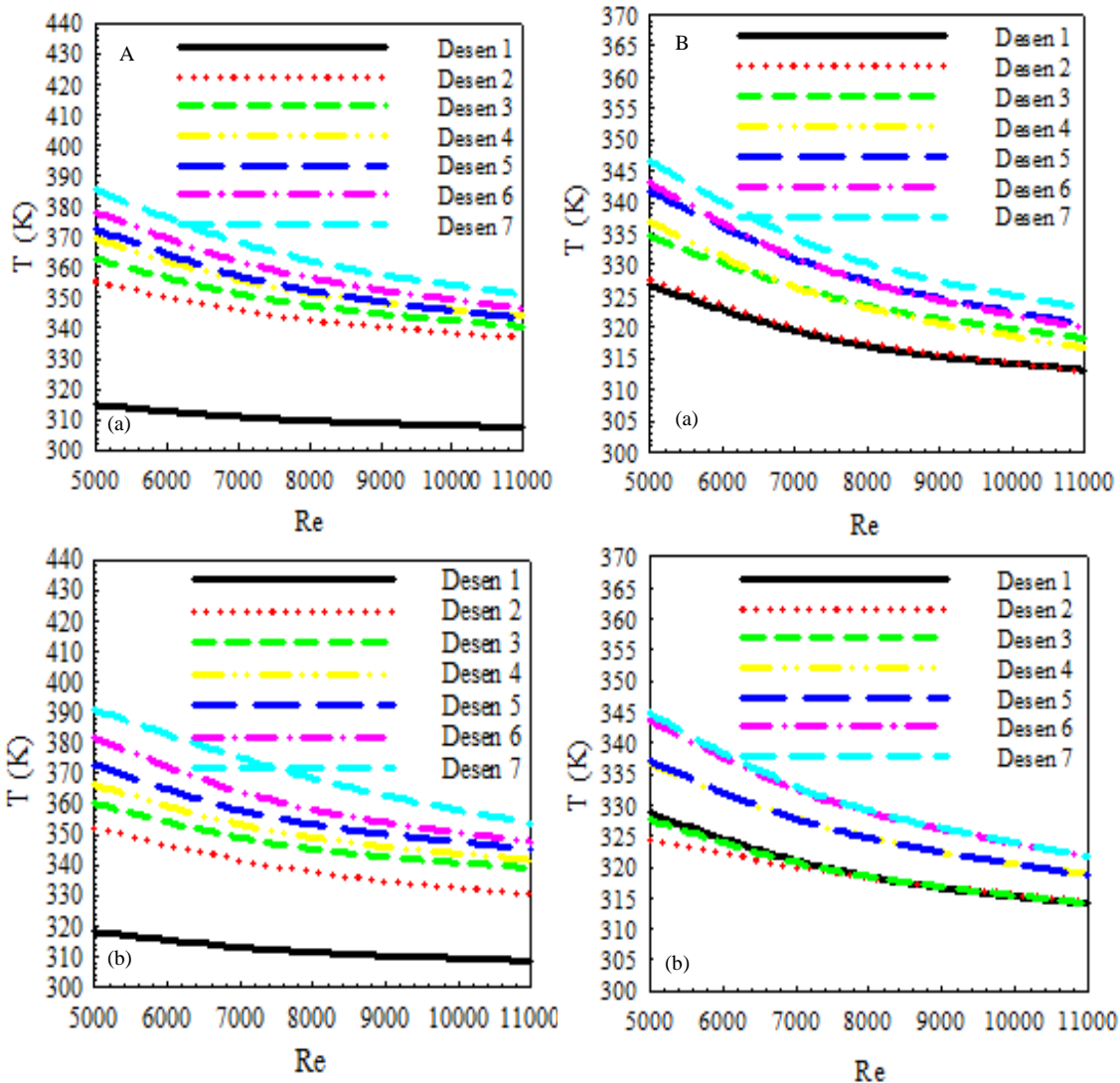
desenli yüzeylerde jetin kanal içerisinde değişen akış yapısıyla daha iyi bir şekilde desenlere nüfuz edebilmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. $H/D_h=6$ 'da $Re=7000$ ve düz yamuk desenli yüzey için $1,25D_h$ jet giriş genişliğinde D_h jet giriş genişliğine göre ortalama Nu sayısı %4,9 azalmaktadır. Aynı şartlarda ters daire desenli yüzey için bu azalma miktarı %1'in altındadır. Bununla birlikte, $H/D_h=12$ için ters daire desenli yüzeyde ve $Re=11000$ değerinde D_h jet giriş genişliğine göre $1,25D_h$ jet giriş genişliğinde ortalama Nu sayısında yaklaşık %6'lık bir artış elde edilmektedir.



Şekil 5. $a=1,25D_h$ için desenlerin ortalama Nu sayısı değişimi A-düz yamuk B-ters yarım daire desenli yüzey (a) $H/D_h=6$ (b) $H/D_h=12$

Şekil 6'da A-düz yamuk ve B-ters yarım daire desenli yüzeylere ait $a=D_h$ jet giriş genişliğinde (a) $H/D_h=6$, (b) $H/D_h=12$ jet-plaka arası uzaklıklarında yüzeylerin ortalama sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Jet etkisinin son desene doğru azalması nedeniyle ısı transferi en az son desende olmaktadır. Bu nedenle, her iki desen şekli ve H/D_h oranlarında en yüksek yüzey sıcaklığı değerine yedinci desende ulaşılmaktadır. Yedinci desenden birinci desene doğru ise ısı transferinin

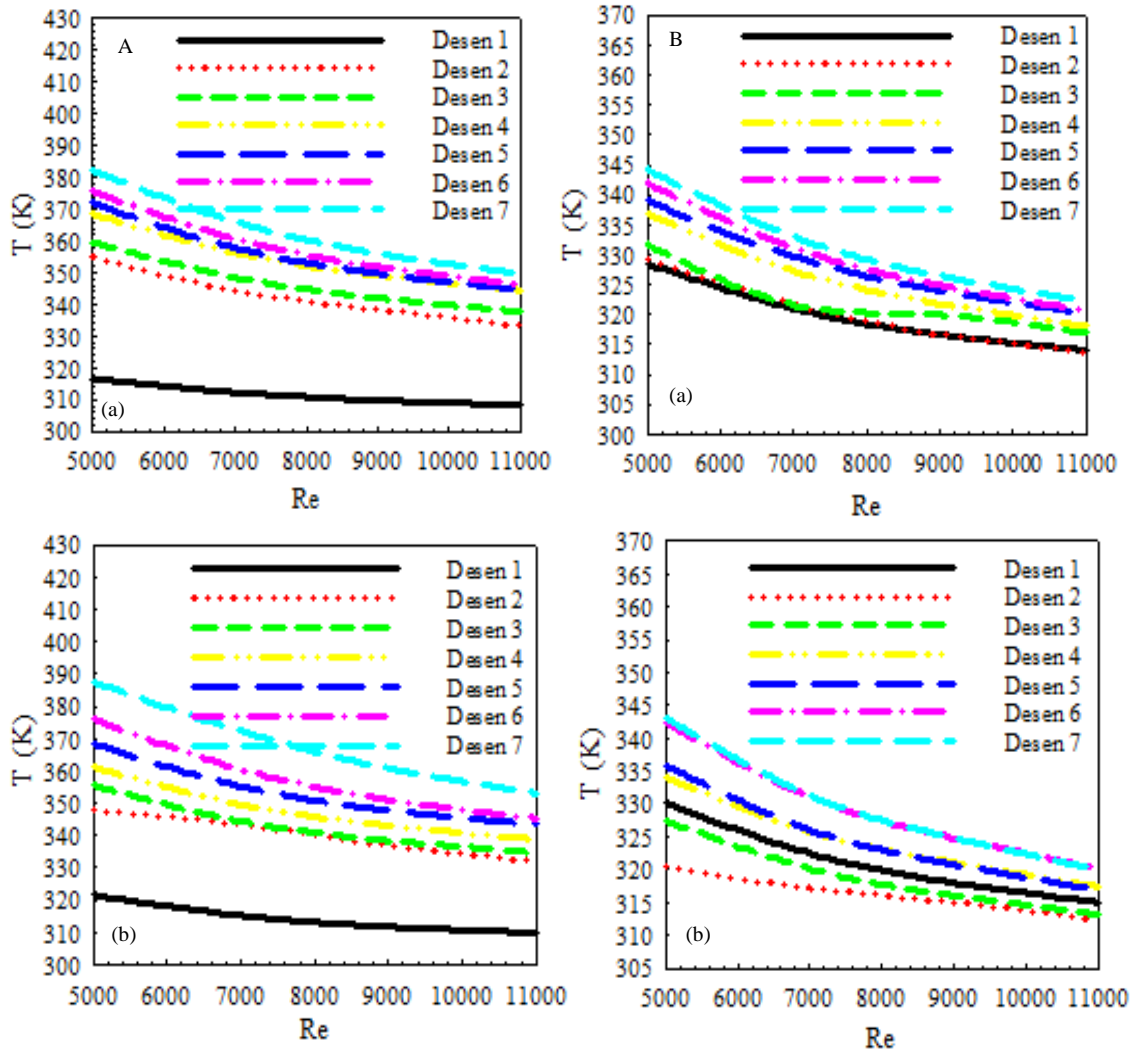
artışıyla desenli yüzeylerdeki sıcaklıklar azalmaktadır. Bununla birlikte, grafiklerden de görülebildiği gibi düz yamuk desenli yüzeylerdeki sıcaklık değerleri, ters yarım daire desenli yüzeylere göre daha fazladır. Bu durum, ters daire desenli yüzeylerde ısı transferi ve dolayısıyla soğumanın daha iyi olduğunu göstermektedir. $H/D_h=6$ için $Re=7000$ 'de ters yarım daire desenli yüzeylerin ortalama sıcaklığı, düz yamuk desenli yüzeylerden %7,12 daha düşüktür.



Şekil 6. $a=D_h$ için desenlerin ortalama yüzey sıcaklığı değişimi A-düz yamuk B-ters yarım daire desenli yüzey (a) $H/D_h=6$ (b) $H/D_h=12$

$a=1,25D_h$ jet giriş genişliğinde A-düz yamuk ve B- ters yarım daire desenli yüzeylere için (a) $H/D_h=6$, (b) $H/D_h=12$ jet-plaka arası mesafelerde yüzeylere ait ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 7'de sunulmaktadır. Düz yamuk desenli yüzey için jet-plaka arası mesafenin artması desenler üzerinde jet etkisini azaltarak yüzey sıcaklıklarının artmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, Şekil 7B (a) ve (b)'ye bakıldığında ise ters daire desenli yüzeylerde düz yamuk desenli yüzeylere göre daha düşük yüzey sıcaklıklarının elde edildiği

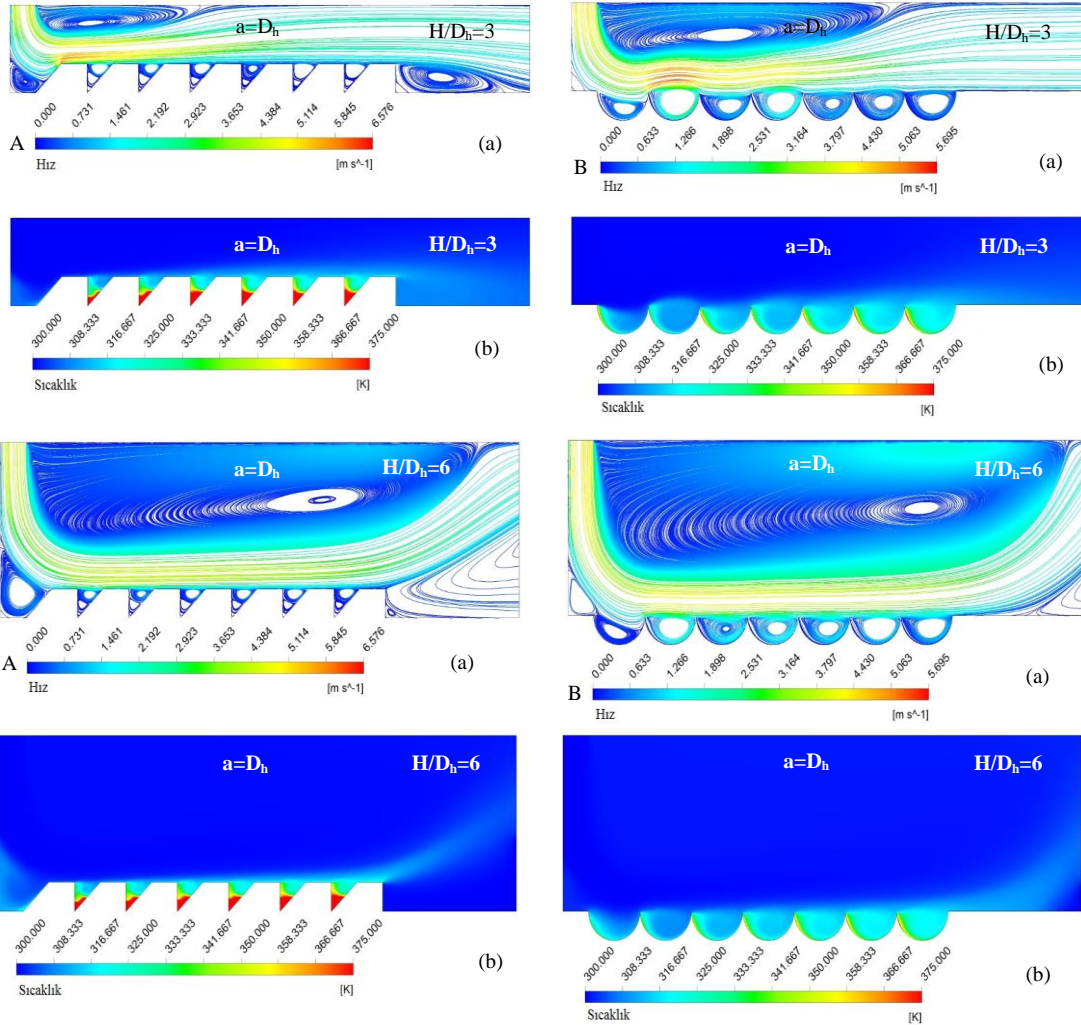
görülmektedir. Ayrıca, $H/D_h=6$ için $Re=7000$ 'de Desen 3 için yüzey sıcaklığında düşüş elde edilirken; Re sayısı artırıldığında kanal içerisinde jet akışın yüzey üzerindeki etkisi de azalmış ve bu nedenle yüzey sıcaklığı artmıştır. $Re=5000$ 'de $H/D_h=12$ ve jet etkisinin en az olduğu yedinci desen için ters yarım daire desenli yüzeyde ortalama yüzey sıcaklığı incelendiğinde düz yamuk desenli yüzeyden yaklaşık 45K daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. $a=1,25D_h$ için desenlerin ortalama yüzey sıcaklığı değişimi A-düz yamuk B-ters yarım daire desenli yüzey (a) $H/D_h=6$ (b) $H/D_h=12$

Şekil 8’de $a=D_h$ jet giriş genişliğinde $H/D_h=3$ ve 6 olmak üzere farklı jet-plaka arası uzaklıklarda $Re=5000$ için düz yamuk ve ters yarı daire desenli yüzeylerdeki akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları gösterilmektedir. Akım çizgisi dağılımı konturlarına bakıldığında, $H/D_h=3$ için düz yamuk desenli yüzeylerde desenler arasında jet akışın girişi ters daire desenli yüzeylerden daha zor olduğu için sıcaklık dağılımı konturlarında özellikle desen uçlarında daha yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir. Bununla birlikte, her iki desenli yüzey için $H/D_h=6$ değerine çıkarıldığında birinci

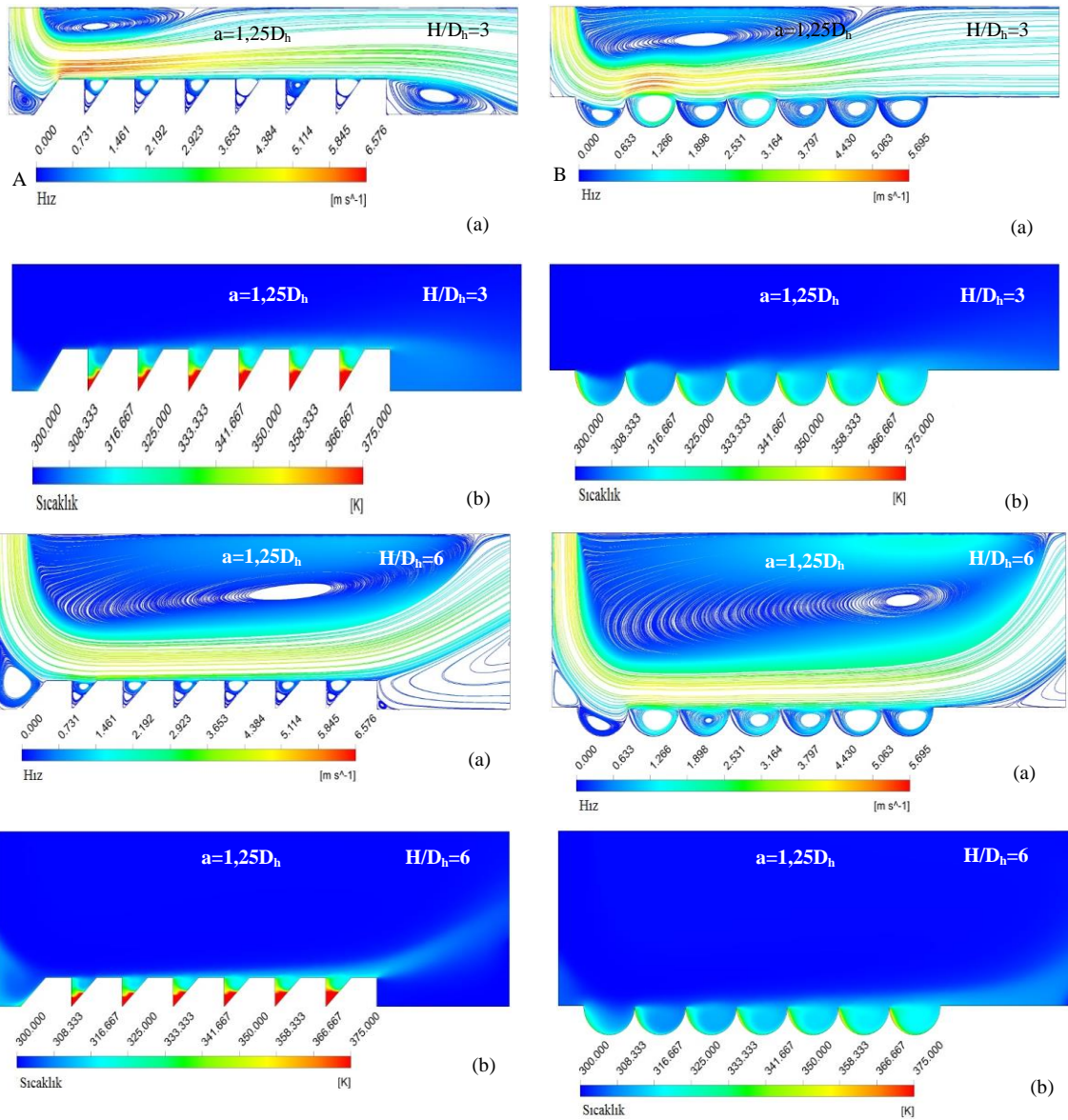
desenlerin sol alt kenarlarında oluşan yeniden dolaşım bölgeleri jet akışın birinci desene olan temasını azalttığından bu desenler etrafında sıcaklıkta artış meydana gelmektedir. Aynı şekilde, kanalın sonundaki yedinci desen etrafında oluşan yeniden dolaşım bölgesi ve jet akışın bu desen üzerindeki etkisinin azalması sıcaklık değerinde artışa neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, genel itibarıyla sıcaklık konturu dağılımı incelendiğinde ters daire desenli yüzeylerde desenler etrafındaki sıcaklığın düz yamuk desenli yüzeylere göre daha az olduğu görülebilmektedir.



Şekil 8. $a=D_h$ jet genişliği ve $Re=5000$ için A-düz yamuk B- ters yarı daire desenli yüzeylerde (a) akım çizgisi (b) sıcaklık konturu dağılımı

$a=1,25D_h$ jet giriş genişliği ve $Re=5000$ değerinde düz yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeylerdeki akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları $H/D_h=3$ ve 6 için Şekil 9'da sunulmaktadır. Akım çizgisi konturu dağılımdan görüldüğü gibi jet giriş genişliğinin artırılması $H/D_h=3$ için her iki desenli yüzeyde özellikle kanalin girişindeki desenler üzerinde jet hızının

artarak sıcaklıklarda azalmaya sebep olmuştur. Bununla birlikte, $1,25D_h$ jet giriş genişliğinde H/D_h değerinin 6 çıkarılması akışın kanal içerisinde ve özellikle desenler civarında daha düzenli olmasını sağlayarak yeniden dolaşım bölgelerinin etkisini azaltmış olup sıcaklık değerlerinde azalış elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 9. $a=1,25D_h$ jet genişliği ve $Re=5000$ için A-düz yamuk B-ters yarım daire desenli yüzeylerde (a) akım çizgisi (b) sıcaklık konturu dağılımı

Çizelge 3’de D_h jet giriş genişliği için düz yamuk desenli ve ters yarım daire desenli yüzeyler için yüzeylerin ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet çıkış sıcaklığı ($T_{jç}$) Re sayısı ve H/D_h değişimine göre verilmektedir. Her iki desenli yüzey ve H/D_h için Re sayısının artışına bağlı olarak Nu sayısı değerleri artmaktadır. Bununla birlikte, Nu sayısının azalması sonucu akışkanın desenli

yüzeylerle olan ısı transferinin gerçekleşme zamanı artacağından jet çıkış sıcaklığı ($T_{jç}$) artmaktadır. Ayrıca, ters yarım daire desenli yüzeylerde daha yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılırken, $H/D_h=12$ için ters yarım daire desenli yüzeylerde akışkanın desenli yüzeyler üzerindeki etkisi arttığından Nu sayısı değerleri de düz yamuk desenli yüzeylere göre artış göstermektedir.

Çizelge 3. $a=D_h$ jet giriş genişliği için jet akış çıkış sıcaklığı ($T_{jç}$) ve ortalama Nu sayısının değişimi (Nu_o)

Düz yamuk desenli yüzey	$H/D_h=6$		$H/D_h=12$	
	$T_{jç}$ (K)	Nu_o	$T_{jç}$ (K)	Nu_o
Re=5000	311,6	9,12	311,62	8,38
Re=7000	311,11	11,55	311,22	10,76
Re=9000	310,87	13,59	310,95	12,89
Re=11000	310,7	15,4	310,73	14,62
Ters yarım daire desenli yüzey	$H/D_h=6$		$H/D_h=12$	
	$T_{jç}$ (K)	Nu_o	$T_{jç}$ (K)	Nu_o
Re=5000	313,39	11,86	310,62	12,64
Re=7000	312,39	15,94	310,41	16,38
Re=9000	311,88	19,91	310,3	20,01
Re=11000	311,59	23,51	310,25	23,47

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Her geçen gün ilerleyen teknolojik gelişmeler sayesinde boyutları küçülüp, performansları artan elektronik cihazların ısı yükleri de artmaktadır. Bu durum, aynı zamanda yeni nesil teknolojik elemanların soğutma kapasitelerinin artırılmasını da gerekli kılmaktadır. Aksi halde, yüksek güç yoğunluklu elektronik elemanların elektriksel performans güvenilirliklerinin azalması ve bunlarda oluşacak ısı gerilmeler sonucu fiziksel hasarların meydana gelmesi önlenemez bir sonuç haline gelecektir. Bu sorunları ortadan kaldırmak için kullanılabilir çarpan jet tekniği, ısı üretimleri fazla olan cihazlardaki ısı transferi miktarını artırmak amaçlı yüksek verimli bir soğutma teknolojisidir.

Bu amaçla bu çalışmada, iki farklı genişlikte bir tane jet akışı kullanılarak dikdörtgen kesitli kanallar içerisinde bulunan sabit ısı akısıyla ısıtılmış düz yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeyler olmak üzere iki farklı şekilden oluşan bakır plakalı yüzeyler için ısı transferi ve kanallar içerisindeki akış yapıları sayısal hesaplamalı

olarak araştırılmıştır. Buna göre, bu çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Genel itibariyle, desenli şekillerin her ikisi için de Re sayısının artışıyla Nu sayısı artış sergilemektedir.

- D_h jet giriş genişliğinde ve H/D_h mesafelerinde en yüksek Nu sayısına her iki desenli yüzey için birinci desende ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, düz yamuk desenli yüzeyde jetin desen aralarına nüfuz edememesi diğer desenlerde Nu sayısının azalmasına sebep olmaktadır. Ters yarım daire desenli yüzeylerde ise birinci desenden itibaren diğer desenlerde Nu sayısında artışlar elde edilmektedir.

- H/D_h mesafesinin artırılması, $a=D_h$ için düz yamuk desenli yüzeylerde desenler üzerinde jet etkisini azaltarak Nu sayısı değerini tüm yüzeyler için azaltmaktadır. Ters yarım daire desenli yüzeylerde ise kanal içerisindeki jet akış rejiminin değişimi sonucu özellikle ikinci ve üçüncü desenlere ait Nu sayısında $H/D_h=6$ 'ya göre artışlar elde edilmiştir.

- $a=D_h$ ve $H/D_h=12$ 'de $Re=9000$ için ters yarım daire desenli yüzeylerin ortalama Nu sayısı değeri, düz yamuk desenli yüzeylerden yaklaşık %56 daha fazladır.

- $a=1,25D_h$ ve $H/D_h=6$ 'da $Re=7000$ ve düz yamuk desenli yüzey için $a=D_h$ jet giriş genişliğine göre ortalama Nu sayısı %4,9 azalmaktadır. Aynı şartlarda ters daire desenli yüzey için bu azalma miktarı %1'in altındadır. Bununla birlikte, $H/D_h=12$ için ters daire desenli yüzeyde ve $Re=11000$ değerinde D_h jet giriş genişliğine göre $1,25D_h$ jet giriş genişliğinde ortalama Nu sayısında yaklaşık %6'lık bir artış elde edilmektedir.

- $a=D_h$ jet giriş genişliğinde, jet etkisinin son desene doğru azalması nedeniyle ısı transferi en az son desende olmaktadır. Bu nedenle, her iki desen şekli ve H/D_h oranlarında en yüksek yüzey sıcaklığı değerine yedinci desende ulaşılmaktadır. Yedinci desenden birinci desene doğru ise ısı transferinin artışıyla desenli yüzeylerdeki sıcaklıklar azalmaktadır.

- $a=D_h$ jet giriş genişliği ve $H/D_h=6$ için $Re=7000$ 'de ters yarım daire desenli yüzeylerin ortalama sıcaklığı, düz yamuk desenli yüzeylerden %7,12 daha düşüktür.

- $a=1,25D_h$ jet giriş genişliğinde ise $Re=5000$ 'de $H/D_h=12$ ve jet etkisinin en az olduğu yedinci desen için ters yarım daire desenli yüzeyde ortalama yüzey sıcaklığı incelendiğinde düz yamuk desenli yüzeyden yaklaşık 45K daha düşük olduğu belirlenmiştir.

-Sonuç itibarıyla, jet akışı ile desenli yüzeylerden olan ısı transferi sonucu soğutma etkisi ve kanaldaki akış yapısı, jet Re sayısından, H/D_h mesafesinden, desenli yüzey şekillerinden ve jet giriş genişliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bunun yanı sıra, çalışmada kullanılan ve düz yamuk desenli yüzeye göre daha iyi ısı transferi sonuçları elde edilen, $1,25D_h$ jet giriş genişlikli kanaldaki ters yarım daire desenli yüzey geometrik şekillerinin özellikle bilgisayar işlemcisi gibi yüksek ısı üreten elektronik elemanlara benzerlikleri nedeniyle bu elektronik devre

elemanlarının soğutulmasında kullanılabilecekleri öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Sharma, S., 2015. Experimental Investigation on Heat Transfer Characteristics from Liquid Jet Impingement to Different Flat Plates, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(12), 130-133.
2. Babic, D., Murray, D.B., Torrance, A.A., 2005. Mist Jet Cooling of Grinding Processes, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1171-1177.
3. Royne, A., Dey, C., 2004. Experimental Study of A Jet Impingement Device for Cooling of Photovoltaic Cells Under High Concentration, *ANZSEZ Solar 2004: Life, the Universe and Renewables Congress*, Perth, Australia.
4. Narumanchi, S.V.J., Amon, C.H., Murthy, J.Y., 2003. Influence of Pulsating Submerged Liquid Jets on Chip-Level Thermal Phenomena, *Transactions of the ASME*, 125(3), 354-361.
5. Kercher, D.S., Lee, J.B., Brand, O., Allen, M.G., Glezer, A., 2003. Microjet Cooling Devices for Thermal Management of Electronics, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 26(2), 359-366
6. Carlomagno, G.M., Ianiro, A., 2014. Thermo-Fluid-Dynamics of Submerged Jets Impinging at Short Nozzle-to-Plate Distance: A Review, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 58, 15-35.
7. Argus, E., Rady, M.A., Nada, S.A., 2006. A Numerical Investigation and Parametric Study of Cooling an Array of Multiple Protruding Heat Sources by A Laminar Slot Air Jet, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28, 787-805.
8. Popovac, M., Hanjalic, K., 2007. Large-Eddy Simulation of Flow Over A Jet-impinged Wall Mounted Cube in A Cross Stream, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(6), 1360-1378.
9. Yang, Y.T., Hwang, C.H., 2004. Numerical Simulations on the Hydrodynamics of A Turbulent Slot Jet on A Semi-Cylindrical

- Convex Surface, Numerical Heat Transfer, 46, 995-1008.
10. Karabulut, K., Alnak, D.E., 2020. Değişik Şekilde Tasarlanan Isıtılmış Yüzeylerin Hava Jeti Çarpmalı Soğutulmasının Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1), 88-98.
 11. Karabulut, K., 2019. Heat Transfer Improvement Study of Electronic Component Surfaces Using Air Jet Impingement, Journal of Computational Electronics, 18, 1259-1271.
 12. Mushatat, K.S., 2007. Analysis of the Turbulent Flow and Heat Transfer of the Impingement Cooling in A Channel with Cross Flow, Engineering Science, 18(2), 101-122.
 13. Tepe, A.Ü., 2021. Numerical Investigation of A Novel Jet Hole Design for Staggered Array Jet Impingement Cooling on A Semicircular Concave Surface, International Journal of Thermal Sciences, 162, 106792.
 14. Belarbi, A.A., Beriache, M., Bettahar, A., 2018. Experimental Study of Aero-Thermal Heat Sink Performances Subjected to Impinging Air Flow, International Journal of Heat and Technology, 36(4), 1310-1317.
 15. Leena, R., Syamkumar, G., Prakash, M.J., 2018. Experimental and Numerical Analyses of Multiple Jets Impingement Cooling for High-power Electronics, IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology, 8(2), 210-215.
 16. Wang, S.J., Mujumdar, A.S., 2005. A Comparative Study of Five Low Reynolds Number $k-\epsilon$ Models for Impingement Heat Transfer. Applied Thermal Engineering, 25, 31-44, 2005.
 17. Saleha, N., Fadela, N., Abbas, A., 2015. Improving Cooling Effectiveness by Use Chamfers on the Top of Electronic Components, Microelectronics Reliability, 55, 1067-1076.
 18. Kılıç, M., Çalışır, T., Başkaya, Ş., 2017. Experimental and Numerical Study of Heat Transfer from a Heated Flat Plate in a Rectangular Channel with an Impinging Air Jet, Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 39(1), 329-344.

Adana-Feke Yöresi Yeraltı Çinko Cevherleşmesinin Asit Maden Drenajı Oluşumuna Yönelik Kestirimlerinin Araştırılması

Nil YAPICI*¹, Hakan GÜNEYLİ²

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 24.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Bu çalışma, Adana ili, Feke ilçesi sınırlarında 1/25.000 ölçekli Kozan M35b4 paftası içinde bulunan “Kapalı İşletme Cevher Maden Ocağı (Çinko cevherleşmesi)” faaliyetlerinden kaynaklanabilecek asit maden drenaj sorununu ele almaktadır. Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda; mineral parajenezleri, kimyasal analizler, Çamur pH deneyleri, Asit-Baz Hesabı (ABH) yorum parametreleri olan Asit Üretme Potansiyeli (AÜP), Nötürleştirme Potansiyeli (NP), Net Nötürleşme Potansiyeli (NetNP) ve Nötürleşme Potansiyel oranları (NPO) hesaplanarak Asit Baz Muhasebesi (ABM) yapılmıştır. Cevherleşme, faylanmalara bağlı olarak Orta-Üst Kambriyen yaşlı Değirmen taş formasyonuna ait karbonatlı kayalar içerisinde yarı düzenli geometrik formda gözlenmiştir. Cevher mineral parajenezleri; hidrozinkit ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$), zinkit (ZnO), smitsonit ($ZnCO_3$) hematit (Fe_2O_3), götit ($HFeO_2-FeO(OH)$), limonit ($FeO(OH)\cdot nH_2O$) ve az oranda pirit (FeS_2) minerallerinden oluşmaktadır. Kayaç içerisinde kükürt değerleri (%S) 0,04-0,12, cevherde kükürt değerleri ise %0,13-0,39 aralığında tespit edilmiştir. AÜP değeri kayaçta; 2,50-7,50, cevherde; 8,13-24,38 arasında bulunmuştur. NPO (Nötürleştirme Potansiyel Oranı) kayaçta; 64,05-188,92, cevherde; 4,37-14,27 aralığında saptanmıştır. Her ne kadar tüm değerler ‘asit üretmez’ şartını sağlamakta ise de cevher mekanizması gereği durum “kritik” olarak ele alınmalı ve ilgili yasa ve yönetmeliklere uyulmalıdır.

Anahtar kelimeler: Asit maden drenajı, Kestirim yöntemleri, Asit-baz hesabı, Çinko cevheri

Investigation of Acid Rock/Mine Drainage During of Feke/Adana Zinc Ore Mining Activities

Abstract

This study addresses the acid mine drainage problem that may cause from the activities of the “Underground Mine Ore Mine (Zinc mineralization)”, located in the 1/25.000 scale Kozan M35b4 map in the borders of Adana province, Feke county. By carrying out field and laboratory studies; Acid-Base Accounting (ABM) has been done through “Mineral paragenesis, chemical analyzes, Sludge pH tests, Acid-Base Calculation (ABH) interpretation parameters of Acid Generating Potential (AUP), Neutralization Potential (NP), Net Neutralization Potential (NetNP) and Neutralization Acid Base

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nil YAPICI, nyapici@cu.edu.tr

Accounting (ABM) by calculating potential rates (NPO)". Mineralization is in semi-regular geometric form within the carbonate rocks belonging to the Middle-Upper Cambrian aged Değirmentaş formation due to faulting. Ore mineral paragenesis consists of hydrozincite ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$), zincite (ZnO), smithsonite ($ZnCO_3$) hematite (Fe_2O_3), goethite ($HFeO_2-FeO(OH)$), limonite ($FeO(OH)nH_2O$) and a small amount of pyrite (FeS_2) minerals. Sulfur values (S%) in the rock are in the range of 0.04-0.12%, and in the ore are of 0.13-0.39%. APP value range is 2.50-7.50 in the rock; 8.13-24.38, in the ore. NPR (Neutralization Potential Ratio) was determined in range of 64.05-188.92 in rock; 4.37-14.27 in the ore. Although all values meet the requirements, according to the statement "does not produce acid", due to ore mechanism the situation should be considered as "critical" and relevant laws and regulations must be followed.

Keywords: Acid mine drainage, Estimation methods, Acid-base calculation, Zinc ore

1. GİRİŞ

Başta pirit olmak üzere sülfürlü metalik mineraller madencilik faaliyetleri sırasında atmosferle temasın artması ve mikrobiyolojik organizmaların katkısı ile oksitlenerek buldukları drenaj sularının asidik özellik kazanmalarına neden olmaktadır. Bu drenaj suları geçtikleri formasyonlar içerisindeki bazı ağır ve toksik elementleri çok kolay çözerek bünyesine katmaktadır. Bu çevresel olay asit maden drenajı (AMD) olarak tanımlanmaktadır [1-3]. Mikrobiyolojik organizmaların AMD üzerine etkisini, Balcı (2014)'de yaptığı çalışmada; Pb/Zn atık sahasında S ve Fe döngüsünde etkili mikroorganizmaların asidik suların oluşumunda ve bileşiminde ana rol oynadıklarını ortaya çıkararak belirtmiştir [4].

Asit maden drenajı özellikle nehir ve göllerin ekosistemleri üzerinde etkilidir. Sonuçta bitki ve hayvan türlerini elimine edip besin zincirinin basitleşmesine, hatta yıkılmasına neden olabilir ve sudaki yaşamı tamamen ortadan kaldırabilir [5].

AMD oluşumunda fiziksel faktörler önemli rol oynamaktadır. Bunlardan en önemlileri madenin bulunduğu ilk konumdaki durumu, yankayaç bileşimi, faylanmalar ve süreksizlikler, tabakalar arası boşluklar ve geçirgenlik gibi özelliklerdir. Ekosistemin bozulmaması ve canlı yaşamının rehabilitesi için AMD'nin doğru jeokimyasal modellerle yönetilmesi gerekmektedir.

Son yıllarda olası asit maden drenajının gelişmesini önlemek amacıyla maden sahasının

etrafında drenaj kanalları açılması ve kireçtaşı dolgusu uygulamaları, kullanılan en yaygın yöntemleri oluşturmaktadır [6-15]. AMD oluşum kestiriminde Miller (1996), Morin ve Hutt (1997), White ve arkadaşları (1999), Paktunç (1999), Jambor ve arkadaşları (2000), Jambor ve arkadaşları. (2002) ve Weber ve arkadaşları. (2006) statik testlerin hızlı bir yöntem olduğunu ve geliştirilmesi yönünde fikir sunmuşlardır [16-22].

Bu çalışmanın amacı, M35-b4 paftası içinde Kozan-Feke-Mansurlu yaylası arasında yer alan çinko cevherleşmesinde olası AMD oluşumunun araştırılmasıdır. Çalışma konusu olan çinko cevherleşmesi Adana İl merkezine kuş uçuşu 90 km Feke İlçe'sine ise 5 km mesafede bulunmaktadır. Söz konusu maden, yeraltı işletmesi olarak çalıştırılmaktadır. Bölgede çinko cevherinin oluşturabileceği asit üretme potansiyeli araştırılmamıştır.

Feke bölgesinde maden ruhsatlı birçok Pb-Zn, Fe, Al, Mn, Cu, Au, Ag ve Ba zenginleşmelerine ait maden yatakları bulunmaktadır. Bölge jeolojisi ve tektonik özellikleri ile oldukça karmaşık bir yapı sunar. Bölgedeki cevher yerleşimini tektonik yapı belirlemektedir. Bölgesel cevher mekanizmaları başlıca hidrotermal, hidrotermal-sedimanter, stratabound ve karstik olarak sıralanabilir.

1.1. Bölgesel Jeoloji

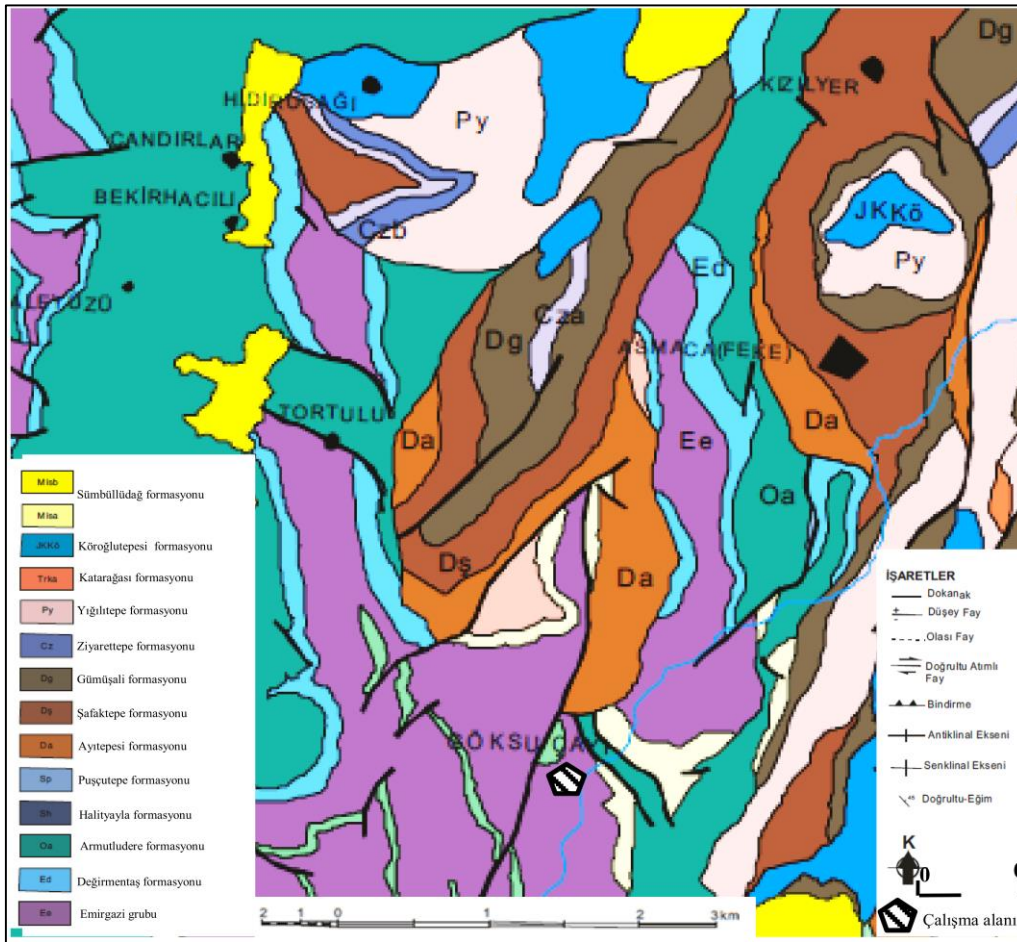
Torosların batı kesiminde yer alan çalışma alanı ve yakın çevresi farklı stratigrafi özellikleri ile kapsadıkları kayaç türleri bakımından çeşitli oluşum tiplerini belirleyen ve birbirleriyle tektonik

dokanaklı değişik tektono-stratigrafik birlikler ile temsil edilmektedir [23].

Çinko cevherleşmesi tümü ile metakırınıtlılardan oluşan Emirgazi Grubu ve Değirmentaş formasyonu içerisinde yer almaktadır. Grup, Prekambriyen yaşlı metavolkanit arakatıklar ile yeniden kristallenmiş rekristalize kireçtaşı-dolomitlerin yoğunlaştığı Kozan formasyonu ve Alt Kambriyen yaşlı kuvarsit içerikli Koçyazı

formasyonu olarak ikiye ayrılmaktadır. Üst zonlarda grup ile uyumlu Orta Kambriyen yaşlı Değirmentaş formasyonu bulunmaktadır. Formasyon kireçtaşı, dolomit, stratomolitle kireçtaşı birimleri ile karakteristiktir.

Çinko cevherleşmesi üst zonlarda Değirmentaş formasyon bünyesinde yarı düzenli geometrik boyutlarda gözlenilmektedir. Bölgeye ait jeoloji haritası Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı jeoloji haritası [24]

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında 10 adet cevher örneği (C1-C10) ve 10 adet kayaç örneği (K1-K10) üzerinde

kimyasal ve mineralojik analizler yapılmıştır. Cevher örnekleri stok alanı, yeraltı işletmesi içerisinde cevher damarlarından alınmıştır. Kayaç örnekleri ise yeraltı cevher dokanaklarından ve yüzeyden elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. A) Yankayaç (Emirgazi fm. ait kireçtaşı), B) Yeraltı galerisinden çıkan cevher ve yankayaç örnekleri, C) Cevher ve yankayaçların galeri ağızı biriktirildiği alan, D) Stok alanı genel görünümü

Cevher ve kayaç numunelerinin parajenezleri stereo ve binoküler mikroskop yardımıyla ortaya çıkarılmıştır. Ç.Ü. Maden Mühendisliği laboratuvarında çamur pH analizleri yapılmıştır. Ç.Ü. Merkezi Laboratuvarında X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) mineral analiz sonuçları 2θ 5-85° aralığında PANalytical marka XRD kullanılarak elde edilmiştir. MTA laboratuvarlarında toplam S değerleri ve Thermo ARL marka XRF cihazı kullanılarak % oksit değerler tespit edilmiştir. Asit-Baz Muhasebe (ABM) testleri kapsamında ilk adımda Asit Üretim Potansiyeli ve Nötürleştirme Potansiyeli belirlenmiştir. Fışkırdama testinde 40 ml asit miktarı ve 0,5 M asit şiddeti uygulanmıştır. Fışkırdama testi sonrasında Nötürleştirme

potansiyeli değerleri için laboratuvarda bir dizi işlem sonucunda numunelere muamele edilen miktardaki asit şiddetinde NaOH çözeltisi eklenerek pH 7 oluncaya kadar işlem devam ettirilmiş ve aritmetiksel nötrleştirme potansiyelleri formül yardımı ile hesaplanmıştır.

Diğer bir parametre olan macun pH deneyleri meteryalin nötrleştirme kapasitesi hakkında bilgi vermektedir. Numunenin asiditesini-alkalinitesini tayin etmekte kullanılan görece hızlı, basit bir yöntemdir. Numune su ile karıştırılıp, belirli bir süre bekletildikten sonra pH'ları ölçülmüştür. Çamur pH'ı 4'ün altında olan kayaçlar asit toksik kabul edilmekte ve %0,5'ten fazla sülfür içeren kayaçlar kayda değer potansiyel asit

üretebilmektedir [16]. Çözeltinin pH'ının kullanılan saf suyun pH'ından büyük olması gerekmektedir. Deneylerde kullanılan saf su pH'ı 5,7-6,0 değer aralığındadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yan Kayaç ve Cevherli Örneklerin Jeokimyası

Araziden alınan 10 adet kayaç örneği ve yeraltı maden işletmesinden alınan 10 adet cevher örneklerinin mineralojik ve kimyasal analizleri sonucu yan kayaç kalsit-dolomit mineral

determinasyonu ve fosil içeriğine göre biyomikritik kireçtaşı olarak isimlendirilmiştir.

Yan kayaçlarda gerçekleştirilen ana oksit kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. K, V, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ti, Y, Na, Ni, P, Pb, Rb, Zr, Sn, Sr, Mo, F değerleri tayin sınırı altında olması sebebi ile Çizelge 1'de gösterilmemiştir. Yan kayaç örneklerinin (ortalama >%1) ana oksit içerikleri değerlendirildiğinde CaO: %48,95-52,71, MgO: %1,94-3,72, Fe₂O₃: %0,90-2,10 değerler sunmaktadır. Fe₂O₃ değerleri K3 örneğinde düşük olup diğer örneklerde %1'in üstündedir.

Çizelge 1. Kayaçlara ait majör oksit (%) kimyasal analiz sonuçları

Oksit (% ağı.)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
CaO	52,65	52,35	52,71	51,89	52,35	49,58	50,85	52,64	52,36	48,95
MgO	2,17	2,41	2,98	2,01	3,01	3,54	3,72	2,21	1,94	3,65
Al ₂ O ₃	0,25	0,53	0,35	0,83	0,27	0,72	0,95	0,27	0,21	0,75
SiO ₂	0,71	0,32	0,80	0,76	0,68	0,85	0,71	0,70	0,50	0,65
MnO	0,15	0,09	0,12	0,14	0,17	0,15	0,25	0,21	0,12	0,15
Fe ₂ O ₃	1,84	1,51	0,90	1,32	1,65	1,58	2,03	1,84	1,74	2,10
ZnO	1,08	0,90	0,31	0,73	0,92	0,33	0,70	0,11	0,42	0,23
SO ₃	<0,01	0,3	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2
Toplam	58,85	58,41	58,17	57,78	59,05	56,75	59,21	57,98	57,29	56,68
*A.K.	40,25	40,13	40,91	39,87	40,15	39,87	39,85	41,65	41,96	40,23

A.K.: Ateşte kayıp

SO₃ değeri ise 0,3-<0,01 değer aralığındadır. Bu sonuç kayaçta sülfatik kükürt oranının düşük olmasının bir göstergesidir. Kayaç numunelerinin kızdırma kayıpları ve mineralojik incelemelere dayanan CaCO₃-CaMg(CO₃)₂ içerikleri esas alınarak (Çizelge 1'de görülen ateşte kayıp değerlerinin başlıca karbonat minerallerinden kaynaklandığı varsayılmıştır) toplam karbonat miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

Asit kaya/maden drenajı kestiriminde, potansiyel asiditenin saptanması, kükürt (S) analizine dayalıdır. S ise çeşitli minerallerin bünyesinde sülfid, sülfat ve organik form gibi farklı biçimlerde bulunabilir. MTA laboratuvarlarında yaptırılan kükürt analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Örneklerde elde edilen kimyasal sonuçlarına göre sülfid (SO₃:0,3-<0,01) ve organik kükürt oranı göz ardı edilecek miktarlarda olduğu için bulunan oran piritik kükürt olarak değerlendirilmiştir. Kayaç içerisinde kükürt değerleri (%S) 0,04-0,12 aralığında tespit edilmiştir. Karbonat kayaç bünyesi için bu değer yüksek bir oranı ifade etmektedir. Cevher kimyasal analiz sonuçları toplam 10 adet örnek üzerinde yapılan XRF sonuçları olarak Çizelge 3 oluşturulmuştur. Çizelgeye göre CaO: %9,97-18,36, MgO:%0,01-0,09, Fe₂O₃: %25,40-55,60 değerler sunmaktadır. Cevherlerde Fe₂O₃ oranı %25,40-55,60 aralığında yüksek bir değerdedir. Kükürt değerleri ise %0,13-0,39 aralığında saptanmıştır.

Çizelge 2. Kayaçta toplam karbonat değerleri

Numune No	Kızdırma Kayıpları	X _{CaCO₃}	X _{CaMg(CO₃)₂}	Toplam Karbonat
	(%) (1000°C'de 2 Saat)	(%)	(%)	(%)
K1	40,25	93,87	4	98,41
K2	40,13	93,34	5	98,38
K3	40,91	93,98	5	98,98
K4	39,87	92,52	6	98,60
K5	40,15	93,34	4	97,54
K6	39,87	88,40	7	95,80
K7	39,85	90,67	7	97,67
K8	41,65	93,86	4	97,86
K9	41,96	93,36	4	97,41
K10	40,23	87,28	7	94,28

Çizelge 3. Cevhrelere ait majör oksit (%) kimyasal analiz sonuçları

Oksit (% ağırlık)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
CaO	13,44	12,99	9,97	11,32	12,99	10,98	13,63	18,36	13,85	12,46
MgO	0,09	0,05	0,04	0,09	0,03	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01
Al ₂ O ₃	0,98	0,87	7,01	1,08	0,87	1,08	0,95	0,97	0,52	0,42
SiO ₂	3,50	4,70	9,71	5,31	3,82	8,10	5,30	7,90	2,98	2,41
MnO	0,09	0,41	0,21	0,05	0,05	0,02	0,08	0,06	0,21	0,16
Fe ₂ O ₃	25,40	48,41	55,60	32,32	27,36	51,62	38,69	41,98	27,91	36,41
ZnO	43,70	22,20	6,96	37,30	41,60	10,65	27,63	15,96	33,56	35,51
SO ₃	0,09	0,07	0,21	0,25	0,08	0,08	0,10	0,16	0,08	0,09
PbO	2,95	2,18	3,15	2,80	3,12	2,69	3,10	2,85	2,10	2,10
Toplam	90,24	91,88	92,86	90,52	89,92	85,29	89,53	88,28	81,23	89,57
*A.K.	9,32	7,91	6,95	8,85	9,81	8,36	8,65	10,23	10,32	9,12

A.K.: Ateşte kayıp

Cevherleşmedeki sülfid oluşumları, hidrotermal fazlardaki hareketli elementlerin kayaçlardaki değişimleri sonucu ortaya çıkabilmektedir. Demir sülfid minerallerinin çözünme yetenekleri oldukça fazladır. Dolayısıyla demir sülfidler çözünürken Ag, Cu, Hg, Pb, Cd, Mo, Ni, Co, Zn ve W elementlerinin diğer bileşiklerini sülfide dönüştürerek çöktürebilmektedir [25]. Bu kimyasal olay sonucu ise cevher parajenizinde sülfürlü minerallerin önemi artmaktadır.

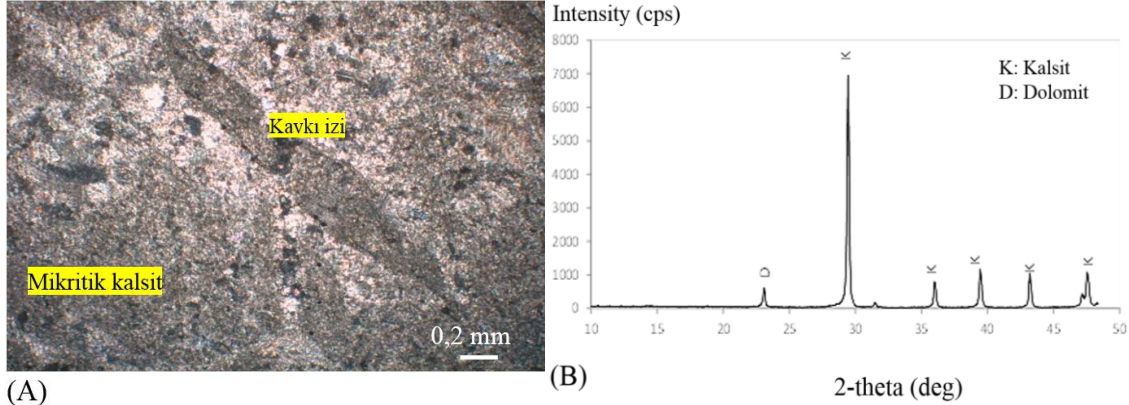
3.2. Yan Kayaç ve Cevherli Örneklerin Petrografik-Mineralojik Değerlendirmeleri

Yan kayaç ve cevher örneklerinin parlak kesit ve , ince kesit mikroskop incelemeleri sonucu mineral parajenezleri ortaya konmuş ve örnekler için XRD patern çekimleri gerçekleştirilmiştir.

Kayaç açık gri renkli rekristalize özelliktedir. Kayaç içeriği %85-90 oranında kalsit (CaCO₃), %2-3 oranında dolomit CaMg(CO₃)₂, %7-10

oranında ise fosil kavkılardan oluşmaktadır. Kalsit kristalleri çoğunlukla mikritik boyutta gözlenmiştir. Demir boyama şeklinde kılcal

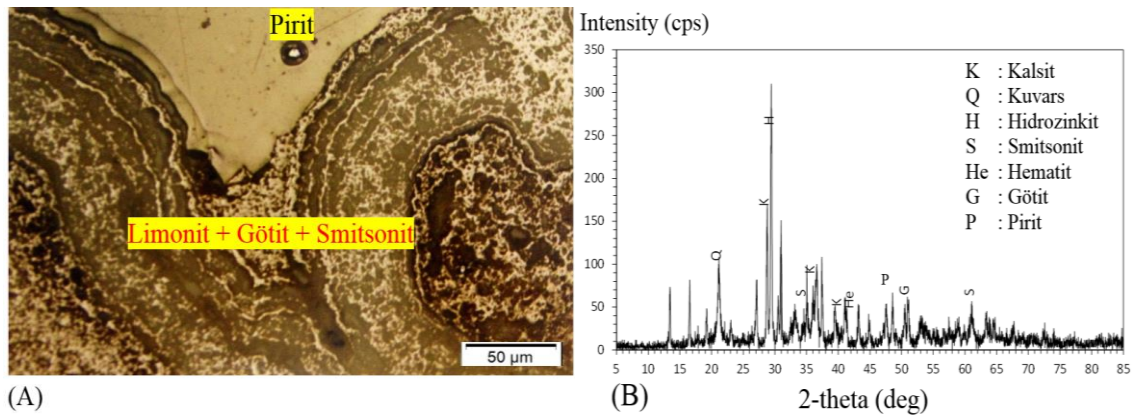
boşluklarda ve nadir olarak opak mineral şeklinde saptanmıştır. Kayaç ince kesit ve XRD görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. İnce kesit görüntüsünde kalsit, dolomit (A) ve XRD patern diyagramı (B)

Cevher mineralojisi tespiti parlak kesit, XRD, lup ve arazi gözlemleri sonucu olmuştur. Cevherleşmede karbonat, oksit, hidroksil mineralleri ve ikincil karbonat ve oksitli cevher mineralleri bulunmaktadır. Sülfür mineralleri arasında asit üretmede asıl mineral olan pirit (FeS_2) az oranda gözlenmiştir. Smitsonit cevheri (ZnCO_3), kireçtaşları içerisinde oksidasyon zonunda mercek ve disemine (saçınımlı) olarak bulunmaktadır. Mevcut faylanmalara bağlı olarak, fay zonlarında ikincil cevherleşmeler gelişmiştir (hidrozinkit, zinkit, götit). Çinko cevher ana

minerali smitsonit (ZnCO_3) olup hematit (Fe_2O_3), götit ($\text{HFeO}_2\text{-FeO(OH)}$) hidrozinkit ($\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$), zinkit (ZnO) ve limonit ($\text{FeO(OH)}\cdot n\text{H}_2\text{O}$) parajenezdeki diğer metaliklerdir. Gang mineralleri; kalsit (CaCO_3) ve kuvars (SiO_2) dir. Oksidasyon zonunda bulunan hematit, limonit ve götit mineralleri cevherde demir oranını yükseltmektedir. Cevherde lup ile pirit minerali yok denecek kadar az gözlenmiştir. Cevher mineralojisini yansıtan parlak kesit ve XRD patern görünüm Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Parlak kesit görüntüsünde cevher mineralleri (A) ve XRD patern diyagramı (B)

4. ASİT-BAZ MUHASEBE SONUÇLARI (ABM)

4.1. Çamur pH Değerlendirmesi

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarında yapılan ve önceki bölümde verilen bir dizi işlemler sonucu kayaç ve cevherli örneklerin 10 adet cevherde ve kayaçta Çamur pH değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5). Deneylerde kullanılan saf suyun pH'ı 5,7-6,0 aralığındadır. Çamur pH, cevherde: 5,8-7,4, kayaçta: 7,1-8,3 aralığında ölçülmüştür.

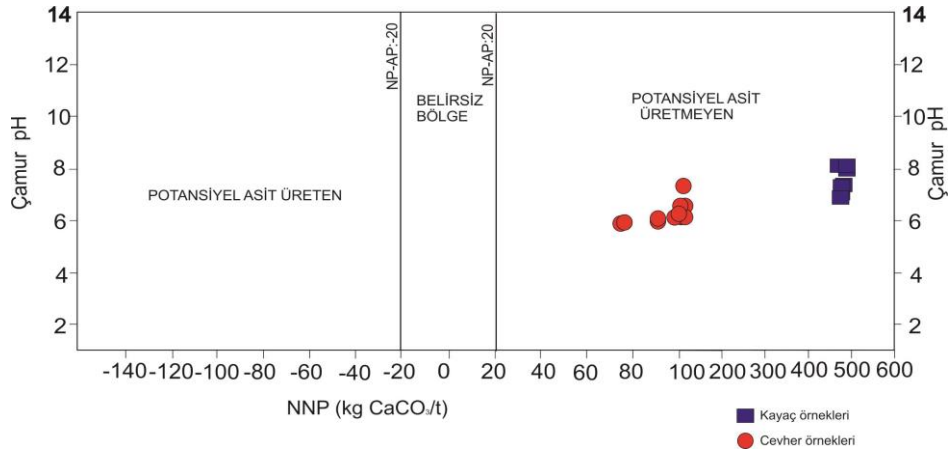
4.2. AÜP (Asit Üretim Potansiyeli) ve NP (Nötürleştirme Potansiyeli Değer Sonuçları)

Çalışma alanından alınan karbonatlı kayaç ve çinko

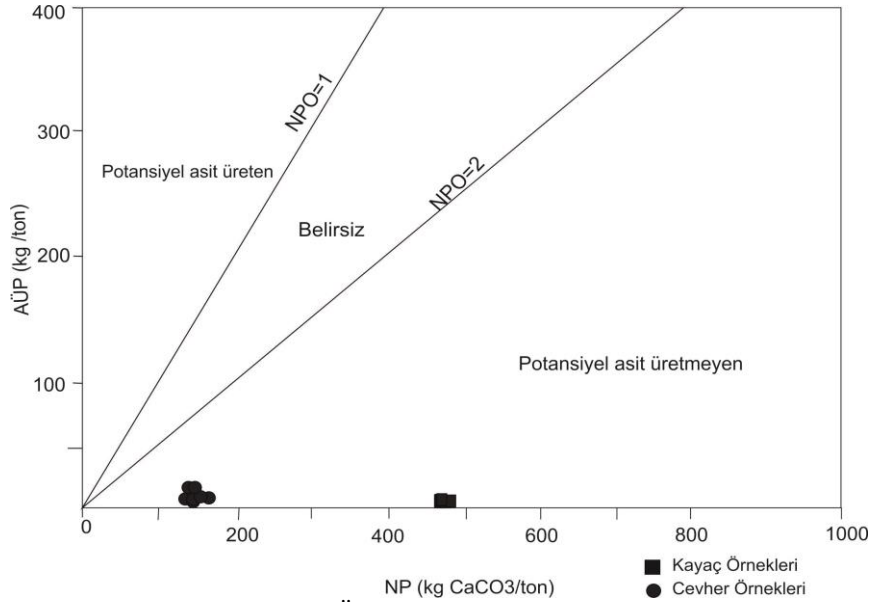
cevher örneklerinden elde edilen AÜP, NP, Toplam S, Çamur pH değerleri ABM yorumlama tablosunda verilmiştir (Çizelge 5). Bu tabloda NP ve AÜP değerlerinden NetNP ve NPO (Nötürleştirme Potansiyel Oranı) hesaplanmıştır. Çizelge 5'deki verilere göre çizilen AÜP-NP ve Çamur pH-NNP diyagramında değerler 'potansiyel asit üretmeyen' bölgeye düşmüştür (Şekil 5-6). Yeraltı çinko cevherleşmesinde minerallerin her ne kadar karbonatça zengin parajenezleri olsa da cevher mekanizması gereği bölgede sülfür içerikli minerallerin daha fazla görülme olasılığı oldukça yüksektir. Gerek hammadde alım esnasında gerekse stoklanma sonucu başta pirit olmak üzere sülfürlü mineraller içerebilecek cevherin ve yan kayacın atmosferik sularla açık alanda asit üretme potansiyeli mevcuttur.

Çizelge 5. Numunelerin Asit/Baz muhasebe tablosu

Numune	Fışkırdama hızı (0=Yok, 1=Hafif, 2=Orta, 3=Kuvvetli)	%S	Çamur pH	AÜP	NP ΣNP(kg/ton) kgCaCO ₃ /ton	Net NP (NP-AÜP) kgCaCO ₃ /ton	NPO (NP/AÜP) kgCaCO ₃ /ton
C1	2	0,17	6,5	10,63	120,33	109,70	11,32
C2	2	0,27	6,2	16,88	116,09	99,21	6,88
C3	2	0,25	6,1	15,63	89,11	73,48	5,70
C4	2	0,27	6,2	16,88	101,43	84,55	6,01
C5	3	0,13	7,4	8,13	115,98	107,85	14,27
C6	2	0,36	5,8	22,50	98,28	75,78	4,37
C7	2	0,39	5,8	24,38	121,79	97,42	5,00
C8	2	0,29	6,1	18,13	163,91	145,78	9,04
C9	2	0,28	6,3	17,50	123,59	106,09	7,06
C10	2	0,37	5,9	23,13	111,14	88,01	4,81
K1	3	0,08	7,8	5,00	480,22	475,22	96,04
K2	3	0,12	6,8	7,50	480,36	472,86	64,05
K3	3	0,11	7,2	6,88	483,47	476,59	70,32
K4	3	0,09	7,6	5,63	479,10	473,47	85,17
K5	3	0,09	7,6	5,63	478,10	472,47	84,99
K6	3	0,05	8,1	3,13	462,08	458,95	147,86
K7	3	0,04	8,3	2,50	472,31	469,81	188,92
K8	3	0,07	7,9	4,38	480,13	475,76	109,74
K9	3	0,10	7,1	6,25	477,79	471,54	76,45
K10	3	0,07	7,9	4,38	455,37	450,99	104,08



Şekil 5. Numunelerin NNP- Çamur pH diyagramı [26]



Şekil 6. Numunelerin AÜP- NP diyagramındaki konumları [27-29]

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada M35-b4 paftası sınırları içerisinde bulunan Adana ili Feka ilçesine 5 km uzaklıkta bulunan yeraltı işletmesine ait çinko cevherleşmesinin asit üretme potansiyeli araştırılmıştır. Bulgulara göre;

* Cevherleşme çoğunlukla Değirmentaş formasyonu ile temsil edilen karbonatlı seri

içerisinde, yarı düzenli geometrik boyutlarda damar ve faylanmalara bağlı olarak oluşmuştur.

Cevher ve kayaç analizlerine göre;

* Yan kayaç örneklerinin ana oksit içerikleri ve mineral içeriği değerlendirilmeleri sonucu kayacın biyomikritik kireçtaşı olduğu tespit edilmiştir.

- * Kayaç içerisinde kükürt değerleri (% S) 0,04-0.12 aralığındadır. Ölçülen çamur pH değeri ise 7,1-8,3 arasında saptanmıştır.
- * Cevher; Smitsonit ($ZnCO_3$), hidrozinikit ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$), zinkit (ZnO), hematit (Fe_2O_3), götit ($HFeO_2-FeO(OH)$), limonit ($FeO(OH)\cdot nH_2O$) ve az oranda pirit (FeS_2) minerallerinden oluşmaktadır. Kükürt değerleri %0.13-0.39 ve çamur pH; 5,7-7,4, aralığında tespit edilmiştir.
- * AÜP, NP, NetNP, NPO değerlerine (ABH Muhasebe tablosu) göre çizilen NNP-Macun pH ile AÜP-NP diyagram yorumunda tüm kayaç ve cevher örnekleri 'Potansiyel asit üretmeyen' bölgeye düşmüştür.
- * Price ve arkadaşları, (1997), Soregaroli ve Lawrence (1998)'e göre 'NPO>4 asit üretmez (yeterli nütürleştirme kapasitesine sahip)' değerlendirme sonucu yapılan çalışmada kayaçta NPO değeri tüm örneklerde sağlanırken, cevherde 4,37-14,27 değerleri kritik olarak algılanmalıdır [30-31]. Cevher mekanizması gereği üst zonlarda oksidasyondan kaynaklanan karbonatlı cevher minerallerinin ana parajenez olması ve ileriki yıllarda sülfürlü zonlara geçiş ve özellikle pirit minerallerinin cevher eşlik edeceği öngörülmeli ve madencilik faaliyetleri sırasında gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle stoklama alanlarının çevreye kolayca sızıntı oluşturmaması için "Konuyla İlgili Ülkemizdeki Yasa ve Yönetmelikler" doğrultusunda hazırlanması "Bu Yasa ve Yönetmeliklere" uyulması zorunludur.

6. KAYNAKLAR

1. Yörükoğlu, A., Karadeniz, M., 2003. Asit Maden Drenajı Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Türkiye 18 Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi- IMCET2003 & 2003, ISBN 975-395-606-1.
2. Paine, P.J., 1987. An Historic and Geographical Overview of Acid Drainage, In Proceedings: Acid Mine Drainage Seminar/Workshop, Conservation and Protection Environment, Ontario, Canada, 1-45.
3. Skousen, J.G., 1996. Acid Mine Drainage Control and Treatment (Compiled by J.G. Skousen and P.F. Ziemkiewicz), W.V. Univ. and N.M.L.R.C. 9-12.
4. Balcı, Ç.N., Gül, S., Kılıç, M.M., Karagüler, N.G., Sarı, E., Sönmez, M.Ş., 2014. Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 57(3), 1-24.
5. Gray, N.F., 1997. Environmental Impact and Remediation of Acid Mine Drainage: A Management Problem, Environmental Geology, 30, (1/2), March, 62-71.
6. Rötting, T.S., Caraballo, M.A., Serrano, J.A., Ayora, C., Carrera, J., 2008. Field Application of Calcite Dispersed Alkaline Substrate (Calcite-DAS) for Passive Treatment of Acid Mine Drainage with High Al and Metal Concentrations. Applied Geochemistry, 23, 1660-1674.
7. Caraballo, M.A., Rötting T.S., Macías F., Nieto J.M., Ayora, C., 2009. Field Multi-Step Limestone and Mgo Passive System to Treat Acid Mine Drainage with High Metal Concentrations. Applied Geochemistry, 24, 2301-2311.
8. Delibalta, M.S., Uzal, N., Lermi, A., 2016. Acid Mine Drainage and Rehabilitation in Ilgın Lignite Mines Lakes. Nigde University Journal of Engineering Sciences 5(1), 73-82.
9. Berghorn, G.H., Hunzeker G.R., 2001. Passive Treatment Alternatives for Remediating Abandoned-mine Drainage. Remediation 11, 111-127.
10. Marchand L., Mench M., Jacob D.L., Otte M.L., 2010. Metal and Metalloid Removal in Constructed Wetlands, with Emphasis on the Importance of Plants and Standardized Measurements: A Review. Environmental Pollution, 158, 3447-3461.
11. Lottermoser B.G., Ashley P.M., 2011. Trace Element Uptake by Eleocharis Equisetina (Spike Rush) in an Abandoned Acid Mine Tailings Pond, Northeastern Australia: Implications for Land and Water Reclamation

- in Tropical Regions. *Environmental Pollution*, 159, 3028-3035.
12. Akaryalı, E., Gücer, M.A., Alemdağ, S., 2018. Atık Barajı Rezervuarı ve Cevher Stok Alanlarında Asit Maden Drenajı (AMD) Oluşumunun Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği, *Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 192-209, Doi:10.21324/dacd.415259.
 13. Alemdağ S., Akaryalı, E., Gücer, M.A., 2020a. Flotasyon Tesis Atıklarının Asit Üretme Potansiyeli ve Kirliliğin Önlenmesi, *Gümüşhane, KD Türkiye, Yerbilimleri*, 41(1) 56-85, DOI: 10.17824.
 14. Alemdağ, S., Akaryalı, E., Gücer, M.A., 2020b. Prediction of Mine Drainage Generation Potential and the Prevention Method in the Gümüşköy (Kütahya) Mineralization Area, NW-Turkey. *Journal of Mountain Science*, 17(10), 2387-2404.
 15. Gücer, M.A., Alemdağ, S., Akaryalı, E., 2020. Assessment of Acid Mine Drainage Formation Using Geochemical and Static Tests in Mutki (Bitlis, SE Turkey) Mineralization Area. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(7), 1189-1210.
 16. Miller, S.D., 1996. Advances in Acid Mine Drainage: Prediction and Implication for Risk Management. *Proceeding of the 3rd International and 21st Annual Minerals Council of Australia Environmental Workshop*. 149-157.
 17. Morin, K.A., Hutt, N.M., 1997. Environmental Geochemistry of Minesite Drainage; Practical Theory and Case Studies. Canada, 333.
 18. White, W.W.III., Lapokko, K.A., Cox, R.L., 1999. Static Test Methods Most Commonly Used to Predict Acid Mine Drainage: Practical, Guidelines for Use and Interpretation. 325-338.
 19. Paktunç, A.D., 1999. Minerological Constrains on the Determination of Neutralization Potential and Prediction of Acid Mine Drainage. *Environmental Geology*. 38, 82-84.
 20. Jambor, J.L., Dutrizac, J.E., Chen, T.T., 2000. Statik Testlerde Belirli Minerallerin Nötralizasyon Potansiyeline Katkıları. 551-565. In *Proc. 5th Int. Conf. Acid Rock Drainage*, Denver. 21-24 Cilt. 1. Soc. Madencilik Metal. Keşfedini, Littleton, CO.
 21. Jambor, J.L., Dutrizac, J.E., 2002. Asit Drenajının Statik Test Tahminlerinde Partikül Boyutunun Nötralizasyon Potansiyeli Üzerindeki Etkisi, 651- 663.
 22. Weber, P.A., Hughes, J.B., Conner, L.B., Lindsay, P., Smart, R.C., 2006. Shortterm Acid Rock Drainage Characteristics Determined by Paste Ph and Kinetic Nag Testing: Cypress Prospect, New Zealand.
 23. Özgül, N., Kozlu, H., 2002. Kozan-Feke (Doğu Toroslar) Yöresinin Stratigrafisi ve Yapısal Konumu ile İlgili Bulgular, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 14(1), 1-36.
 24. Ayhan, A., 1988. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kozan- J21 paftası, MTA yayınları, Ankara.
 25. Ata, E., 2005. Divriği-Pınargözü (Sivas), Hekimhan (Malatya), Attepe (Kayseri) ve Feke (Adana) Demir Cevherleşmelerindeki Hematitlerin Karşılaştırmalı Jeokimyasal İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 95.
 26. Ferguson, K.D., Morin, K.A., 1991. The Prediction of Acid Rock Drainage-Lessons from the Database. In: *Proceedings of the 2nd ICARD*, vol 1-4. Montréal, QC, Canada, 83-106.
 27. Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R., Smith, R.M., 1978. Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils. EPA-600/2-78-054. US Govt Printing Office, Washington, DC.
 28. Brodie, M.J., Broughton L, M., Robertson A., 1991. A Conceptual Rock Classification System for Waste Management and Laboratory Method for Ard Prediction from Rock Piles, *Second International Conference on the Abatement of Acid Drainage*, Vol,3 Montreal, Quebec, September 16-18, MEND Program Ed- Quebec Mining Association, Ottawa, 119-135.
 29. Lapakko, K., 1992. Characterization and Static Testing of Ten Gold Mine Tailings. *Proceedings America Society of Mining and Reclamation*, 370-384.
 30. Price, W.A., Errington, J., Koyanagi, V., 1997. Guidelines for the Prediction of Acid Rock Drainage and Metal Leaching for Mines in British Columbia: Part I. General Procedures

- and Information Requirements. In: Proc, 4th ICARD, Natural Resources Canada, Ottawa, 1, 1-14.
- 31.** Soregaroli, B.A, Lawrence, R.W., 1998. Update on Waste Characterisation Studies. In: Proceedings Mine Design, Operations and Closure Conference, Polson, MT, USA.

Üç Farklı İstatistiksel Dağılım Yöntemleri Kullanarak Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmin Edilmesi

Bülent YANIKTEPE¹, Osman KARA^{*1}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 24.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Son yıllarda enerjide dışa bağımlılığı azaltmada, temiz, güvenilir, tükenmeyen ve sürdürülebilir avantajları bakımından rüzgar enerjisi ülkemizde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada Grafik Yöntemi (Graphical Method_GM), En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (The maximum likelihood method_MLM) ve Değiştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (The modixed maximum likelihood method_MMLM) kullanılmıştır. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısında kurulu ölçüm cihazı kullanılarak rüzgar hızı karakteristiği ve rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini yapılmıştır. GM, MLM ve MMLM yöntemleri sonuçlarına göre yıllık belirlilik katsayısı (R^2) değerleri sırasıyla 0,9409, 0,8617 ve 0,8509 elde edilmiştir. Sonuç olarak, ölçüm yapılan yılın verilerine ve $R^2=0,9409$ sonucuna göre GM yöntemi diğer yöntemlerden daha iyi sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, Weibull dağılımı, Osmaniye, İstatistiksel analiz

Estimating Wind Energy Potential Using Three Different Statistical Distribution Methods

Abstract

In recent years, wind energy plays an important role in our country in reducing foreign dependency in energy and in terms of its clean, reliable, inexhaustible and sustainable advantages. In this study, Graphical Method_GM, The Maximum Likelihood Method_MLM and The Modixed Maximum Likelihood Method_MMLM were used. Wind speed characteristic and wind energy potential were estimated using the measuring device installed on the roof of Osmaniye Korkut Ata University Engineering Faculty. According to the results of GM, MLM and MMLM methods, the annual coefficient of determination (R^2) values were 0.9409, 0.8617 and 0.8509, respectively. As a result, GM method gave better results than other methods according to the data of the year of measurement and the result of $R^2=0.9409$.

Keywords: Wind energy, Weibull distribution, Osmaniye, Statistical analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Osman KARA, osmankara@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de enerji ihtiyacı, gelişen teknolojilerin günlük hayatımızda hızla yer almasından dolayı, artmaktadır. Ayrıca, ülkelerde şehirleşmenin yaygınlaşması ve ekonomik rekabet enerji ihtiyacına olan talebin daha fazla artmasına neden olmaktadır. Bu taleplerin karşılanmasında, mevcut konvansiyonel yakıtların kullanılması ve bu tür kaynakların zamanla azalması ve hatta tükenecek olması, günümüzde pek çok ülke tarafından enerji problemlerinin çözümlenmesine yönelik çalışmaların arttığı görülmektedir. Enerji ile ilgili çalışmalarda, enerji verimliliği ve tasarrufları öncelik olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalarda oldukça önemli bir oranda artış göstermektedir. Çevreci, temiz, tükenmeyen ve dışa bağımlılıkta önemli bir aktör olarak yenilenebilir enerji kaynakları oldukça önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli kaynaklardan bir tanesi rüzgar enerjisidir. Son yıllarda rüzgar enerjisinin gelişimi ve teknolojisi ile ilgili hem ülkemizde hem de dış ülkelerde yürütülen akademik çalışmalar artmaktadır.

Rüzgar enerjisi potansiyeli ile rüzgar enerjisinin dünyada ve ülkemizdeki durumu Şenel ve Koç [1] tarafından analiz edilmiştir. Bu çalışmada ülkemizde rüzgar enerji potansiyeli ve rüzgar enerji santralleriyle ilgili bilgiler sunulmuştur. Ülkemizin rüzgar enerjisi kurulu gücü, diğer ülkeleri ile kıyaslanıp, yıllar içerisindeki yenilikler incelenmiştir. Ayrıca, rüzgar enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki oranları verilip, bu oranların daha da arttırılması ile ilgili öneriler verilmiştir.

Özdamar [2], yüksek ve düşük rüzgar enerji potansiyeline sahip bölgelerde, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisinin sağlanmasında, farklı anma gücü özelliklerine sahip, 10 adet rüzgar türbini kullanarak, bu türbinleri birbiri arasında karşılaştırılmış ve sonuçları yorumlamıştır. Senkron jeneratörlü rüzgar türbinleri, düşük kapasiteli rüzgar enerjili alanlarda tercih edilirken, asenkron tip jeneratörler, yüksek rüzgar enerjisi potansiyelli alanlarda daha etkili olduğu belirlenmiş ve ayrıca, 600 kW nominal güce sahip

rüzgar türbinlerinin, orta düzeydeki (10 m yüksekliği simgeleyen) rüzgar enerjisi potansiyeli için, 1250-1300 kW nominal güçlü rüzgar türbinlerinin ise yüksek düzeydeki (70 m yüksekliği simgeleyen) potansiyeller açısından önerilmiştir.

Özşahin ve Kaymaz [3], Hatay bölgesindeki rüzgar enerjisi santrallerin yapım yerlerini coğrafi faktörleri ve metotları kullanarak incelemişlerdir.

Çalışma sonuçlarını, arazi çalışmaları ile yerinde kontrol edip, bölgenin rüzgar enerjisi santralleri yapımında %45,19; orta ve %25,64; iyi hassasiyette bir bölge olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sıra dışı, zayıf ve mükemmel arazilerin ise bölgedeki rüzgar enerjisi santral yapımı yerleri içerisindeki payının yaklaşık %1 olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilgili ve arkadaşları [4], Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonları ile WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanıp, Türkiye’nin güney, güneybatı ve batı kıyısında yer alan bazı bölgelerin rüzgar enerjisi potansiyelini inceleyip, istatistiksel olarak analizlerini yapmışlardır. Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz Bölgesinin bazı kısımlarında rüzgar santrali kurulmasına uygun bölgeler olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, ele alınan bölgeler içerisinde rüzgar gücü potansiyeli en yüksek bölgeler sırasıyla Gökçeada (526 W/m²), Gelibolu (410 W/m²) ve Belen (387 W/m²) olduğu görülmüştür.

Yıldırım ve arkadaşları [5], 2008-2009 yılları arasındaki Niğde ilinde 10 metre yükseklikte ölçülen meteoroloji verilerini, Weibull dağılımı fonksiyonunun moment metodu ve enerji eğilim faktörü parametreleri kullanarak, bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, moment metodunun, hata analizlerine (Belirleme katsayısı ve ortalama hata kareleri toplamının karekökü) göre değerlendirilmiş ve bu metottan bu ölçüm verilerine göre daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir. Ayrıca, bölgenin aylık, mevsimsel ve yıllık olarak rüzgar enerjisi potansiyelini elde etmişlerdir.

Gülersoy ve Çetin [6], 2008-2009 yıllarına ait ölçülen rüzgar hız verilerini kullanarak, Menemen bölgesinin Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonunu araştırmışlardır. Weibull dağılım modeli ile elde edilen değerlerin, Rayleigh modelinden elde edilen değerlerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Hesaplamalarında, Weibull dağılımı için şekil parametresi, 1,838-1,869 ve ölçek parametresinin, 5,629-5,898 aralığında değiştiği bulunmuştur.

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmesinde rüzgar türbinlerinin hub yüksekliği referans (rüzgar hızı ölçümü veya tahmini) alınmaktadır. Dikmen ve Örgen [7], Burdur-Ağlasun bölgesinde 2 m yükseklikte kurulan, Ocak-Aralık 2013 dönemleri arasında rüzgar hızını ölçüp, rüzgar türbinin farklı hub yüksekliklerindeki rüzgar hızını tahmin etmişler ve bölgenin en uygun rüzgar türbini (65 m hub yüksekliğinde) önermişlerdir. Çalışmalarında, ayrıca bölgeden elde edilebilecek enerji 281560-154039 kWh arasında olduğu hesaplanmıştır.

Akkaya ve arkadaşları [8] Mersin-Mut bölgesinde bir evin ısıtma ve elektrik ihtiyacının karşılanması için rüzgar hızı verilerini incelemişlerdir. Rüzgar enerjisi potansiyelinin tahmini için 12 ay boyunca alınan verilerle yapay bir sinir ağı modeli oluşturulmuş ve rüzgar verilerinin sürekliliğini araştırmak için rüzgar verileri sınıflandırılmıştır. Bölge için yapılan çalışmada rüzgarın devamlılığının kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Rüzgar verileri için çok katmanlı sensor algoritması için MAE ve RMSE değerleri sırasıyla 0,4056 ve 0,5403 hesaplanmış, ayrıca bölgenin mevcut ortalama rüzgar hızı 80 m rakım için WAsP yazılımı ile belirlemiştir.

Kurban ve arkadaşları [9] Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusunda kurulan ölçüm istasyonundan belirli bir yılın dört aylık periyodundan 15 sn ölçüm verilerini kullanarak istatistiksel dağılım fonksiyonları (Weibull ve Rayleigh) ile bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli analiz etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, aylık ortalama güç yoğunlukları açısından incelendiğinde ortalama aylık güç yoğunluğunun değişiminin çok fazla olmadığı, yıl içerisindeki güç yoğunluğunun

değişiminde en yüksek değer Ağustos ayında olurken, en düşük değer Ekim ayında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Bir bölgede rüzgar enerjisinden elektrik enerjisinin elde edilmesi için rüzgar türbinlerinin kurulmadan önce bölgenin rüzgar hızının ölçülmesi, rüzgar hızının karakteristiğinin ve potansiyelinin belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Rüzgarın hızı yerden yükseklikle artmakta, güç ise rüzgar hızının küpüyle orantılı olarak değişmektedir. Bu çalışmada Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesinde ölçümü yapılan rüzgar hızı ile kampüsün rüzgar anemometresi ölçümüyle rüzgar enerjisi potansiyeli üç farklı istatistiksel yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Yöntemlerin performans analizi yapılarak karşılaştırılmış ve bu ölçüm verileri ile kampüs yerleşkesi için en iyi yöntem bulunmuştur.

2. TÜRKİYE'DE VE OSMANİYE'DE KURULU RÜZGAR GÜCÜ

Türkiye'de 2006 yılında, belirli bir yer yüksekliği (50 m) ve rüzgar hızına (7,5 m/s üzeri) sahip bölgeler için kilometre başına rüzgar santralleri (5 MW) kurulabileceği kabulüyle, bazı modeller (orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli) kullanılarak Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası oluşturulmuştur. Bu kabuller ile Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli yaklaşık 48,000 MW olarak belirlenmiştir. Bu rüzgar enerjisi potansiyeli için gerekli olan alan, Türkiye'nin yüz ölçümünün %1,30'luk bir kısmıdır [10].

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Temmuz 2020 [11] raporuna göre Rüzgar Enerjisi Santralleri (RES) İllere göre, Çizelge 1'de Türkiye'de İşletmedeki RES'lerin, Çizelge 2'de Türkiye'de İnşa Halindeki RES'lerin, Çizelge 3'de Türkiye'de Lisanslı RES'lerin, Çizelge 4'de Türkiye'de Ön Lisanslı RES'lerin İllere göre Dağılımları verilmiştir. Rapora göre, Türkiye'de işletmedeki RES'lerin toplam kurulu gücü, 8288 MW; İnşaa Halindeki RES'lerin kurulu gücü 2451,05 MW; Lisanslı RES'ler 688,25 MW iken Ön Lisanslı RES'lerin kurulum kapasitesi 4536,60 MW'tır. Bu

rapor kapsamında incelenen Osmaniye İlinin kurulu güç kapasitesi 265,30 MW değerindedir. Osmaniye ilinde, Gökçedağ, 135 MW; Hasanbeyli, 50 MW ve Sarıtepe-Demirciler, 80,3 MW kapasiteye sahip rüzgar santralleri bulunmaktadır.

İllere göre en fazla kurulu güç kapasitesi sırasıyla İzmir, Balıkesir, Manisa ve Çanakkale ileri olduğu görülmektedir. Ayrıca, ülkemizde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel

Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu işbirliğinde Milli tabanlı Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi projesi 2014 yılında tamamlanmıştır. Bu proje ile rüzgar enerji santralleri tek bir merkezden izlenip, rüzgar gücü tahmini daha doğru bir şekilde yapılması ile sektöre daha etkin bir katkı sunulması sağlanmaktadır [12,13].

Çizelge 1. Türkiye’de işletmedeki RES’lerin illere göre dağılımı [11]

İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)	İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)
İzmir	1619,60	19,54	Amasya	141,10	1,70
Balıkesir	1166,05	14,07	Tokat	140,70	1,70
Manisa	716,75	8,65	Yalova	130,85	1,58
Çanakkale	617,85	7,45	Bursa	130,80	1,58
Hatay	362,05	4,37	Kahramanmaraş	86,40	1,04
Afyon	356,45	4,30	Edirne	85,60	1,03
İstanbul	295,60	3,57	Denizli	74,80	0,90
Kayseri	274,35	3,31	Gaziantep	65,55	0,79
Osmaniye	265,30	3,20	İsparta	61,20	0,74
Mersin	221,55	2,67	Samsun	56,00	0,68
Aydın	216,20	2,61	Uşak	54,00	0,65
Kırklareli	199,60	2,41	Bilecik	40,00	0,48
Muğla	197,25	2,38	Adıyaman	27,50	0,33
Tekirdağ	174,20	2,10	Malatya	11,70	0,14
Kırşehir	168,00	2,03	Kocaeli	10,20	0,12
Konya	165,50	2,00			
Sivas	155,30	1,87	TOPLAM	8288,00	100,00

Çizelge 2. Türkiye’de inşa halindeki RES’lerin illere göre dağılımı [11]

İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)	İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)
İstanbul	302,30	11,33	Konya	54,00	2,20
Sakarya	272,30	11,52	Van	53,20	2,17
Kırklareli	278,40	11,36	Yalova	53,20	2,17
Çanakkale	272,00	11,10	Eskişehir	52,80	2,15
Balıkesir	254,20	10,37	Kırıkkale	43,20	1,76
İzmir	249,85	10,19	Kahramanmaraş	35,10	1,43
Aydın	149,40	6,10	Hatay	28,80	1,18
Bursa	140,80	5,74	Edirne	11,40	0,47
Bilecik	124,50	5,08	Manisa	10,80	0,44
Kocaeli	54,80	2,24	TOPLAM	2451,05	100,00

Çizelge 3. Türkiye’de lisanslı RES’lerin illere göre dağılımı [11]

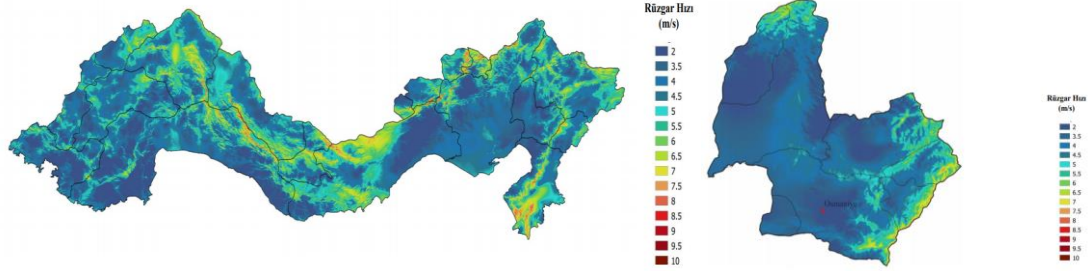
İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)	İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)
Bursa	129,50	18,82	Tekirdağ	14,00	2,03
Yalova	112,00	16,27	Ordu	12,00	1,74
Konya	102,30	14,86	Manisa	10,20	1,48
İstanbul	71,00	10,32	Çanakkale	10,00	1,45
Muğla	64,00	9,30	Edirne	6,00	0,87
Hatay	47,00	6,83	Sinop	6,00	0,87
Trabzon	40,00	5,81	İzmir	2,25	0,33
Mersin	32,00	4,65			
Kırklareli	30,00	4,36			
			TOPLAM	688,25	100,00

Çizelge 4. Türkiye’de ön lisanslı RES’lerin illere göre dağılımı [11]

İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)	İller	Kurulu güç kapasitesi (MW)	Kurulu güç yüzdesi (%)
Kırklareli	482,0	10,62	Kütahya	50,40	1,11
Edirne	335,40	7,39	Erzincan	50,30	1,11
Sivas	330,00	7,27	Erzurum	50,00	1,10
İstanbul	290,00	6,39	Eskişehir	50,00	1,10
Çanakkale	270,70	5,97	Muğla	50,00	1,10
Balıkesir	236,70	5,22	Bingöl	49,50	1,09
Mersin	156,60	3,45	Samsun	49,00	1,08
Karaman	136,20	3,00	Sinop	47,00	1,04
Adana	115,40	2,54	Uşak	47,00	0,97
Yalova	112,00	2,47	Kırıkkale	44,00	0,94
Bursa	110,80	2,44	Adıyaman	42,50	0,88
Antalya	101,50	2,24	Bitlis	40,00	0,88
Malatya	82,00	1,81	Elazığ	40,00	0,88
Kayseri	80,00	1,76	Giresun	40,00	0,88
Kocaeli	70,00	1,54	Kahramanmaraş	40,00	0,88
Çorum	65,00	1,43	Kilis	40,00	0,88
Isparta	63,00	1,39	Tokat	40,00	0,88
Tekirdağ	60,90	1,34	Afyonkarahisar	30,00	0,66
Hatay	60,00	1,32	Karabük	30,00	0,66
Kırşehir	60,00	1,32	Manisa	30,00	0,66
Mardin	60,00	1,32	Sakarya	30,00	0,66
Çankırı	54,60	1,20	Ankara	20,00	0,44
Konya	54,00	1,19	Kars	20,00	0,44
İzmir	52,00	1,15	Amasya	11,00	0,24
Yozgat	52,00	1,15	Budur	3,00	0,07
Ağrı	51,30	1,13			
Ordu	50,80	1,12			
			TOPLAM	4536,60	100,00

Şekil 1’de Osmaniye iline ait RES haritaları gösterilmiştir. Osmaniye iline ait meteoroloji

verilere göre, minimum rüzgar hızı (m/s) 1,78 olur iken maksimum rüzgar hızı (m/s) 7,92’dir [14].



Şekil 1. Akdeniz Bölgesi ve Osmaniye ilinin yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı [14]

3. RÜZGAR HIZI ÖLÇÜMÜ

Bu çalışmada Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında yaklaşık 20 m yükseklikte anemometre ile ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm istasyonundan Ocak–Aralık 2013 dönemlerinde 10’ar dakikalık kaydedilen ölçüm

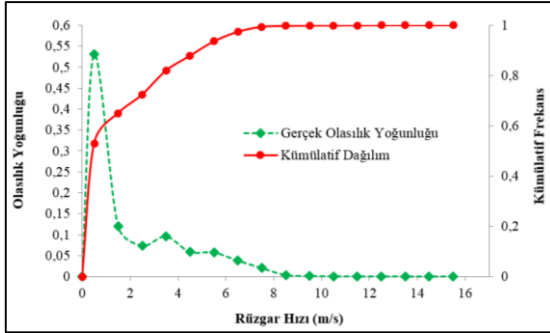
değerleri kullanılmıştır. Çizelge 5’de ölçümü yapılan rüzgar hızı değerleri verilmiştir. Çizelge 5’teki ölçüm değerlerinin toplamı yıl içerisinde 52560 değer olması gerekirken burada 49171 ölçüm alınmış olup, 3389 ölçüm değeri alınamamıştır.

Çizelge 5. Ölçülen rüzgar hız değerleri

i	v_i (m/s)	v_i^* (m/s)	f_i	$f(v_i)$	$F(v_i)$
1	0-1	0,5	26083,00	0,530455	0,530455
2	1-2	1,5	5903,00	0,120050	0,650505
3	2-3	2,5	3615,00	0,073519	0,724024
4	3-4	3,5	4703,00	0,095646	0,819670
5	4-5	4,5	2895,00	0,058879	0,878546
6	5-6	5,5	2825,00	0,057453	0,935999
7	6-7	6,5	1865,00	0,037929	0,973928
8	7-8	7,5	991,00	0,020154	0,994082
9	8-9	8,5	177,00	0,003600	0,997682
10	9-10	9,5	59,00	0,001200	0,998881
11	10-11	10,5	28,00	0,000569	0,999451
12	11-12	11,5	12,00	0,000244	0,999695
13	12-13	12,5	9,00	0,000183	0,999878
14	13-14	13,5	3,00	0,000061	0,999939
15	14-15	14,5	3,00	0,000061	1,000000

Çizelgede ölçüm rüzgar hız verileri kullanılarak hesaplanan frekans dağılımları, Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilde, gerçek olasılık yoğunluğunun rüzgar hızı 0-1 m/s aralığında en fazla olduğu, ve bu hız aralığında 26083 rüzgar

esmenin gerçekleştiği görülmektedir. Rüzgar hızının artması ile olasılık yoğunluğunda azalma gerçekleşmektedir. Bu da kümülatif frekans dağılımına katkısı az olmaktadır.



Şekil 2. Ölçülen rüzgar hızına göre gerçek ve kümülatif dağılımı

4. WEIBULL DAĞILIMI

Bir bölgenin rüzgar hız karakteristik (yön ve şiddet) değerinin bulunması için farklı dağılım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok tercih edilen yöntem Weibull dağılımıdır. Olasılık yoğunluğu ile tanımlanabilen Weibull dağılımı, Eşitlik 1 ve 2'de [15] $f(v)$ rüzgar hızının olasılık fonksiyonu ve $F(v)$ kümülatif dağılım fonksiyonu ile hesaplanmıştır.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Bu eşitliklerde, v rüzgar hızı, k boyutsuz şekil parametresi ve c ise ölçek parametresidir. Weibull dağılımında şekil parametresi değerinin iki kabul edilmesi dağılıma Rayleigh olarak adlandırılmaktadır.

5. WEIBULL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, Weibull rüzgar hızı dağılımı parametrelerini tahmin etmede literatürde en çok kullanılan üç yöntem sunulmuştur: Bunlar sırasıyla Grafik Yöntemi (Graphical Method_GM), En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (The maximum likelihood method_MLM) ve Değiştirilmiş En

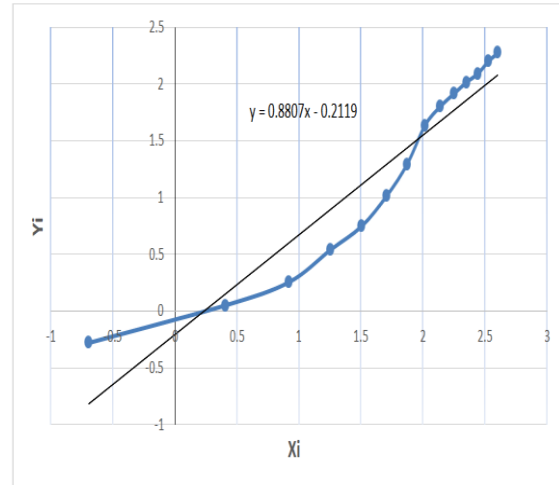
Yüksek Olabilirlik Yöntemi (The modified maximum likelihood method_MMLM)'dir.

5.1. Grafik Yöntemi (GM)

Grafiksel yöntemin uygulanmasında, rüzgar hızı verilerinin kümülatif frekans dağılım formatında olması gerekmektedir. Bu nedenle, zaman serisi verileri öncelikle ayrıştırılmalıdır. En iyi uyan çizgi elle çizilebilir veya en küçük kareler regresyonu kullanılarak belirlenebilir. Eşitlik (2)'den Eşitlik (3) elde edilmektedir [16,17].

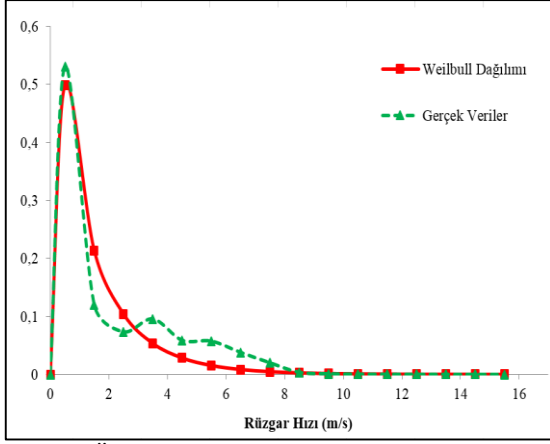
$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln v - k \ln c \quad (3)$$

$X_i (\ln v)$ ve $Y_i (\ln[-\ln(1-F(v))])$ düzeni grafiğine aktarılmış (Şekil 3) ve bir lineer eşitlikten $y = Ax + B$ 'den; $A = k$, $B = -k \ln c$ katsayılarından k ve c parametreleri sırasıyla, 0,8807 ve 1,2720 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Ölçümü yapılan gerçek rüzgar hızların X_i ve Y_i grafiğinde gösterimi

Elde edilen k ve c parametreleri kullanılarak Weibull olasılık dağılımı ile gerçek olasılık dağılımının karşılaştırılması Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekilde 2-5 m/s hız değerleri arasında çok azda olsa farklılık olmasına rağmen genel olarak grafik yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımının gerçek veriler ile benzer trend gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. Ölçülen gerçek rüzgar hızı verileri ile Weibull dağılımının gösterimi

5.2. En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (MLM)

Weibull dağılımında şekil (k) parametresi ve ölçek parametresi (c) değerleri, Stevens ve Smulders tarafından önerilen En Yüksek Olabilirlik Yöntemi kullanılarak, rüzgar zaman serisi verilerine uygulanıp hesaplanmaktadır [16,18]. Şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Eşitlik 4,5).

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k \right)^{1/k} \quad (5)$$

v_i , i zaman adımıdaki rüzgar hızıdır ve n, sıfır olmayan rüzgar hızı veri noktalarının sayısıdır.

5.3. Değiştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (MMLM)

Frekans dağılım fonksiyonunda rüzgar hızı verileri mevcutsa, değiştirilmiş en yüksek olabilirlik yöntemi düşünülebilir. İki Weibull parametresi Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) ile hesaplanır [15,16]:

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i) f(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k f(v_i)} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i) f(v_i)}{f(v \geq 0)} \right]^{-1} \quad (6)$$

$$c = \left[\frac{1}{f(v \geq 0)} \sum_{i=1}^n v_i^k f(v_i) \right]^{1/k} \quad (7)$$

v_i , aralıktaki rüzgar hızı olup n ise toplam veri sayısıdır. $f(v_i)$ ve $f(v_i \geq 0)$ bölmelerinde değişen rüzgar hızı frekansı, sıfıra eşit veya sıfırdan fazla rüzgar hızı olasılığıdır.

6. İSTATİKSEL ANALİZ

Weibull dağılımlarının performansını değerlendirmek için belirlilik katsayısı (R^2) kriteri kullanılmıştır. Bu değer aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır (Eşitlik 8).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2} \quad (8)$$

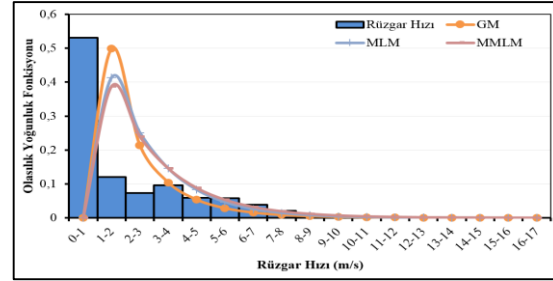
Eşitlikte; y_i , i. gerçek datayı, x_i , i. Weibull dağılımından tahmin edilen datayı, z_i , y_i 'lerin ortalama değerini ve N gözlem sayısıdır. Belirlilik katsayısı kriterinde, bir modelin, tahminin ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değişir ve elde edilen değerlerin 1'e yaklaşması modelin tahmin gücünün arttığını; 0'a yaklaşması ise modelin gücünün azaldığını göstergesidir [9].

7. BULGULAR

Bu bölümde, gerçek rüzgar hız değerleri ile Weibull dağılımında kullanılan, Grafik Yöntemi, En Yüksek Olabilirlik Yöntemi ve Değiştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Yönteminden elde edilen aylık ve yıllık sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Şekil 5'de Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları GM, MLM ve MMLM metotları ile karşılaştırılmıştır. Rüzgar Hızı, 0-1 aralığında, yaklaşık 0,53 olup, bölgenin rüzgar hız değeri arttıkça olasılık yoğunluk fonksiyonunun azaldığı görülmektedir. Weibull parametrelerinden GM, mevcut ölçülen rüzgar hızı değerlerine daha yakın değerlere ulaşmaktadır. Olasılık yoğunluk fonksiyonunda, MLM ve MMLM ise rüzgar hızına göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

Çizelge 6'da ölçümü yapılan aylık hız ortalamaları verilmiştir. Hızların yıllık ortalaması, 1,91 olup, ölçümü yapılan bölgenin hız ortalaması Haziran ayında yükselmeye başlayıp, Temmuz ayında en yüksek değere ulaşmakta, daha sonra tekrardan kademeli bir şekilde azalmaktadır. En düşük aylık hız ortalaması 0,49 m/s ile Kasım ayında gerçekleşmiştir. Yıllık ortalama hız değeri rüzgar yatırım sınıflandırması göz önüne alındığında [10] bu yerleşke için rüzgar potansiyelinin yeterli seviyede olmadığını göstermektedir.



Şekil 5. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının GM, MLM ve MMLM ile kıyaslanması

Çizelge 6. Aylık ve yıllık ortalama hız değerleri

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
0,87	1,47	2,15	2,01	2,13	2,92	3,17
Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık	
2,79	2,202	1,30	0,49	0,95	1,91	

Literatürlerde, Weibull parametrelerini belirleme yöntemlerinden en uygun olanı belirlemede pek çok farklı İstatistiksel analizler (Akaike informasyon kriteri (AIC), kök ortalama kare hata (RMSE), ki-kare (χ^2) ve belirlilik katsayısı (R^2) kriterleri vb.) yapılmaktadır. Bu çalışmada belirlilik katsayısı ile ölçümü yapılan verilere göre üç metotla hazırlanan parametrelerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısından ölçülen verilere göre hesaplanan Weibull parametreleri ve R^2 değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 7'den anlaşılacağı üzere GM, MLM ve MMLM yöntemleri

uygulandığında yıllık R^2 değerleri sırasıyla 0,9409, 0,8617 ve 0,8509 dur. Bu ölçümden hesaplanan değerlere göre, GM yıllık değerler göz önüne alındığında diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Fakat aylık değerlere göre bakıldığında her ay için grafiksel yöntemin diğer yöntemlere kıyaslandığında daha iyi olduğu söylenemez. GM yönteminin Ocak, Kasım ve Aralık aylarında belirlilik katsayısı analizine göre diğer yöntemlerden daha düşük değere sahip olmaktadır. Genel olarak, Çizelgeye bakıldığı zaman GM bu ölçüm yılı için en iyi sonuca sahiptir.

Çizelge 7. GM, MLM ve MMLM için aylık ve yıllık k ve c parametreleri

	GM			MLM			MMLM		
	k	c	R^2	k	c	R^2	k	c	R^2
Ocak	0,6227	0,3911	0,8442	1,2837	1,0312	0,9644	1,2208	1,0780	0,9561
Şubat	0,7813	0,9033	0,9827	1,1243	0,3213	0,9513	1,0994	1,6232	0,9208
Mart	0,7659	1,3779	0,9717	1,0474	2,2010	0,8796	1,0014	2,1918	0,8940
Nisan	0,8606	1,3103	0,9257	1,0904	2,0467	0,8265	0,0493	2,1165	0,8347
Mayıs	0,7691	1,4017	0,9311	1,1481	2,2840	0,7835	1,0769	2,2387	0,8214
Haziran	0,9911	2,0868	0,7556	1,2295	3,0807	0,7161	1,1726	3,0995	0,7515
Temmuz	1,0415	2,3573	0,6018	1,3499	3,5068	0,5935	1,2541	3,4102	0,6485
Ağustos	0,9179	1,9219	0,7922	1,1381	2,9674	0,6640	1,0610	2,2921	0,7151
Eylül	0,9247	1,3630	0,8612	1,1328	2,1151	0,7497	1,0741	2,1803	0,7728
Ekim	0,7468	0,7646	0,9517	1,0766	0,7358	0,9223	1,0972	1,4791	0,8804
Kasım	0,6396	0,2456	0,7229	1,4333	0,5993	0,986	1,3641	0,8537	0,9650
Aralık	0,5963	0,4364	0,8285	1,1532	1,1066	0,9479	1,1189	1,1599	0,9257
Yıllık	0,8807	1,2720	0,9409	1,0469	1,8464	0,8617	1,0156	2,0116	0,8509

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gerçek ölçüm verilerine göre rüzgar hızının aylık yıllık ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hız değerleri ile ölçüm yapılan bölgenin olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmiştir. Bir sonraki adımda ise ölçüm değerleri üç farklı metot ile Weibull parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler için belirlilik katsayısı ile istatistiksel analiz yapılmıştır. En yüksek R^2 değeri 0,9827 için Şubat ayında GM iken, en düşük R^2 değeri 0,5935 için Temmuz ayında MLM yönteminde olduğu görülmüştür. 2013 yıllık verileri göz önüne alındığında, Weibull dağılımında GM yönteminin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi çatısında ölçümü yapılan rüzgar hızı ile kampüsün rüzgar enerjisi tahmini elde edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Şenel, M., Koç, E., 2015. Dünyada ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56.
2. Özdamar, A., 2001. Farklı Anma Güçlü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 17-27.
3. Özşahin, E., Kaymaz, Ç., 2014. Rüzgar Enerji Santrallerinin (Res) Kuruluş Yeri Seçiminin Cbs ile Analizi: Hatay Örneği . *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.
4. Bilgili, M., Şahin, B., Şimşek, E., 2010. Türkiye’nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 01-12.
5. Yıldırım, U., Gazıbey, Y., Güngör A., 2016. Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(1), 37-47.
6. Gülersoy, T., Çetin, N., 2010. Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması, *Politeknik Dergisi*, 13(3), 209-213.
7. Dikmen, E., Örgen, F., 2018. Ağlasun Bölgesi için Rüzgar Hızı Tahmini ve En Uygun Türbin Tespiti, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 871-879.
8. Akkaya, M., Gültekin, A., Sabancı, K., Balcı, S., Sağlam, H., 2020. Analysis and Applicability of Mersin Region Wind Speed Data with Artificial Neural Networks, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(1), 39-51.
9. Kurban, M., Hocaoglu, F., Kantar, Y., 2007. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmininde Kullanılan İki Farklı İstatistiksel Dağılımın Karşılaştırmalı Analizi, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 103-109.
10. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Rüzgar Bilgi Merkezi, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>.
11. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB), Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Temmuz 2020. <https://tureb.com.tr/eng/lib/uploads/0fcb336c19d4b950.pdf>, Erişim Tarihi: 20.02.2021.
12. Türkiye Bilimler Akademisi, TÜBA-Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Raporu, TÜBA Raporları No: 28, Ankara-2019.
13. Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi, <http://www.ritm.gov.tr/root/index.php>, Erişim Tarihi: 23.02.2021.
14. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>, Erişim Tarihi: 21.02.2021.
15. Chang, TP., 2011. Performance Comparison of Six Numerical Methods in Estimating Weibull Parameters for Wind Energy Application, *Applied Energy*, 88, 272-282.
16. Seguro, J.V., Lambert, T.W., 2000. Modern Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85, 75-84.
17. Yaniktepe, B., Koroglu, T., Savrun, M.M., 2013. Investigation of Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Osmaniye, Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 703-711.
18. Stevens, M.J., Smulders, P.T., 1979. The Estimation of the Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Utilization Purposes, *Wind Eng.*, 3(2), 132-145.

Kızıldağ Ofiyolitleri (Arsuz-Çevlik, Hatay) İçinde Gözlenen Manyezit Oluşumlarının Kökeni

Yusuf TOPAK*¹

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Adıyaman

Geliş tarihi: 29.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Özet

Bu çalışmada Çevlik (Hatay) bölgesinde bulunan ekonomik açıdan değerli manyezitlerinin (MgCO₃) jeokimyasal karakterlerinin özellikleri incelenmiştir. Ultramafik kayaların kırık zonlarında bulunan manyezitlerin; Co (0,4–3,1 ppm) ve Ni (198,3–69 ppm) içerikleri diğer ultramafiklerle ilişkili manyezit oluşumlarıyla (Alpler, Karpatlar, Pireneler Yunanistan, Türkiye ve Kaliforniya/ABD) benzer olduğu tespit edilmiştir. Manyezit oluşumunda etkili olan suyun kökenini belirlemede ¹³CV-PDB (-13,77–-10,43) ve ¹⁸OV-PDB (1,71–0,67) değerleri kullanılmıştır ve analiz sonuçlarına göre düşük ¹³CV-PDB değerleri; manyezitlerin oluşumunda etkin olan suyun ultramafik kayalar içinde dolaşan meteorik su olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hatay-Çevlik, Manyezit, Karbon ve oksijen izotopları, Jeokimya

Determination of Geological-Geochemical Properties of Magnesite Formations Observed in Kızıldağ Ophiolites (Arsuz-Çevlik (Hatay) Area)

Abstract

In this study, the properties of the geochemical characters of economically valuable magnesite (MgCO₃) in the Çevlik (Hatay) region were investigated. Magnesites found in the fractured zones of ultramafic rocks has been found to be similar with other associated magnesite deposits (Alps, Carpathians, Pyrenees Greece, Turkey and California/USA) with Co (0.4–3.1 ppm) and Ni (198.3–69 ppm) contents. ¹³CV-PDB (-13.77– -10.43) and ¹⁸OV-PDB (1.71– -0.67) values were used to determine the origin of water, which is effective in magnesite formation. According to the analysis results with low ¹³CV-PDB values, it was determined that the water that is effective in the formation of magnesite is meteoric water circulating in ultramafic rocks. It has been determined that the water effective in the formation of magnesite is meteoric water circulating in ultramafic rocks.

Keywords: Hatay-Çevlik, Magnesite, Carbon and oxygen isotopes, Geochemistry

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yusuf TOPAK, ytopak@adiyaman.edu.tr

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneydoğusunda Hatay ilinin Samandağ Merkez ilçe ve İskenderun arasında kalan bölgede yaklaşık 200 km²'lik bölgede (Şekil 1) yer alan Manyezit oluşumlarının jeolojik-jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Manyezit cevheri içerisinde manyezit mineraliyle birlikte değişik oranlarda karbonat ve oksitler ile demir, kalsiyum, mangan ve alüminyum silikatlar da bulunur. Doğada iri kristaller halinde bulunanlara spatik manyezit, kriptokristalen halinde bulunanlara da jel manyezit adı verilir. Saf iken beyaz, safsızlık içermesi durumunda sarı, kahverengi, gri ve siyaha kadar değişen çeşitli renklerde olabilen manyezit, başta demir çelik ve çimento sanayi olmak üzere çok geniş kullanım alanına sahiptir. Türkiye'deki manyezit oluşumlarının hemen hepsi yüksek kaliteli olarak kabul edilen jel manyezit tipindedir.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

Manyezit (MgCO₃), refrakter malzeme üretiminin temel ham maddesi olup %47,81 MgO ve %52,19 CO₂ içerir. Bünyesinde çok az miktarda Fe₂O₃ bulunan, sertliği 3,4–4,5 arasında, özgül ağırlığı 2,9–3,1 olan mineraldir. Rengi beyaz, sarı veya gri ve kahverengi arasında değişir. Tabiiatta Kriptokristalin (jel/amorf) ve Kristalen (iri kristalli) olmak üzere iki şekilde bulunur. Sert ve kompleks bir mineral olup, serpantin veya benzeri kayaların alterasyonu veya dolomitlerin kontakt

metamorfizması sonucu oluşur. Manyezitlerin oluşumu için gerekli Mg'un Ultramafikler ve dolomitin bileşiminden kaynakladığı kabul edilmektedir [1,2]. Kriptokristalen manyezit, genellikle saf olarak bulunmakla beraber, bir miktar demir, kireç, alümin ve pek az serbest silis karışmış olabilir. Cevherin kalitesi de içerdiği bileşiklerin miktarlarına göre artar ya da azalır. Manyezitlerin oluşumuna bakıldığı zaman; Hidrotermal Kristalin Manyezit Yatakları, Hidrotermal Masif Manyezit Yatakları, Yüzeysel Suları ile Oluşan Masif Manyezit Yatakları ve Sedimanter Masif Manyezit Yatakları olmak üzere dört ana oluşum modeli önerilmektedir [3,4].

1.1. Bölgesel Jeoloji

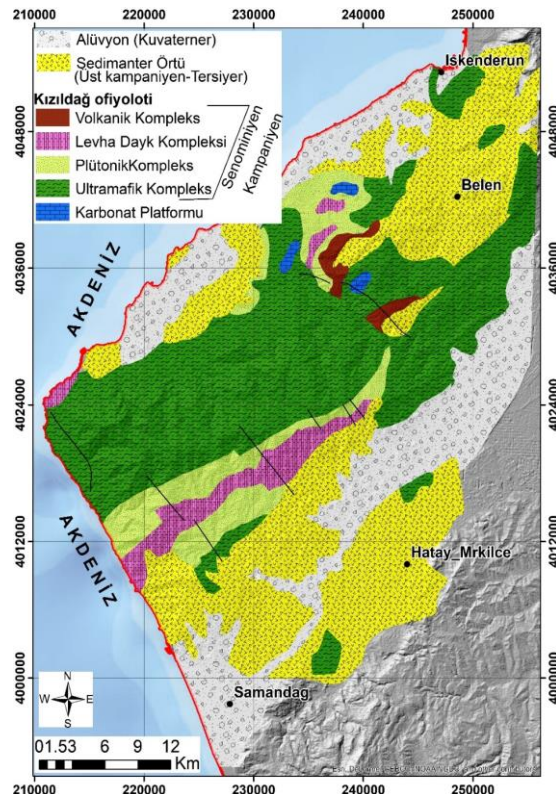
Bölgede alttan üste doğru Arap Platformu, melanj, Kızıldağ ofiyoliti ve örtü sedimanları yüzlek vermektedir. Arap platformuna ait sedimanter birimler, Alt Kambriyen'den Alt Karbonifer ve Triyas'tan Kretaseye olan sedimanları içerip Amanos dağlarında yüzlekler vermektedir [5-9]. Arap platformu en altta ince-iri taneli klastik birimler ile başlayıp yukarı doğru kireçtaşı içeren birimlere geçiş gösterir [7,10]. Platformun Mesozoyik birimleri, iri klastik birimler ile başlayıp Senomaniyen-Turaniyen yaşlı platform karbonatlarını geçer ve Paleozoyik birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelir [11,12]. Melanj birimi, Amanos olistostromu olarak adlandırılan Kömürçukuru civarında gözlenen tektonik pencere içinde Kızıldağ ofiyolitinin altında küçük mostralral sunmaktadır [7]. Birimin matrisi makaslanmış serpantinlerden oluşup Amanos dağlarının doğu ve batı yamaçlarında yüzlekler verir. Matris içinde bulunan bloklar farklılık sunar ve harzburjitt, dunit, gabro ve yastık yapılı lavlar ile kireçtaşı ve kumtaşları içerir. Bu blokların yaşları Senomaniyen-Kampaniyen aralığındadır [12-14]. Kızıldağ ofiyoliti melanj birimini Kömürçukuru kasabası civarında düşük açılı bir fayla tektonik olarak üzerler [12,15,16]. Ofiyolit, en altta kıta üzerine bindirme sırasında peridotitler ile birleşmiş olan iri kireçtaşı blokları içeren serpantinize tektonitler ile başlar [16-18]. Kızıldağ ofiyoliti, yayılma sırtının bir tarafını temsil edip bu yayılma sırtının diğer tarafını Trodos ofiyoliti temsil etmektedir. Trodos ofiyoliti ile benzer bir

şekilde tam bir ofiyolitik istif sunan Kızıldağ ofiyoliti, alttan üste doğru, tüketilmiş manto tektonitleri, ultramafik ve mafik kümülatlar, izotrop gabro, levha daykları, plajiyogranit ve volcano-sedimanter birimleri içermektedir. Manto tektonitleri ofiyolitik birimin çekirdeğini oluşturup başlıca harzburjitlerden ve küçük lens ve bandlar halinde dunitlerden oluşmaktadır. Harzburjitik tektonitler 3 km kalınlığı ulaşırken pegmatitik gabro ve piroksenitik dayklar tarafından kesilir. Kümülat kayaçların kalınlığı 165 ile 700 m arasında değişip dunit, verlit, olivinli gabro, olivinli gabronorit ve gabrolardan oluşur. Plutonik birimin en tepesinde izotrop gabrolar baskın halde gözlenip kalınlıkları 2-2,5 km arasındadır. İzotrop gabrolar gabro, diyorit ve kuvarslı diyoritlerden oluşur. İzotrop gabrolar üste doğru altta çok sayıda gabro lensleri içeren çok iyi gelişmiş levha dayk karmaşığına geçerler [15-25]. Levha daykları en altta izotrop gabro kantağında izole dayklar halinde gözlenir ve birimin en iyi gözlendiği yer olan Akdeniz kıyısında Çevlik sahili boyunca kalınlıkları birkaç cm ile 2 m arasında değişen %100 dayklar ile temsil edilir. Levha daykları D-B doğrultusunda yönelmiş olup çok iyi korunmuş soğuma kenarları ve kesme ilişkileri gözlenir. Levha dayk karmaşığı birbirlerinden kesme ilişkisi, yapı ve içerik olarak ayrılan üç fazda oluşmuştur [17-27].

Plajiyogranitler ofiyolitik istifin üst kesimlerinde bulunan izotrop gabro, levha dayk karmaşığı ve volkanik birimleri keser vaziyette gözlenmektedir [18,28,29]. Kızıldağ ofiyolitinin volkanik kısmı iki farklı bölgede mostra vermektedir. Birinci mostra, ofiyolitinin kuzey tarafında olup Tahtaköprü ve Kömürçukuru köyleri civarında gözlenirken ikinci mostra Kızıldağ ofiyolitinin 12 km güneydoğusunda Silpius Dağı eteklerinde gözlenir. İkinci mostrada, Sakalavit olarak tanımlanan hyaloklastik dokulu boninitik yumurta şekilli boyları 4-20 cm arasında değişen mikro yastık lavlar gözlenmektedir [15,28,30,31]. Kızıldağ ofiyolitinin yaşı 100-91 my arasında değişmektedir. Birimin kabuksal tabanını oluşturan izotrop gabroların yaşı 95-100 My arasında iken en son gelişen intrüzyonlar olan plajiyogranitler 93 My'de oluşmuştur [15,29].

Bölgede yüzlek veren örtü sedimanları ofiyolitlerden türeme konglomera ve kumtaşları ile başlayan sığ deniz sedimanları ile başlayıp yukarı doğru Mestrihtiyen yaşlı karbonatlara geçiş gösterir [12,25]. Bu temel üzerine Paleosen-Eosen yaşlı kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ardalanmasından oluşan sedimanter birimler uyumlu olarak gelir (Şekil 2) [32]. Bu birimleri Orta-Üst Miyosen yaşlı kireçtaşı ve fliş tipi sedimanter kayaçlar uyumsuz olarak örter [12,25]. Kızıldağ ofiyolitinin Arap platformu üzerine bindirme zamanı arazi ilişkilerine göre Geç Kretase (Mestrihtiyen öncesi) olarak tespit edilmiştir [12,25].

Bu çalışmada Kızıldağ ofiyolitinin ultramafik kayaçlarının içinde gözlenen çatlaklar boyunca gelişen ekonomik değere sahip manyezit cevherleşmelerinin oluşum ortamı ve kökeni incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bölgede manyezit oluşumu ve buna bağlı olarak yeni rezervlerin aranmasına katkı sunacaktır.



Şekil 2. Çalışma alanına ait jeoloji haritası [32]

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Manyezit Yataklarının Oluşumu

Çalışma kapsamında Kızıldağ ofiyolitinin ultramafik kayaçlarının çatlakları boyunca gelişen

manyezit cevherleşmeleri oluşum ve kökenlerinin tespitleri için örneklenmiştir.

Araziden 3 farklı lokasyondan jeokimyasal analizler için tamamı manyezit olan 10 örnek alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Araziden derlenen örneklerin lokasyonları

	Litoloji	Lokasyon	Koordinat
Örnek 1	Manyezit	HTY 1	36,50752370 40,17333
Örnek 2	Manyezit	HTY 1	35,50752370 40,17333
Örnek 3	Manyezit	HTY 1	36.50752370 40,17333
Örnek 4	Manyezit	HTY 1	36.50752370 40,17333
Örnek 5	Manyezit	HTY 2	35.50754358 40.14389
Örnek 6	Manyezit	HTY 2	35.50754358 40.14389
Örnek 7	Manyezit	HTY 2	35.50754358 40.14389
Örnek 8	Manyezit	HTY 2	35.50754358 40.14389
Örnek 9	Manyezit	HTY 3	36.50750047 40.22714
Örnek 10	Manyezit	HTY 3	36.50750047 40.22714

2.2. Metod

Örnekler tum kaya ana-, iz ve nadir toprak element (NTE) ve izotop analizleri için önce çeneli kırıcı yardımıyla 2mm boyutuna indirgenmiş sonra 105°C'de kurutulmuş ve Retsch RMO 34307 model agat havanda öğütülerek 250 mesh boyutuna indirgenmiştir. Manyezit örneklerinin kriptonkristalen yapısından dolayı minerallerin tespitine yönelik X-Ray difraktometre (XRD) incelemesine ihtiyaç duyulmuştur. Örneklerin kimyasal yapısının belirlenmesi için kimyasal analizler Kanada ACME laboratuvarında tüm kayaç ve iz element analizleri yapılmıştır. İzotop analizlerinde Manyezitlerin oluşumunu açıklamak amacıyla izotop analizleri ISO Analytical Laboratories'de yapılmıştır. Referans numarası: 140610-3 olarak kayıt edilmiştir.

(Şekil 3a), HTY2 (Şekil 3b), ve HTY3 (Şekil 3c) olarak adlandırılarak bu lokasyonlardan örnekler derlenmiştir (Çizelge 2).

Manyezit oluşumlarının ultramafik kayaçlar içinde geliştiği gözlenmiştir. Oluşumlar kırık çatlak zonları boyunca gelişmiş ve ağsal yapı sunmaktadır (Şekil 3d,e). Manyezitler kriptonkristalin ve ince damar şekillidir. Kalınlıkları ince damarlar 1-3 mm ve kalın damarlar 15-25 cm arasında değişmektedir. Daha çok dağılgan pekişmemiş yapı sunarken kısmi olarak konkoidal kırınım sunan masif oluşumlar gözlenmiştir.

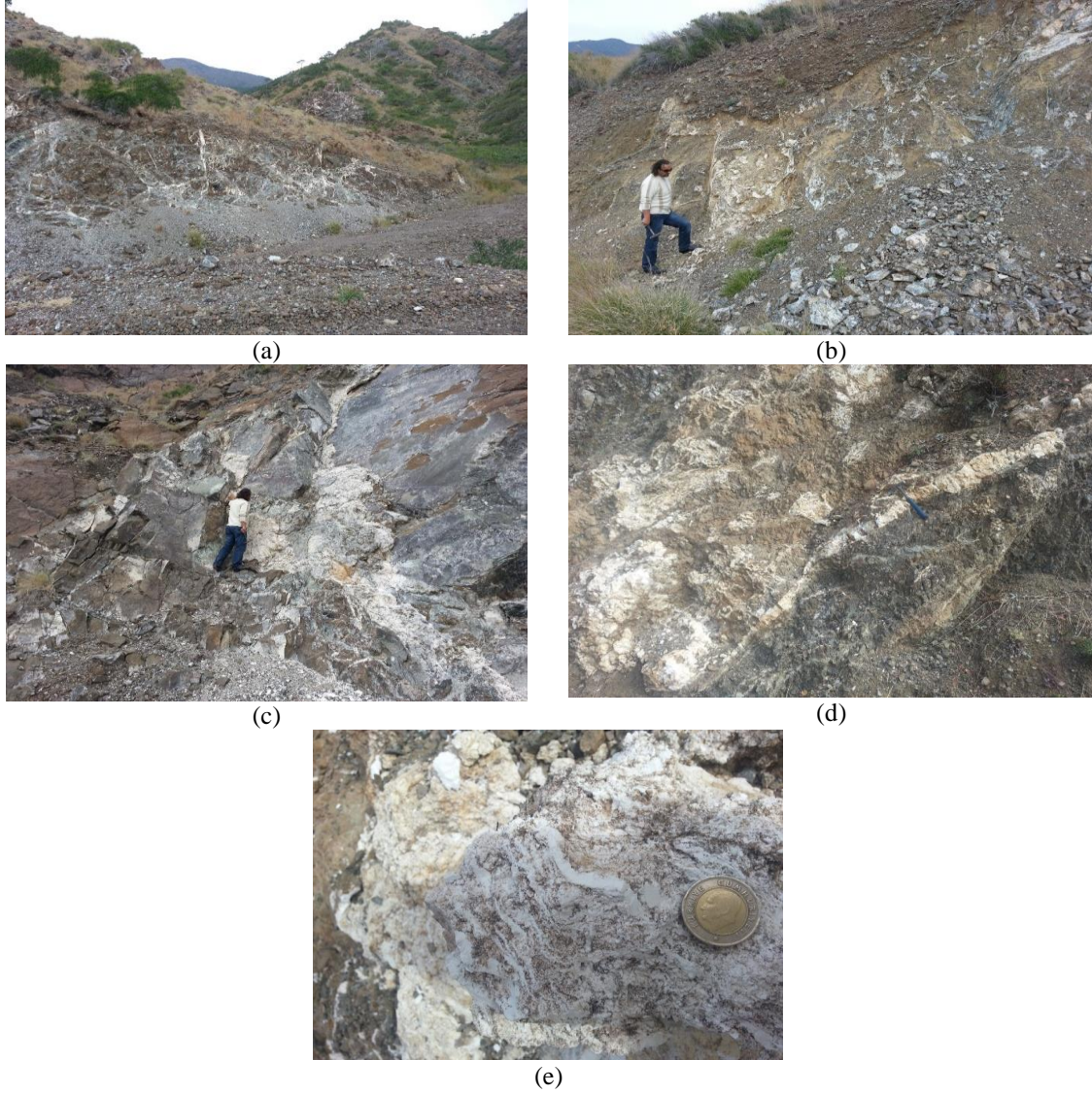
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Arazi Bulguları

Arazi çalışmalarında Hatay bölgesinde 2 adet ağ yapılı manyezit oluşumu tespit edilmiştir. Cevherleşmeler buldukları lokasyonlara HTY1

3.2. XRD Analizleri

Örneklerin analizi sonucunda HTY1 ve HTY 2 lokasyonlarına ait örneklerin manyezit olduğu ancak HTY3 lokasyonuna ait örneklerin dolomit olduğu tespit edilmiştir. Kriptonkristalin manyezitler ultramafiklerin kırık ve çatlaklarına yerleşmiştir. Genellikle beyaz renkli ve dağılgan yapıdadır. Bazı örneklerde küçükte olsa manyezite özgü konkoidal kırınımlar gözlenmiştir (Şekil 4a-j).



Şekil 3. HTY1 (a), HTY2 (b), HTY3 (c), HTY4 (d), HTY5 (e), manyezit örnekleri

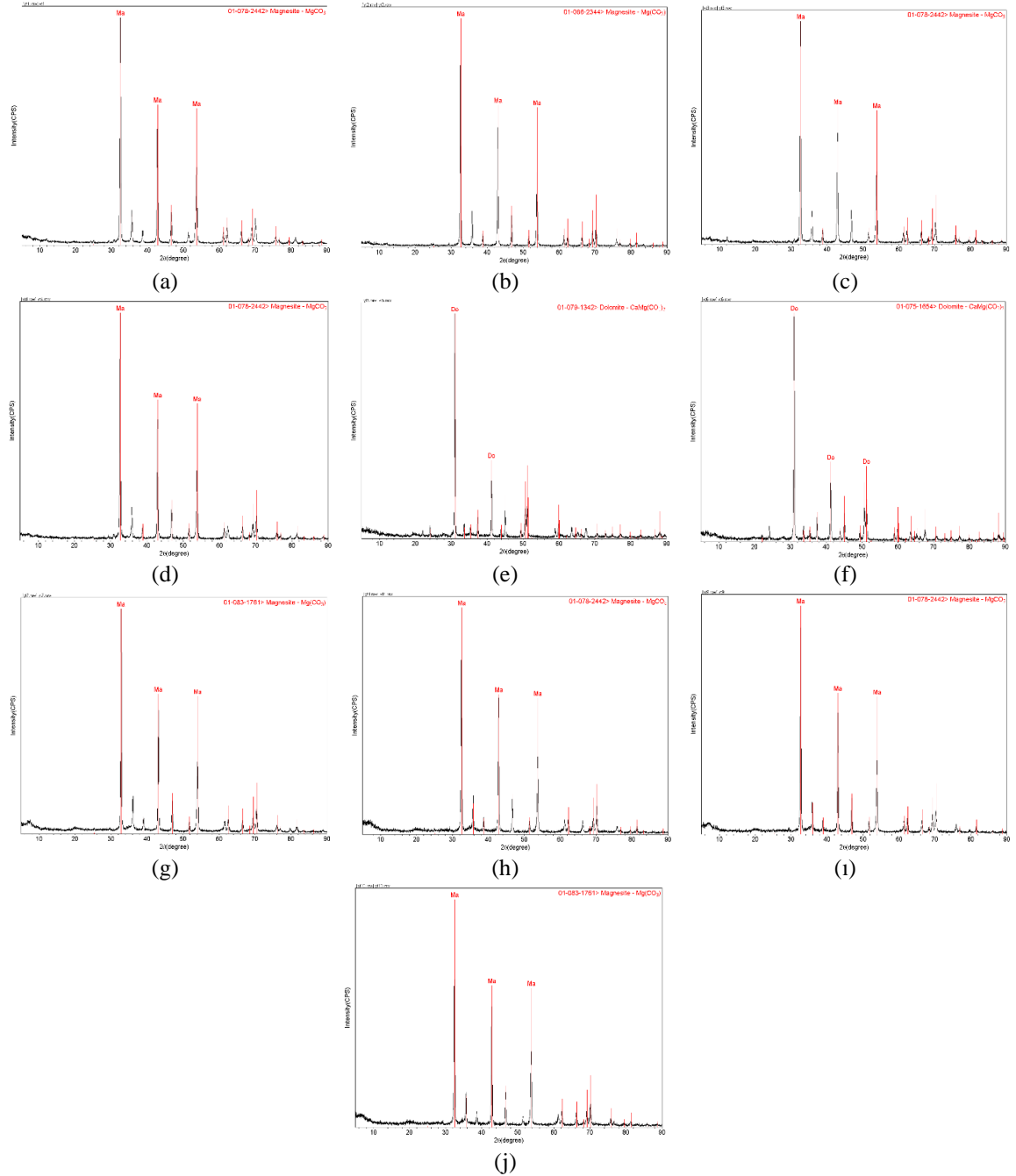
3.3. Ana, İz ve Nadir Toprak Elementleri Analizleri

Manyezit örneklerinin oluşum mekanizması ve kökenlerinin ortaya konması için HTY1 den 4 (1,2,3,4 nolu örnekler), HTY2 den 4 (7,8,9,10 nolu örnekler) ve HTY3 den 2 (5 ve 6 nolu örnekler) toplam 10 adet örnek ACME (Kanada) laboratuvarında analiz edilmiştir (Çizelge 2). Manyezit örneklerinde MgO 41,84- 45,44 ve CaO

1,99-0,51 arasında değer vermekte, dolomit örneklerinde ise MgO 21,71-22,93 ve CaO 23,57-26,10 değerleri arasında yer almaktadır. SiO₂ içeriği CaO ile doğru orantılı MgO ile ters orantılıdır (Çizelge 2). Analizler manyezitlerin dolomitlere oranla diğer elementlerce daha saf yapıda olduğunu ve bünyesine ana nadir ve iz elementleri daha az kabul ettiğini göstermektedir. Dolomitlerde, Hf (0,2-0,3 ppm), Rb (0,4-0,6 ppm), Sr (67,2-68,4 ppm), Zr(6,7-7,2 ppm),

Kızıldağ Ofiyolitleri (Arsuz-Çevlik (Hatay) Civarı) İçinde Gözlenen Manyezit Oluşumlarının Jeolojik-Jeokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

La (0,5-0,7 ppm), Ce (0,5-0,9 ppm), Pr (0,05-0,1 ppm) tespit edilirken, manyezitlerde analiz limitinin altındadır. Buna karşın manyezitler de Co 0,4-3,1 ppm iken dolomitlerde ölçüm limitinin altındadır. Aynı şekilde Ni 198,3-69 ppm arasındayken dolomitlerde en fazla 10,6 ppm'dir.



Şekil 4. 1 (a), 2 (b), 3(c), 4 (d), 5 (e), 6 (g), 7(h), 8(i) ve 9 (j) nolu örneklerin XRD diagramları

Çizelge 2. Ana, iz ve nadir toprak elementleri analiz sonuçları

	Metod	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
	Analiz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
	Birim	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Örnek	Limit	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
1	Rock Pulp	3,33	<0,01	0,16	44,34	1,99	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,006
2	Rock Pulp	2,69	0,02	0,18	45,44	0,51	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,010
3	Rock Pulp	2,95	<0,01	0,15	44,58	1,50	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,008
4	Rock Pulp	3,12	<0,01	0,10	44,14	1,87	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,003
5	Rock Pulp	13,38	<0,01	<0,04	21,71	23,57	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
6	Rock Pulp	8,15	<0,01	<0,04	22,93	26,10	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
7	Rock Pulp	11,03	<0,01	<0,04	41,87	0,86	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
8	Rock Pulp	10,67	<0,01	<0,04	41,84	0,87	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,003
9	Rock Pulp	9,34	<0,01	<0,04	42,52	0,90	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
10	Rock Pulp	10,98	<0,01	<0,04	42,00	0,84	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002

	Metod	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
	Analiz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
	Birim	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Örnek	Limit	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
1	Rock Pulp	3,33	<0,01	0,16	44,34	1,99	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,006
2	Rock Pulp	2,69	0,02	0,18	45,44	0,51	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,010
3	Rock Pulp	2,95	<0,01	0,15	44,58	1,50	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,008
4	Rock Pulp	3,12	<0,01	0,10	44,14	1,87	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,003
5	Rock Pulp	13,38	<0,01	<0,04	21,71	23,57	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
6	Rock Pulp	8,15	<0,01	<0,04	22,93	26,10	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
7	Rock Pulp	11,03	<0,01	<0,04	41,87	0,86	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
8	Rock Pulp	10,67	<0,01	<0,04	41,84	0,87	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,003
9	Rock Pulp	9,34	<0,01	<0,04	42,52	0,90	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002
10	Rock Pulp	10,98	<0,01	<0,04	42,00	0,84	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002

	Metod	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	
	Analiz	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W
	Birim	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Örnek	Limit	1	1	0,2	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,2	0,1	8	0,5
1	Rock Pulp	<1	<1	2,5	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	0,2	<1	7,3	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
2	Rock Pulp	<1	<1	3,1	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	0,4	<1	7,8	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
3	Rock Pulp	<1	<1	2,2	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<1	4,3	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
4	Rock Pulp	<1	<1	2,2	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	0,1	<1	7,3	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
5	Rock Pulp	1	<1	0,5	<0,1	<0,5	0,2	<0,1	0,6	3	67,2	<0,1	0,2	<0,1	12	<0,5
6	Rock Pulp	1	<1	<0,2	<0,1	<0,5	0,3	<0,1	0,4	2	68,4	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
7	Rock Pulp	<1	<1	<0,2	<0,1	1,5	<0,1	<0,1	<0,1	<1	4,3	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
8	Rock Pulp	<1	<1	0,4	<0,1	1,4	<0,1	<0,1	<0,1	<1	7,4	<0,1	<0,2	<0,1	16	<0,5
9	Rock Pulp	<1	<1	0,6	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<1	10,2	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5
10	Rock Pulp	<1	<1	0,8	<0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<1	10,6	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5

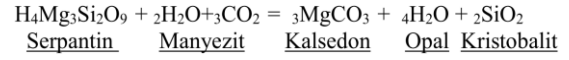
	Metod	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	
	Analiz	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	Birim	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Örnek	Limit	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,3	0,05	0,02	0,05	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01
1	Rock Pulp	2,7	<0,1	0,3	0,2	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
2	Rock Pulp	3,3	<0,1	0,2	0,2	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
3	Rock Pulp	0,9	<0,1	0,2	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
4	Rock Pulp	1,5	<0,1	0,2	0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
5	Rock Pulp	6,7	<0,1	0,7	0,9	0,10	0,4	0,07	<0,02	0,06	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
6	Rock Pulp	9,2	0,1	0,5	0,5	0,05	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	0,02	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
7	Rock Pulp	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
8	Rock Pulp	<0,1	0,2	0,2	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
9	Rock Pulp	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01
10	Rock Pulp	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,02	<0,3	<0,05	<0,02	0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,03	<0,01	<0,05	<0,01

Kızıldağ Ofiyolitleri (Arsuz-Çevlik (Hatay) Civarı) İçinde Gözlenen Manyezit Oluşumlarının Jeolojik-Jeokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Çizelge 2 (Devam)

Metod	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200
Analiz	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se	
Birim	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPM	
Örnek	İmit	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,01	0,1	0,5
1	Rock Pulp	<0,1	0,2	<0,1	<1	80,7	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
2	Rock Pulp	<0,1	<0,1	<0,1	<1	69,0	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
3	Rock Pulp	<0,1	0,2	<0,1	<1	75,4	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
4	Rock Pulp	<0,1	0,2	<0,1	<1	81,8	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
5	Rock Pulp	<0,1	0,1	<0,1	<1	9,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
6	Rock Pulp	<0,1	0,1	<0,1	<1	6,8	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
7	Rock Pulp	<0,1	0,3	<0,1	<1	112,5	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
8	Rock Pulp	<0,1	0,6	<0,1	<1	146,4	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
9	Rock Pulp	<0,1	0,5	<0,1	<1	78,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5
10	Rock Pulp	<0,1	0,6	<0,1	<1	198,3	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5

3.4. İzotop Analizleri



Serpantinler içinde manyezit oluşumları kısaca aşağıdaki formülle ifade edilir. Serpantinlerin su ile alterasyonu sonucu manyezitler oluşmaktadır. Burada önemli nokta suyun kökenidir.

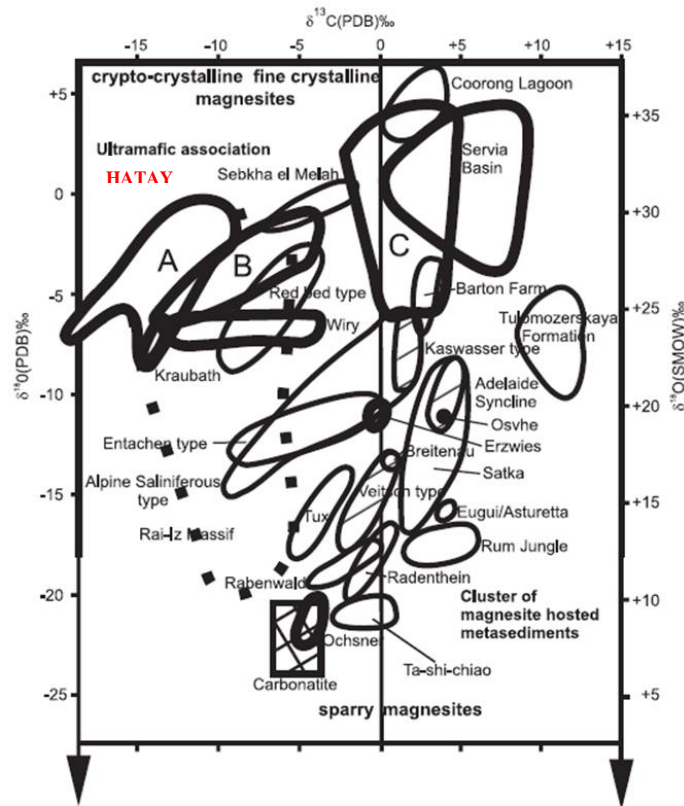
Örneklerin $\delta^{13}C_{V-PDB}$ (%) değerlerinin -13,77 ve -10,43 ve $\delta^{18}O_{V-PDB}$ (%) değerlerinin ise -1,71-0,67 aralığında değiştiği görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Örneklerin $\delta^{13}C_{V-PDB}$ (‰) ve $\delta^{18}O_{V-PDB}$ (‰) izotop sonuçları

Örnek	Sonuç	Mean	Sonuç	Mean
Numarası	$\delta^{13}C_{V-PDB}$	$\delta^{13}C_{V-PDB}$	$\delta^{18}O_{V-PDB}$	$\delta^{18}O_{V-PDB}$
	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
1	-13,69		0,04	
1	-13,69	-13,69	-0,14	-0,05
2	-12,27		-0,63	
2	-12,23	-12,25	-0,44	-0,54
3	-13,78		-0,17	
3	-13,76	-13,77	-0,08	-0,12
4	-13,76		-0,26	
4	-13,70	-13,73	-0,11	-0,19
5	-13,12		-1,78	
5	-13,11	-13,11	-1,63	-1,71
6	-12,87		-1,45	
6	-12,88	-12,87	-1,51	-1,48
7	-11,08		0,46	
7	-11,05	-11,06	0,88	0,67
8	-11,10		0,58	
8	-11,15	-11,12	0,47	0,52
9	-11,09		0,63	
9	-11,15	-11,12	0,39	0,51
10	-10,44		0,51	
10	-10,43	-10,43	0,19	0,35
ORTALAMA		-12,32		-0,20

Örneklerin $\delta^{13}\text{C}$ -PDB (‰) ve $\delta^{18}\text{O}$ -PDB (‰) izotop sonuçlarının diğer manyezit yataklarıyla karşılaştırılması sonucu (Şekil 5) Hatay bölgesi manyezitlerinin ultramafiklerin alterasyonu ile oluşan yataklara uyumlu olduğu gözlenmiştir. Sedimanter manyezit oluşumları, ultramafikler içindeki manyezitlere oranla daha yüksek ^{13}C değeri vermektedir. Hatay bölgesi manyezitlerinin ortalama $-12,32$ $\delta^{13}\text{C}$ -PDB (‰)

değeri sedimanter manyezit oluşumlarından ayrılmaktadır. Düşük $\delta^{18}\text{O}$ -PDB (‰) değeri manyezitlerin oluşumunda etkili olan suyun kökenini meteorik sular olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında bulunan manyezitler meteorik suyun ultramafikler içinde dolaşımı sırasında oluşturduğu alterasyon sonucu oluşmuştur. Bu nedenle manyezitler kırık, çatlak zonları boyunca yer almaktadır.



Şekil 5. Manyezit oluşumlarının $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ diyagramları [33-38]

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Hatay ili Samandağ ilçesi İskenderun ilçesi arasında yüzlek veren Kızıldağ ofiyolitinin ultramafik kayaçları içinde gelişen kırık ve çatlaklar içinde gözlenen ekonomik açıdan değerli manyezitlerinin (MgCO_3) oluşum mekanizması ve kökenini tespit etmek için tüm kaya jeokimyası ve izotop çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. Manyezit oluşumlarının ultramafik kayaçlar içinde kırık çatlak zonları boyunca gelişmiş ve ağsal yapı sunmaktadır. Manyezitler kriptokristalin ve ince damar şekilli olup kalınlıkları ince damarlar 1-3 mm ve kalın damarlar 15-25 cm arasında değişmektedir. Oluşumlar daha çok dağınık pekişmemiş yapı sunarken kısmi olarak konkoidal kırınımlar sunan masif oluşumlar gözlenmektedir.

2. XRD analizleri HTY₁ ve HTY₂ lokasyonlarına ait örneklerin manyezit olduğu ancak HTY₃ lokasyonuna ait örneklerin dolomit olduğunu göstermektedir.
3. Tüm kaya jeokimyası analizleri manyezitlerin dolomitlere oranla diğer elementlerce daha saf yapıda olduğunu ve bünyesine ana-, iz ve toprak elementleri daha az kabul ettiğini göstermektedir.
4. İzotop analizleri sonucunda düşük δ- 18OV-PD (%) değeri manyezitlerin oluşumunda etkili olan suyun kökenini meteorik sular olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanında bulunan manyezitler meteorik suyun ultramafikler içinde dolaşımı sırasında oluşturduğu alterasyon sonucu oluşmuştur. Bu nedenle manyezitler kırık, çatlak zonları boyunca yer almaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından AMYOBAP2013-0001 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Barnes, I., O'neil, J.R., 1969. The Relationship between Fluids in Some Fresh Alpine-Type Ultramafics and Possible Modern Serpentinization, Western United States. GSA Bulletin, 80(10), 1947-60.
2. Dabitzias, S.G., 1980. Editor Additional Evidence and a Synopsis on the Origin of the Magnesite Deposits in the Vavdos District, Northern Greece Conference Proceedings of an International Symposium on Metallogeny of Mafic and Ultramafic Complexes: The Eastern Mediterranean-western Asia Area, and its Comparison with Similar Metallogenic Environments in the World; Athens (Greece): UNESCO.
3. Kuzvart, M., 1954. Industrial Minerals and Rocks, London: Elsevier, 445.

4. Evans, A.M., 1993. Ore Geology and Industrial Minerals, London: Blachwell Sci. Publ., Australia, 403.
5. Al-Riyami, K., Robertson, A., 2002. Mesozoic Sedimentary and Magmatic Evolution of the Arabian Continental Margin, Northern Syria: Evidence from the Baer-Bassit Melange, Geol Mag., 139(4), 395-420.
6. Chan, G.H.N., Malpas, J., Xenophontos, C., Lo, C.H., 2007. Timing of Subduction Zone Metamorphism During the Formation and Emplacement of Troodos and Baer-Bassit Ophiolites: Insights from Ar-40-Ar-39 Geochronology, Geol Mag., 144(5), 797-810.
7. Tekeli, O., Erendil, M., 1986. Kızıldağ Ofiyolitinin (Hatay) Jeoloji ve Petrolojisi. MTA Bülleten, 107, 33-48.
8. Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., 1993. Ophiolitic and Metamorphic Assemblages of Southeast Anatolia and Their Significance in the Geological Evolution of the Orogenic Belt. Tectonics, 12(5), 1280-97.
9. Yılmaz, Y., 2019. Southeast Anatolian Orogenic Belt Revisited (geology and evolution). Canadian Journal of Earth Sciences, 56(11), 1163-80.
10. Dean, W.T., Monod, O., Perinçek, D., 1981. Correlation of Cambrian and Ordovician Rocks in Southeastern Turkey. Petroleum Activities at the 100th Year (100 Yılda Petrol Faaliyeti). Türkiye Cumhuriyet Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi, 25, 269-91.
11. Yalçın, N., 1980. Amanosların Litolojik Karakterleri ve Güneydoğu Anadolu'nun Tektonik Evrimindeki Anlamı, Türkiye Jeoloji Bülteni, 23(1), 21-30.
12. Yılmaz, Y., 1984. Amanos Dağlarının Jeolojisi (Vol. 1-4): Rapor No. 1920, 591. Ankara: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı; Report No: 1920, Contract No: 1920.
13. Aslaner, M., 1973. İskenderun Kırıkhan Bölgesindeki Ofiyolitlerin Jeoloji ve Petrografisi, Ankara, 150.
14. Atan, O., 1969. Geology of the Amanos Mountains (Egribucak-Karacaoren-Ceylanlı-Dasevleri). Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) Publication, 139.
15. Dilek, Y., Thy, P., 2009. Island Arc Tholeiite to Boninitic Melt Evolution of the Cretaceous

- Kizildag (Turkey) Ophiolite: Model for Multi-stage Early Arc-forearc Magmatism in Tethyan Subduction Factories. *Lithos*, 113 (1-2), 68-87.
16. Tinkler, C., Wagner, J.J., Delaloye, M., Selcuk, H., 1981. Tectonic History of the Hatay Ophiolites (South Turkey) and Their Relation with the Dead-sea Rift, *Tectonophysics*, 72 (1-2), 23-41.
 17. Dilek, Y., Delaloye, M., 1992. Structure of the Kizildag Ophiolite, a Slow-spread Cretaceous Ridge Segment North of the Arabian Promontory, *Geology*, 20(1), 19-22.
 18. Dilek, Y., Thy, P., 1998. Structure, Petrology and Seafloor Spreading Tectonics of the Kizildag Ophiolite, Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 148(1), 43-69.
 19. Bağcı, U., Parlak, O., Hock, V., 2008. Geochemistry and Tectonic Environment of Diverse Magma Generations Forming the Crustal Units of the Kizildag (Hatay) Ophiolite, Southern Turkey, *Turk J Earth Sci.* 17(1), 43-71.
 20. Bağcı, U., Parlak, O., Höck, V., 2005. Whole-rock and Mineral Chemistry of Cumulates from the Kizildag (Hatay) Ophiolite (Turkey): Clues for Multiple Magma Generation During Crustal Accretion in the Southern Neotethyan Ocean. *Mineral Mag.*, 69(1), 53-76.
 21. Dilek, Y., Eddy, C.A., 1992. The Troodos (Cyprus) and Kizildag (S Turkey) Ophiolites as Structural Models for Slow-spreading Ridge Segments, *J Geol.*, 100(3), 305-22.
 22. Dilek, Y., Moores, E.M., Delaloye, M., Karson, J.A., 1991. Amagmatic Extension and Tectonic Denudation in the Kizildag Ophiolite, Southern Turkey: Implications for the Evolution of Neotethyan Oceanic Crust. In: Peters BJ, editor. *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*, 485-500.
 23. Erendil, M., 1984. Petrology and Structure of the Upper Crustal Units of the Kizildag Ophiolite, Petrology and Structure of the Upper Crustal Units of the Kizildag Ophiolite, In: Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C., Editors. *Geology of the Taurus Belt*. Ankara: Mineral Research and Expolaration Institute of Turkey (MTA), 269-84.
 24. Pişkin, Ö., Delaloye, M., Moritz, R., Wagner, J.J., 1990. Geochemistry and Geothermometry of the Hatay Complex Turkey: Implication for Genesis of the Ophiolite Sequence. *Proceedings of Troodos Ophiolite Symposium; Cyprus: Geological Survey of Cyprus*.
 25. Selçuk, H., 1981. *Étude Géologique de la Partie Méridionale du Hatay (Turquie) 1981*.
 26. Dilek, Y., Thy, P., Hacker, B., Grundvig, S., 1999. Structure and Petrology of Tauride Ophiolites and Mafic Dike Intrusions (Turkey): Implications for the Neotethyan Ocean. *Geol Soc Am Bull.*, 111(8), 1192-216.
 27. Lytwyn, J.N., Casey, J.F., 1993. The Geochemistry and Petrogenesis of Volcanics and Sheeted Dikes from the Hatay (Kizildag) Ophiolite, Southern Turkey: Possible Formation with the Troodos Ophiolite, Cyprus, Along Fore-arc Spreading Centers. *Tectonophysics*, 223(3-4), 237-72.
 28. Bağcı, U., Parlak, O., Höck, V., 2008. Geochemistry and Tectonic Environment of Diverse Magma Generations Forming the Crustal Units of the Kızıldağ (Hatay) Ophiolite Southern Turkey, *Turk J Earth Sci.*, 17(null), 43-71.
 29. Karaoğlan, F., Parlak, O., Klötzli, U., Thöni, M., Koller, F., 2012. U-Pb and Sm-Nd Geochronology of the Kızıldağ (Hatay, Turkey) Ophiolite: Implications for the Timing and Duration of Suprasubduction Zone Type Oceanic Crust Formation in the Southern Neotethys. *Geol Mag.*, 150(02), 283-99.
 30. Dubertret, L., 1955. *Carte Géologique du Liban au 1/200000 Avec Notice Explicative*. Ministire des Travaux Public, Beyrouth, 74.
 31. Panayiotou, A., 1980. *Ophiolites: Proceedings: Republic of Cyprus, Ministry of Agriculture and Natural Resources*.
 32. Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A., 2011. 1:1.250.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve

- Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
33. Kralik, M., Aharon, P., Schroll, E., Zachmann, D., 1989. Carbon and Oxygen Isotope Systematics of Magnesites: a Review. Monograph Series on Mineral Deposits 28: 197-223; Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 113.
 34. Schroll, E., 1997. Abschnitt v: Geochemische und Geochronologische Daeten und Erlduterungen. In: Weber, L., Handbuch der Lagerstddten der Erze und Industriemineraler und Energierohstoffe Österreichs, Archiv Lagerstddtenforsch., GBA Wien, 19, 395-542.
 35. Schroll, E., Andras, P., Chovan, M., 1999. A First Attempot to Geochemically Compare ore Deposits of the Western Carphatians and Eastern Alps, Geocological Carpatica, Special Issue, Bratislava, 50, 192-194,
 36. Fallick, A.E., Ilich, M., Russel, M.J., 1991. A Stableisotope Study of the Magnesite Deposits Associated with the Alpine-type Ultramafic Rocks of Yugoslavia, Econ. Geol., 86, 847-861.
 37. Zedef, V., Russel, M.J., Fallick, A.E., 2000. Genesis of Vein Stockwork and Sedimentary Magnesite and Hydromagnesite Deposits in the Ultramafic Terrain of Southwestern Turkey, A Stable Isotope Study, Econ, 95, 429-445.
 38. Melezhik, V.A., Fallick, A.E., Medvedev, P.V., Makarikhin, V.V., 2001. Paleoproterozoic Magnesite: Lithological and Isotopic Evidence for Playa/sabkha Environments, Sedimentology, 48, 379-397.

Yapım İşlerinde Çalışanların Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımına Etki Eden Faktörler

Şahin Tolga GÜVEL*¹, Emel LAPTALI ORAL²

¹Osmaniye Korkutata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 24.02.2021 Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

İnşaat sektörü, iş kazalarının çok görüldüğü sektörler arasında yer almaktadır. İş kazalarının önlenmesi için; işyerinin risk değerlendirme raporuna göre belirlenecek uygun kişisel koruyucu donanımın (KKD) çalışanlar tarafından kullanılması önemlidir. Bu çalışmada inşaat sektöründe çalışanların KKD kullanımlarına etki eden faktörler ele alınmıştır. Bu amaçla yapılan anket çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak yapılan analizler sonucunda, bu faktörlerin KKD kullanımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, İnşaat sektörü, KKD kullanımı, İş kazası

Factors Affecting Personal Protective Equipment Usage of Construction Workers

Abstract

Construction is one of the infamous sectors in occupational accidents. Personal protective equipment (PPE) usage which is determined by the risk evaluation report of construction site is a very important factor in preventing occupational accidents. On this study, factors affecting construction workers' PPE usage were examined through a questionnaire survey and analysis of the collected data.

Keywords: Occupational health and safety, Construction sector, PPE usage, Work accident

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Şahin Tolga GÜVEL, stolgaguvel@yahoo.com

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü; yapım sürecinde birbirinden farklı ekiplerin işin ilerleyişine bağlı olarak sürekli yer değiştirerek çalışmaları, bu süreç boyunca yapının sürekli değişiminden kaynaklı iş ile ilgili risklerin sürekli değişmesi nedeniyle çalışma ortamı güvenliğinin sağlanmasının çok zor olduğu bir sektördür. Buna ek olarak iş devrinin yoğun olması sebebiyle sık ekip değişimi yaşanması da iş kazası riskini arttıran başka bir faktördür. İş kazalarının önlenmesinde asıl hedef ortam güvenliğini toplu koruma yöntemleri ile sağlamak olmakla birlikte, bunun mümkün olmadığı yerlerde iş kazalarının önlenmesi için en etkili yöntem, çalışanların işe uygun KKD kullanımınıdır.

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili Türkiye’de çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunudur. Bu kanuna dayanılarak; 2012 yılı sonrasında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili peyder pey düzenlemeler yapılmıştır. Yürürlüğe giren yasal düzenlemeler yeterli görünmektedir. Ancak yapılan araştırmalarda, yasal mevzuatın inşaat sektöründe beklenen seviyede uygulanmadığı görülmektedir [1-9]. İnşaat sektörü; kendine ait şartları ve yasal mevzuatla getirilen düzenlemelere hazır olmaması sebebiyle, iş kazaları yönünden halen en riskli sektörler arasındadır. İş sağlığı ve güvenliği yönünden inşaat sektörünün istenen düzeye gelmesi zaman alacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İş kazaları ve çalışanların KKD kullanımı ile ilgili çeşitli faktörler, bir çok araştırmada incelenmiştir. Literatür bulgularına göre işyerlerinde KKD kullanımı iş güvenliğine verilen önemin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. İş kazası geçirme açısından riski en yüksek grup olarak da KKD kullanmayan çalışanlar görülmektedir. Dorji ve Hadikusomo [1] tarafından Hong Kong’da yapılan bir çalışmada; baret kullanım oranı %87,5; eldiven kullanım oranı %80; gözlük kullanım oranı %77,5; ayakkabı kullanım oranı %70; yüz koruyucu kullanım oranı %56; emniyet kemeri kullanım oranı %50; solunum maskesi kullanım oranı %37,5;

kulak tıkacı kullanım oranı %20 olarak belirlenmiştir. Türkiye’de yapılan bir çalışmada, çalışanların iş güvenlikleri için emniyet kemeri, baret ve eldiven kullanması oranı %46, kullanmaması oranı %46 seviyesinde görülmüştür. %8 oranında çalışanın bu konu ile ilgili fikri bulunmamaktadır. Kuruoğlu ve arkadaşları [2] tarafından yapılan araştırmada iş güvenliği ve sağlığı risk değerlendirmesinde KKD kullanımına kesinlikle katılmayan çalışanlar, en riskli gruplar arasında tespit edilmiştir.

İş güvenliğinin sağlanmasında en önemli etkenlerden biri denetimdir. Laitinen ve Ruohomaki [3] tarafından Finlandiya’da bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada performans yönetimine bağlı bir hafta süreli denetim yönteminden sonra iki inşaat şantiyesinde denetmenlerin ve çalışanların iş güvenliği uygulama seviyesi gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonunda elde edilen geri bildirimlerle birinci şantiyede indeks seviyesinin %60’dan %89’a, ikinci şantiyede indeks seviyesinin %67’den %91 düzeyine çıktığı tespit edilmiştir. Dikmen vd. [4] tarafından yapılan araştırmada Türkiye inşaat sektöründe yer alan uygulamalarla alakalı yapılan çalışmaya göre, inşaat projelerinin yalnız %42,3’ünün iş sağlığı ve güvenliği konusunda resmi kurumlar tarafından denetim gördüğü tespit edilmiştir.

Yapılan araştırmalara göre iş güvenliği eğitiminin verilmesi oranı yükseldikçe, iş kazasının meydana gelme riski azalmaktadır. Ancak iş güvenliği ile ilgili eğitim verilmesi oranı çok düşük seviyededir. Zhou ve arkadaşları [5] tarafından yapılan bir araştırmaya göre; iş güvenliğinin sağlanmasında en etkili ilk dokuz faktör arasında ikinci sırada iş güvenliği danışmanlığı ve eğitimi yer almaktadır. Hassanein ve Hanna [6] tarafından yapılan diğer bir çalışmada firmaların %20’sinin işçileri gayri resmi oryantasyon eğitimi ile işe aldığı, diğer %20 firmanın, çalışanlarına resmi oryantasyon eğitimi verdiği, işçilerin %60’ına ise hiç oryantasyon eğitimi verilmediği belirlenmiştir. Şirket içi iş sağlığı ve güvenliği eğitimi, kişisel sağlık ve güvenliğin korunmasına yardım etmektedir ve firmayı kişisel güvenlikten dolayı ortaya çıkacak olumsuzluklara karşı korumaktadır. Ho ve Dzen,

[7] tarafından iş güvenliği eğitiminin etkileri üzerine yapılan bir araştırmada; iş güvenliği eğitiminin iş kazalarını azaltmada yararlı olduğu, 2001 yılı ile 2008 yılı arasında iş güvenliği eğitimine bağlı iş kazalarında %14,57'lik azalma olduğu tespit edilmiştir. Fakat aynı araştırma sonuçları işçilerin %67,82'sinin iş güvenliği eğitimi almadığını göstermektedir. Metinsoy ve Müngen [8] tarafından yapılan bir başka anket çalışmasının neticeleri de, iş güvenliği eğitimi ile ilgili bir çok eksikliğin olduğunu göstermektedir. İşçilerin çoğunun detaylı bir eğitimi bulunmamaktadır. Dikmen ve arkadaşları [4] tarafından yapılan bir anket çalışmasında alınan cevaplarda şirket içi eğitimlerin periyodik olarak verilmesi %50 seviyesinde iken, şirket içi eğitim verilmemesi %34 seviyesindedir. Yanıtların %97'si yeni çalışanlara mutlaka iş sağlığı ve güvenliği eğitimi verildiği yönündedir. Etkin bir iş güvenliği eğitimi ile kaza sayılarında büyük ölçüde azalma sağlanabileceği düşünülmektedir. Demirkesen ve arkadaşları [9] tarafından yapılan araştırmada Amerikan İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi'nin (OSHA) 2000–2007 yılı kayıtlarına göre, düzenli olarak yürütülen iş güvenliği eğitimleri ile iş kazaları sonucu meydana gelen ölüm, yaralanma ve hastalık oranlarında düşüş sağlandığı gözlemlenmektedir.

Siu ve arkadaşları [10] tarafından Hong Kong inşaat işçilerinin yaşa bağlı iş güvenliği performansını değerlendiren çalışmaya göre; kazalar ile çalışan yaşı arasında bir bağlantı olmamakla birlikte, kişisel yaralanmalar ile çalışan yaşı arasında eğrisel bir bağlantı bulunmaktadır. Yaşı daha fazla olan çalışanlar, genç çalışanlara göre iş güvenliği gereklerine daha olumlu yaklaşmakta ve deneyime bağlı olarak kaza oranı da azalmaktadır. Manisalı ve arkadaşları [11] tarafından Türkiye'de yapılan bir araştırmada 2002 ve 2005 yılları arasında ölümlü iş kazalarının yaşlara göre dağılımını incelenmiş, en çok ölümlü iş kazası ile karşılaşılan grup olarak 30-34 yaş grubu tespit edilmiştir. Bu gruptan sonra sırası ile 25-29 yaş, 35-39 yaş ve 40-44 yaş grupları gelmektedir. Sürekli iş göremezlikle sonuçlanan iş kazalarında çalışan yaş dağılımına göre en çok sürekli iş göremezlik ile karşılaşılan grup olarak 35-39 yaş grubu görülmektedir. Bu yaş grubunu 30-34

yaş, 40-44 yaş ve 25-29 yaş grupları takip etmektedir. İş kazaları ile çalışan yaşı arasında net bir bağlantı bulunmamakla birlikte, genel olarak çalışan yaşının artması ile iş kazası geçirme oranının düştüğü görülmektedir.

Yapım işlerinde çalışanların KKD kullanımını etkileyen birçok faktör bulunmakla birlikte bu çalışmada; çalışan yaşı, iş güvenliği eğitimi ve iş güvenliği denetim sıklığı faktörlerinin, KKD kullanımına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla yapılan anket çalışmasıyla ulaşılan sonuçlar, SPSS istatistik programıyla analiz edilerek, söz konusu faktörlerin KKD kullanımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, çalışanların KKD kullanımına etki eden faktörleri belirlemek amacıyla; Türk inşaat sektöründe İSG uygulamalarını konu alan bir doktora çalışmasına ait anket formu kullanılmıştır [12]. Hazırlanan anketler 2013 yılı Ocak ve Nisan ayları arasındaki dönemde Türkiye genelinde dağıtılmıştır. 2013 yılı Temmuz ayına kadarki dönemde toplam 234 adet anketten değerlendirmeye uygun geri dönüş alınmıştır. Anket çalışmasından sağlanan sonuçlar, geçmişte yapılan çalışmaların verileri ve yasal mevzuat dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca anket sonuçlarının, SPSS paket programı kullanılarak ANOVA ve Ki Kare analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yapım işlerinde çalışanların KKD kullanımına etki eden faktörler belirlenmeye çalışılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yaş Dağılımı

Ankete katılan grupların yaş dağılımlarının verildiği Çizelge 1 incelendiğinde; katılımcıların en fazla 25 ile 34 yaş arasında olduğu görülmekle birlikte, 50 yaş üstü çalışan oranındaki hızlı düşüş ve özellikle 60 yaş ve üzerindeki %0,43'lük oran inşaat sektöründeki çalışma şartlarının, bedensel güç gerektiren ağır iş grubu olmasının bir göstergesi kabul olarak edilebilir.

Çizelge 1. Yaş dağılımı

Sıra no	Yaş dağılımı	Katılımcı sayısı	Oranı (%)
1	18-19 Yaş	3	1,28
2	20-24 Yaş	17	7,42
3	25-29 Yaş	41	17,52
4	30-34 Yaş	48	20,51
5	35-39 Yaş	39	16,67
6	40-44 Yaş	35	14,96
7	45-49 Yaş	27	11,54
8	50-54 Yaş	13	5,56
9	55-59 Yaş	5	2,14
10	60 Yaş ve Üzeri	1	0,43
11	Belirtilmemiş	5	2,14
	TOPLAM	234	100,00

4.2. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) Kullanımı

Çalışanlar işyerinde kendilerine verilen KKD'leri kullanmakla, işverenler çalışanlara yapılan işle ilgili KKD'leri kullanılmakla sorumludurlar (Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliği, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği) [13-16]. İnşaat işlerinde genel teamül; tüm çalışanlar tarafından baret ve iş ayakkabısının inşaat sahası içinde kullanılması şeklindedir. Diğer KKD'ler ise, yapılan işe, saha şartlarına ve risk değerlendirmeye göre belirlenmektedir (Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik) [13].

Anket sonuçlarına göre; çelik burunlu iş ayakkabısı kullanımı %68,80, çalışanların baret kullanımı %67,95, KKD'yi hiç kullanmayanların ise %7,26 seviyesinde olduğu görülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Örneklerin KKD kullanım oranları

Sıra no	KKD	Kullanan sayısı	Oranı (%)
1	İş Ayakkabısı	161	68,80
2	Koruyucu Eldiven	160	68,38
3	Baret	159	67,95
4	Yelek	130	55,56
5	Toz Maskesi	102	43,59
6	Koruyucu Gözlük	101	43,16
7	Emniyet Kemer	91	38,89
8	Hiçbiri	17	7,26
	TOPLAM	234	100,00

4.3. İş Güvenliği Denetimleri

İş güvenliği ile ilgili denetimleri yapmak işverenin sorumlulukları arasında yer almaktadır. İşveren, kendine ait bu sorumluluğu iş güvenliği uzmanları aracılığıyla gerçekleştirebilir. İş güvenliği uzmanlarından, görev aldıkları işyerindeki iş güvenliği denetimlerini yasal mevzuata uygun olarak yapmaları beklenmektedir (İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, Yapı Mütahhitlerinin Sınıflandırılması ve Kayıtlarının Tutulması Hakkında Yönetmelik, Şantiye Şefleri Hakkında Yönetmelik, İş Güvenliği Uzmanlarının Görev Yetki Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik) [15-19].

Mevzuatın gerekliliklerine karşılık, ankete katılanların çalıştıkları şantiyelerde iş güvenliği denetimleri incelendiğinde; şantiyelerin %14,53'ünde mevzuata uygun iş güvenliği denetimi hiç yapılmazken, günlük iş güvenliği denetim oranının yalnızca %44,44 seviyesinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Şantiyede İSG denetim sıklığı

Sıra no	İSG denetim sıklığı	Katılımcı sayısı	Oranı (%)
1	Yapılmıyor	34	14,53
2	Günlük	104	44,44
3	Haftalık	50	21,37
4	Aylık	36	15,38
5	Belirtilmemiş	10	4,27
	TOPLAM	234	100,00

4.4. İş Güvenliği Eğitimleri

İşverenler çalışanlara; işe başlamalarından önce, iş veya çalışma yerinde değişiklik olduğunda, iş ekipmanları değiştiğinde, yeni bir teknoloji uygulandığı zaman ve çok tehlikeli sınıf içinde bulunan işlerde senede en az bir kez iş güvenliği eğitimi verilmesi ile sorumludurlar (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik).

Anket sonuçlarına göre yapım işlerinde çalışanlara iş güvenliği eğitimi verilmesi oranları; işe başlanmasından önce %67,52, çalışma yerinde değişik olduğunda %10,26, yeni makine gelince %13,25 olarak görülmektedir. Senede en az bir kez eğitim verilmesi oranı ise; her 6 ayda 1 defa %10,68 ve yılda 1 defa %1,71 olmak üzere toplamda %12,39 olarak hesaplanmaktadır. (Çizelge 4).

Çizelge 4. İSG eğitimi verilme zamanı

Sıra no	İSG eğitim verilme zamanı	Katılımcı sayısı	Oran (%)
1	İşbaşı Öncesinde	158	67,52
2	Verilmez	32	13,68
3	Yeni Makine Gelince	31	13,25
4	Her 6 Ayda 1 Defa	25	10,68
5	Yer Değişiminde	24	10,26
6	İşbaşı Sonrasında	18	7,69
7	Belirtilmemiş	6	2,56
8	Yılda 1 Defa	4	1,71
	TOPLAM	234	100,00

4.5. Hipotez Testleri

4.5.1. Çalışan Yaşının KKD Kullanımına Etkisi

Çalışanların yaşı ile KKD kullanımı arasındaki ilişki, Anova testi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışan yaşının KKD kullanımına etkisi ile ilgili hipotezler aşağıda verilmiştir.

H₀: Çalışanların yaşı ile KKD kullanımları arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

H₁: Çalışanların yaşı ile KKD kullanımları arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Yukarıda belirtilen H₀ hipotezi öncelikle tüm grupların cevaplarının toplamı baz alınarak daha sonra da 5 grup ayrı ayrı ele alınarak test edilmiştir.

Çalışmanın üçer yaş aralıklı oluşturulan dağılım tabloları, çalışan yaşının KKD kullanımına etkisinin olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5'de görüldüğü gibi Sig (p) değeri 0,596 %95 güven aralığında değerlendirildiğinde 0,05 değerinden büyük olduğu için H₀ hipotezi kabul edilerek çalışanların yaşı ile KKD kullanımları arasında anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 5. Çalışan yaşının KKD kullanımına etkisi

ANOVA	Kareler toplamı	df	Ort. kare	F	Mem.
Gruplar Arasında	3,045	14	0,218	0,866	0,596
Gruplar İçinde	53,723	214	0,251		
Toplam	56,769	228			

4.5.2. İSG Eğitiminin KKD Kullanımına Etkisi

İSG eğitiminin verilmesi ile KKD kullanımı arasındaki ilişki, Ki Kare testi kullanılarak analiz edilmiştir. İSG eğitiminin KKD kullanımına etkisi ile ilgili hipotezler aşağıda verilmiştir.

H₀: Çalışanlara iş güvenliği eğitiminin doğru zamanda verilmesi ile KKD kullanımları arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

H₁: Çalışanlara iş güvenliği eğitiminin doğru zamanda verilmesi ile KKD kullanımları arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Çizelge 6'da verilen test sonuçları incelendiğinde (Sig. (p) 0,15>0,05) %95 güven aralığında, çalışanlara iş güvenliği eğitiminin doğru zamanda (işbaşı öncesinde, yeni makine kullanımında, yer değişiminde ve en az yılda bir defa) verilmesinin KKD kullanımını etkilemediği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 6. İSG eğitiminin KKD kullanımına etkisi

	Gözlemlenen N	Beklenen N	Kalan
1*	128	117,0	11,0
2*	106	117,0	-11,0
Toplam	234		
	KKD Kullanımı		
Test İstatistiği	Ki-kare(a)	2,068	
	df	1	
	Asimp.Mem.	0,150	

a 0 hücre (0%) 5'den düşük beklenen frekansa sahiptir. Beklenen en düşük hücre frekansı 117,0'dır.

1: KKD kullanma

*1: Eğitimin doğru zamanlarda verilmesi

2: KKD kullanmama

*2: Eğitimin doğru zamanlarda verilmemesi

4.5.3. İSG Denetim Sıklığının KKD Kullanımına Etkisi

İSG denetim sıklığı ile KKD kullanımı arasındaki ilişki, Anova testi kullanılarak analiz edilmiştir. İSG denetim sıklığının KKD kullanımına etkisi ile ilgili hipotezler aşağıda verilmiştir.

H₀: İş güvenliği ile ilgili denetimin sıklığıyla çalışanların KKD kullanmaları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

H₁: İş güvenliği ile ilgili denetimin sıklığıyla çalışanların KKD kullanmaları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

İş güvenliği ile ilgili denetimin sıklığının, çalışanların KKD kullanımı üzerine etkisi incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (Çizelge 7 (a) ve (b)):

İş güvenliği ile ilgili denetimin yapılmadığı yerlerde, denetimin günlük olarak yapıldığı işyerlerine kıyasla daha az (mean difference 0,46947) KKD kullanılmaktadır.

İş güvenliği ile ilgili denetimin yapılmadığı yerlerde, denetimin haftalık olarak yapıldığı işyerlerine kıyasla daha az (mean difference 0,29532) KKD kullanılmaktadır.

İş güvenliği ile ilgili denetimin yapılmadığı yerlerle denetimin aylık olarak yapıldığı yerler arasında, KKD kullanım oranları yönünden belirgin bir fark bulunmamaktadır.

İş güvenliği ile ilgili denetimin günlük olarak yapıldığı yerlerde, denetimin aylık olarak yapıldığı yerlere kıyasla daha fazla (mean difference-0,26032) KKD kullanılmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre; iş güvenliği ile ilgili denetimlerin sıklığı arttıkça, çalışanların KKD kullanım oranı da artmaktadır.

Çizelge 7. İSG denetim sıklığının KKD kullanılmasına etkisi (a) ANOVA analiz sonuçları

ANOVA	Kareler toplamı	df	Ort. kare	F	Mem.
Gruplar Arasında	6,299	3	2,100	9,416	0,000
Gruplar İçinde	49,058	220	0,223		
Toplam	55,357	223			

Çizelge 7(b). Çoklu karşılaştırma sonuçları

	(I) Denetim	(J) Denetim	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Mem.	95% güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1,00	2,00	,46947(*)	,09318	,000	,2282	,7107
		3,00	,29532(*)	,10540	,028	,0225	,5682
		4,00	,20915	,11293	,252	-,0832	,5015
	2,00	1,00	-,46947(*)	,09318	,000	-,7107	-,2282
		3,00	-,17415	,08170	,146	-,3856	,0373
		4,00	-,26032(*)	,09120	,024	-,4964	-,0242
	3,00	1,00	-,29532(*)	,10540	,028	-,5682	-,0225
		2,00	,17415	,08170	,146	-,0373	,3856
		4,00	-,08617	,10366	,840	-,3545	,1822
	4,00	1,00	-,20915	,11293	,252	-,5015	,0832
		2,00	,26032(*)	,09120	,024	,0242	,4964
		3,00	,08617	,10366	,840	-,1822	,3545

* Ortalama fark, 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

**Analizde KKD kullanmak 1, kullanmamak 2 olarak kodlanması nedeniyle mean difference değerleri ters yönde işlemektedir.

***Denetim sıklığında Denetim yapılmıyor :1, Günlük :2, Haftalık :3, Aylık :4.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada yapım işlerindeki iş kazalarını önlemede en önemli etkenlerden biri olan; çalışanların KKD kullanımına etki eden faktörler belirlenmeye çalışılmış ve bu kapsamda inşaat sektöründe çalışanlara yönelik bir anket hazırlanmıştır. Anket çalışması sonucunda elde edilen veriler; geçmiş çalışmalardan sağlanan veriler ve yasal mevzuat da dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar başlıklar halinde sunulmuştur.

5.1.1. Çalışanların Yaşı

Literatürde yer alan çalışmalarda iş kazaları ile çalışan yaşı arasında net bir bağlantı bulunmamakla birlikte, orta yaş grubunun en riskli grup olduğu ve genel olarak çalışan yaşının artması ile iş kazası geçirme oranının düştüğü görülmüştür.

Yapılan anket çalışmasında da çalışanların büyük çoğunluğunu orta yaş grubunun oluşturduğu tespit edilmekle birlikte çalışan yaşı ile iş kazalarını önlemek amacıyla KKD kullanımı arasında bir ilişki bulunamamıştır.

5.1.2. İş Güvenliği Eğitimleri

Önceki çalışmalardan elde edilen verilere göre iş güvenliği ile ilgili eğitim verilme oranı arttıkça, iş kazası meydana gelme riski azalmaktadır.

Yasal mevzuat hükümlerine göre çalışanlara; işe başlamalarından önce, iş veya çalışma yeri değişikliklerinde, iş ekipmanının değişmesi durumunda, yeni bir teknoloji uygulanması durumunda iş güvenliği eğitimi verilmesi ve yılda en az bir kez tekrarlanması zorunludur.

Ankete katılanların verdiği cevaplara göre iş güvenliği eğitiminin doğru zamanlarda verilmesi oranı çok düşüktür. Hipotez testleri analiz sonuçlarına göre doğru zamanlarda eğitim verilmesi, çalışanların KKD kullanımını fark ettirmektedir.

5.1.3. İş Güvenliği Denetimleri

Önceki çalışmalarda iş güvenliği ile ilgili denetimlerin yeterli miktarda olmadığı, iş güvenliği denetim miktarı artan şantiyelerde iş güvenliği indeksinde artış olduğu görülmüştür.

Yasal mevzuata göre işverenin sorumluluklarından birisi de iş güvenliği ile ilgili denetimlerini yapmaktır. Bu sorumluluk işveren tarafından yetkilendirilen iş güvenliği uzmanları üzerinden gerçekleştirir. Yapılan işin cinsine ve işyerinde çalışan sayısına bağlı olarak görevlendirilecek iş güvenliği uzmanının sınıfı ve işyerinde bulunacağı süre belirlenmektedir.

Yapılan anket çalışmasında; inşaat sektöründe iş güvenliği denetim oranının çok düşük olduğu, bazı şantiyelerde hiç yapılmadığı, birçok şantiyede ise bu denetimlerin aylık yapıldığı tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre, iş güvenliği ile ilgili denetimlerin yetersiz olduğu görülmektedir.

Hipotez testi analiz sonucuna göre; iş güvenliği ile ilgili işyerlerinde yapılan denetim sıklığı arttıkça, KKD kullanım oranı da artış göstermektedir.

5.2. Öneriler

İnşaat sektörü, iş kazalarının en çok görüldüğü sektörler arasındadır. İnşaat sektöründe; yapım süresi boyunca inşaatın fiziksel şartlarının sürekli değişimine bağlı olarak, riskler de sürekli değişmektedir. Bu değişime bağlı olarak ortam güvenliğinin sağlanmasının çok zor olması nedeniyle, iş kazalarının önlenmesinde çalışanların KKD kullanımı çok önemlidir.

Bu çalışma sonucunda yapılan değerlendirmeye göre çalışanların KKD kullanımını etkileyen en önemli faktör iş güvenliği denetimidir. İş güvenliği ile ilgili yasal düzenlemeler yapılmış olmakla birlikte, mevzuatın etkili olarak uygulanabilmesi için iş güvenliği denetimleri arttırılmalıdır. İş güvenliği denetimi ile görevli çalışanların görevlerini daha etkin yapabilmeleri amacıyla; iş güvenliği uzmanı tam zamanlı istihdam edilmelidir.

Yapım işlerinde çalışanların KKD kullanımına etki eden faktörlerle ilgili yapılan bu çalışmanın, çalışanların KKD kullanımının nasıl arttırılacağı konusunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Dorji, K., Hadikusomo, B.H.W., 2006. Safety Management Practices in the Bhutanese Construction Industry, *Journal of Construction in Developing Countries*, 11(2), 53-75.
2. Kuruoğlu, Y., Kuruoğlu, M., Baskı, H.G., Müngen, M.U., 2007. Fiziksel Güce Dayalı İnşaat İşlerinde Çalışanların İş Yaşamı, İş Sağlığı ve Güvenliğine Bağlı Performanslarının Değerlendirilmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Ankara. 289-299
3. Laitinen, H., Ruohomaki, I., 1996. The Effects of Feedback and Goal Setting on Safety Performance at Two Construction Sites, *Safety Science*, 24(1), 61-73.
4. Dikmen, S.Ü., Tüzer, F.S., Yiğit, S., 2011. 4857 Sayılı Yasa ve İnşaat Şantiyelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yaklaşımları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 469(5), 25-31.
5. Zhou, Q., Fang, D., Wang, X., 2008. A Method to Identify Strategies for the Improvement of Human Safety Behavior by Considering Safety Climate and Personal Experience, *Safety Science*, 46, 1406–1419.
6. Hassanein, A.A.G., Hanna, R.S., 2008. Safety Performance in the Egyptian Construction Industry, *Journal of Construction Engineering and Management*, June, 451-455.
7. Ho, C.L., Dzung, R.J., 2010. Construction Safety Training Via e-Learning: Learning Effectiveness and User Satisfaction, *Computers & Education* 55, 858–867.
8. Metinsoy, T., Müngen, U., 2011. İnşaat Sektöründe İş Güvenliği Yönetimi ve Genel İş Güvenliği Performansı İlişkisinin Değerlendirilmesi Yöntemi, 3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Çanakkale, 143-156.
9. Demirkesen, S., Arditi, D., Özorhon, B., 2013. İnşaat Sektöründe İş Güvenliği Eğitimi Uygulamaları, 4. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Konya, 15.
10. Siu, O., Phillips, D.R., Leung, T., 2003. Age Differences in Safety Attitudes and Safety Performance in Hong Kong Construction Workers, *Journal of Safety Research* 34, 199-205.
11. Manisalı, E., Kanıt, R., Gündüz, M., Tarhan, Ü., Taşyürek, Y.E., 2007. İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Durumunun Değerlendirilmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Ankara. 183-192
12. Güvel, Ş.T., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliği Sisteminin Yapım İşlerinde Uygulanmasında Yaşanan Sıkıntılar ve Çözüm Önerileri”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 294.
13. Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik (02.07.2013), No:28695, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.
14. İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliği (29.12.2012), No:28512, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.
15. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (30.06.2012), No:6331, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.
16. Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği (05.10.2013), No:28786, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.
17. Yapı Müteahhithlerinin Sınıflandırılması ve Kayıtlarının Tutulması Hakkında Yönetmelik (02.03.2019), No:30702, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.
18. Şantiye Şefleri Hakkında Yönetmelik (02.03.2019), No:30702, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.
19. İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik (29.12.2012), No:28512, www.mevzuat.gov.tr, Erişim Tarihi:17.12.2020.

Eğirme Türünün Haşıl Sonrası İplik Özelliklerine Etkisi

Pınar DURU BAYKAL^{*1}, Zehra KUMAŞ¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 19.03.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Kaliteli ve verimli bir dokuma işlemi için çözgü iplikleri haşılmalıdır. Farklı iplik türleri arasındaki yapısal farklılıkların bilinmesi, haşıl reçetesinin belirlenmesi ve yeterli haşıl alımının sağlanması için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, eğirme türünün haşıllanmış iplik kalitesine etkisinin araştırılması amacıyla %100 pamuk ring ve rotor iplikleri aynı reçete ile haşıl edilmiştir. İpliklerin haşıl öncesi ve sonrası mukavemet-uzama, aşınma, düzgünlük, iplik hataları ve tüylülük özellikleri karşılaştırılmıştır. Haşılama işleminin farklı iplik yapılarında kaliteye farklı derecede etkileri gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Haşılama, Ring ipliği, Rotor ipliği, İplik kalitesi, İplik yapısı

Effect of Spinning Type on Yarn Properties After Sizing

Abstract

For a quality and efficient weaving process, warp threads should be sized. Knowing the structural differences between different yarn types is important for determining the sizing recipe and ensuring adequate sizing. In this study, 100% cotton ring and rotor yarns were sized with the same recipe in order to investigate the effect of spinning type on sized yarn quality. Strength, elongation, abrasion, unevenness, defects and hairiness properties of yarns were compared before and after sizing. It has been observed that the sizing process has different effects on the quality of different yarn structures.

Keywords: Sizing, Ring yarn, Rotor yarn, Yarn quality, Yarn structure

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Pınar DURU BAYKAL, pduru@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

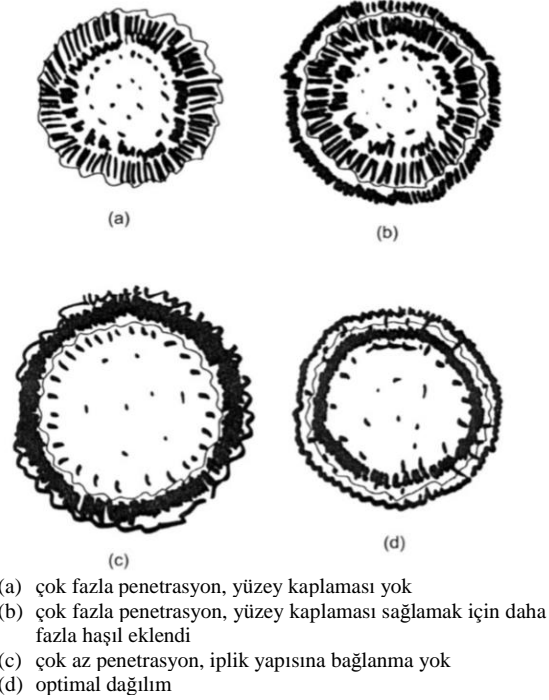
Çözgü ipliği, dokuma sırasında gerilme, aşınma ve eğilme nedeniyle karmaşık mekanik kuvvetlere maruz kalır. Haşılamanın birincil amacı ve nedeni, dokumadaki darbeli ve gerilimli çalışmaya dayanabilecek şekilde çözgüleme dokunabilirlik sağlamak, böylece çözgü iplik kopuşlarını azaltarak kaliteyi ve verimliliği yükseltmektir.

Elyaf türü, iplik türü, haşıl kimyasalları, dokuma sonrası kolay sökülebilirliği ve çevre kirliliği parametreleri ile etkileşim halinde olan haşılama işlemi oldukça karmaşıktır.

İplik kesitindeki haşıl dağılımının farklı olasılıkları Şekil 1'de gösterilmiştir [1]. Şekil 1d'de haşılın ipliğe nüfuz etmesi ve ipliğin etrafında koruyucu bir tabaka sağlanması arasında optimal bir dengenin olduğu durum gösterilmiştir. İpliğin çevresindeki fazla haşıl, uygulanan kuvvetler altında tezgahta dökülme eğiliminde olacaktır. Şekil 1a'da gösterildiği gibi, çok fazla penetrasyon, aşındırma etkisine karşı korumak için iplik yüzeyinde çok az miktarda haşıl bırakabilir. Böyle bir durumda, gerekli koruyucu yüzey kaplamasını sağlamak için daha fazla haşıl eklentisi gerekir.

İpliğin mukavemet özelliği, dokuma sırasında çözgü ipliğinin performansını etkileyen ana faktör olarak kabul edilmiştir. Ancak son yıllarda uzama, tüylülük, aşınma direnci ve nem emilimi gibi özelliklerin dokuma tezgahındaki performans üzerinde eşit derecede etkili olduğu anlaşılmıştır [2].

İpliğin fiziksel ve mekanik özellikleri, sadece ipliğin yapıldığı liflerin özelliklerine değil, aynı zamanda bunların iplik içindeki dizilişine, yani iplik yapısına da bağlıdır. Farklı iplik türleri arasındaki yapısal farklılıkların bilinmesi, haşıl reçetesinin belirlenmesi ve yeterli haşıl alımının sağlanması için büyük önem taşımaktadır [2].

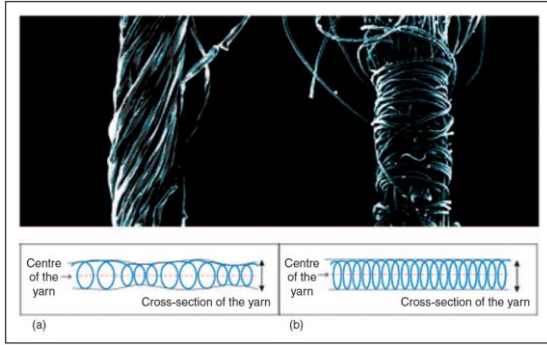


Şekil 1. Haşıl dağılımının şematik gösterimi

Ring eğirme sırasında iplikteki lifler paraleldir ve birlikte dönerek bükülürler, böylece maksimum lif yoğunluğu özde en yüksektir ve iplik çevresine doğru azalır. Lifler ipliğin iç kısmından dış kısmına göç ederek iplik içinde çok güçlü kohezyon oluşturur (Şekil 2a). Ring ipliğinin bu kohezyon yapısı güçlüdür, ancak daha düşük bir emme kapasitesine sahip olup, haşılama sonrasında iplikte az miktarda haşıl almaya neden olur [2].

Open-End (OE) rotor ipliği, oldukça düzensiz bir büküm yapısına sahiptir. Bazı lifler paralel büküm almayıp iplik uzunluğu boyunca farklı büküm açısı ile geliş güzel sarma bağı oluşturarak eğrilirler. Böylece rotor ipliği, merkezde paralel olarak düzenlenmiş lifler ile paralel liflerin etrafını saran liflerden oluşur. İplik eğirme işlemi sırasında meydana gelen sargı liflerinin sayısı oldukça fazladır ve bunlar iplikteki gerçek lif aralığını azaltır, yani lif göçü azalır. Bu durum zayıf ancak hacimli bir yapıya neden olur (Şekil 2b). Ancak iyi emici özellikleri, iplikte daha fazla miktarda haşıl alımına neden olur [2].

Rotor ipliklerinde düşük mukavemet varyasyonu genellikle sonraki işlem kademelerinde stabil çalışma sağlar. Hacimli ve emici iplik yapısı nedeniyle rotor iplik haşıl maddesini hızla absorblar ve dokuma sektöründe iyi çalışma özellikleri için ringe göre daha az haşıl maddesi ile çalışmaya olanak sağlar [3].



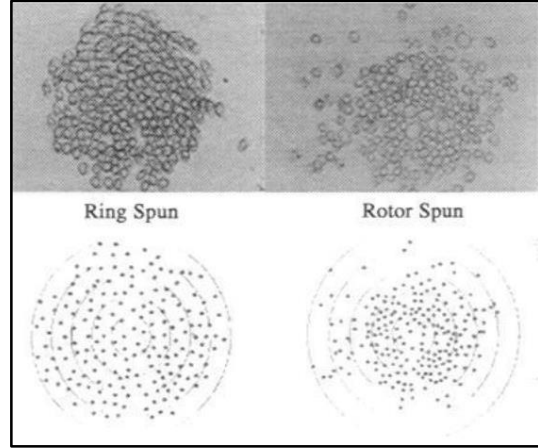
Şekil 2. Ring (a) ve Rotor (b) iplik yapısı

Ring ve rotor iplikleri içerisinde lif yerleşimleri ve iplik yapıları Şekil 3 ve 4'te verilmiştir [4]. Ring ipliği üretiminde bükümün yönü dışarıdan (dış tabakadan) içeri (merkeze, çekirdeğe) doğrudur. Rotor ipliği üretiminde ise iplik bükümü içeriden (çekirdekten) dış tabakaya doğru gerçekleşir, eğirme süresince liflerin bükümden kurtulmadığı iç kısımlarda yapı çok fazla kompakt ve sıkı hale gelmekte ve sonuçta çok sıkı bir içyapı ortaya çıkmaktadır. Şekil 3, rotor ipliğinin merkezinin dışından daha sıkı paketlenmiş olduğunu, oysaki ring ipliğinin bu açıdan nispeten üniform olduğunu göstermektedir.

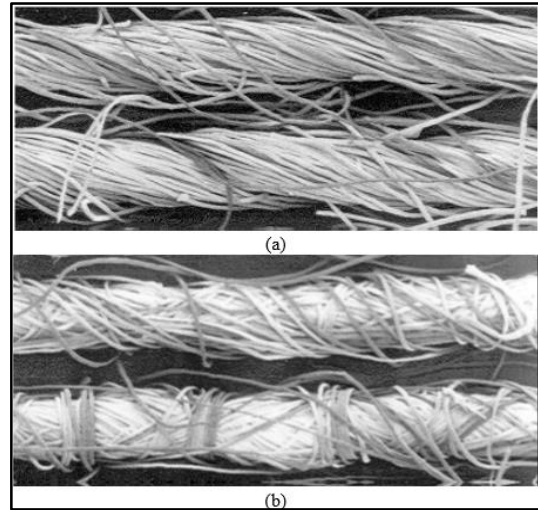
Ring eğirmede tabaka şeklinde bükülmüş bir iplik yüksek gerilme dayanımına (mukavemetine) sahip olmasına rağmen, aşınmaya karşı fazla dayanıklı değildir. İpliğin aşınmaya karşı zorlanması durumunda, öncelikle kuvvetlice gerilmiş dış tabakadaki lifler zarar görmekte ve ipliği oluşturan lifleri bir arada tutan liflerin zarar görmesiyle de içerideki lifler kohezyonu kaybetmektedir.

Rotor eğirmede çekirdek büküm olarak isimlendirilen yapının tipik özelliği hacimli bir tutum ile birlikte düşük bir dayanımdır. Dış kısımda liflerin düşük bükümlü olmaları

nedeniyle, iplik dayanımına fazla bir katkısı yoktur. Buna karşın bu tür ipliklerin aşınma dayanımları iyidir. Aşınma etkisinde dış tabakadaki liflerin uzaklaştırılmış ya da zarar görmüş olması çok fazla önemli değildir. Çünkü bu liflerin zaten çok fazla iplik mukavemetine katkısı yoktur [4,5].



Şekil 3. İplik içerisinde lif yerleşimi



Şekil 4. Ring (a) ve rotor (b) iplik yapıları

Literatürde haşılama ile ilgili pek çok çalışma olmasına karşın iplik türünün haşılama üzerindeki etkilerinin incelendiği ve farklı iplik yapılarının haşılma özelliklerinin karşılaştırıldığı çok az çalışmaya rastlanmıştır.

Thomas ve Zeiba (2000), çalışmalarında hava jetli ve ring çözgü iplikleri için haşıl yağlama yöntemini araştırmışlardır. Ring ve hava jetli pamuk-polyester karışımı iplikler modifiye mısır nişastası, polivinil alkol ve ek olarak yağlayıcı vaks kullanılarak haşılhanmıştır. İplikler mukavemet, uzama ve aşınma direnci açısından test edilmiştir ve performans farklılıkları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Haşıl teknesinde yağlayıcı ve vaks kullanımı haşıl ring ipliklerdekine benzer bir şekilde haşıl hava jetli ipliklerin kopma mukavemetini, uzamasını ve aşınma direncini azaltmıştır [6].

Sengupta ve arkadaşları (2002a), çalışmalarında ring ve rotor pamuk ipliklerini farklı konsantrasyonlarda nişasta ve PVA haşıl maddeleri ile haşılhanmışlardır. Hem haşıl hem de haşılhanmamış ring ve rotor ipliklerine aşınma ve mukavemet testleri yapılmıştır. Ayrıca aşınma testi sonrasında ipliklerin mukavemet kayıpları da test edilerek değerlendirilmiştir. 125 aşındırma darbesinden sonra nişasta ile haşıl ipliklere göre PVA ile haşıl ipliklerin mukavemet kaybı çok daha az olmuştur. Farklı konsantrasyonlarda kullanılan haşıl maddeleri ring ve rotor ipliklerinin mukavemetinde farklı değişiklikler meydana getirmiştir [7].

Sengupta ve arkadaşları (2002b), tarafından yapılan çalışmada ring ve rotor pamuk ipliklerine farklı konsantrasyonlarda PVA haşıl maddesi ile farklı sıcaklıklarda haşılama işlemi uygulanmıştır. Hem haşıl hem de haşılhanmamış ring ve rotor ipliklerine aşınma ve mukavemet testleri yapılmıştır. Haşıl konsantrasyonun artması hem ring hem de rotor ipliklerinde daha iyi aşınma direnci sağlamıştır. Sonuçlar haşıl ipliklerdeki aşınma direncinin, rotor iplikler için, düşük viskoziteli haşılhanmış ve yüksek sıcaklıkta kurutulanlar için ring ipliklerden daha yüksek olduğunu göstermiştir [8].

Sengupta ve arkadaşları (2002c), tarafından yapılan çalışmada hava jetli, ring ve rotor polyester/viskon (70:30) iplikler PVA haşıl maddesi ile farklı sıcaklıklarda haşılhanmıştır. Hem haşıl hem de haşılhanmamış ipliklere aşınma ve mukavemet testleri yapılmıştır. Haşılama

işleminde sonra ring, rotor ve hava jetli ipliklerin mukavemetinde artış gözlenirken kopma uzamaları ise azalmıştır. Yüzde değişime bakıldığında mukavemet artışı en çok rotor ipliklerde, en az ise ring ipliklerde gözlenmiştir. Rotor ve hava jetli ipliklerin uzama değerleri hemen hemen birbirine yakın çıkmıştır. Ring ipliklerin uzamasındaki değişim rotor ve hava jetli ipliklere göre düşük bulunmuştur [9].

Behera ve Joshi (2006), çalışmalarında Dref ipliklerin dokunabilirliğine haşılamanın etkisini araştırmışlardır. Çalışmada core-spun Dref ipliği ve %100 Dref pamuk ipliği kullanılmıştır. Haşılama işlemi laboratuvar haşıl makinesinde modifiye nişasta ve akrilik haşıl maddeleri ile yapılmıştır. Tüm ipliklerin dokuma performansı, dokuma gerilimlerini simüle eden Reutilingen Web Tester cihazında değerlendirilmiştir. Dref ipliklerinin dokuma performansını arttıran optimum haşıl oranı yaklaşık %15 olarak bulunmuştur [10].

Schwarz ve arkadaşları (2010), çalışmalarında haşılhanan ipliğin mekanik ve deformasyon özelliklerini analiz etmişlerdir. Aynı reçete ve iki farklı haşıl konsantrasyonu kullanılarak haşılhanan ring ve rotor iplikleri haşılama öncesi ve sonrası analiz edilmiştir. Haşılama ile ring ipliklerinde önemli iyileştirmeler elde edilmiştir. Rotor ipliklerinde ise iplik yapısı nedeniyle iyileşmeler düşüktür. Haşılama işlemi ile özellikle ring ve rotor ipliklerinin haşılama öncesi tüylülüğündeki farklılık hemen hemen eşitlenmiştir. Ring ve rotor ipliklerinin haşıl alma oranları karşılaştırıldığında, ring ipliklerinin kompakt yapıları nedeniyle haşıl alma oranının rotor ipliklere göre daha düşük olduğu görülmüştür [2].

Ring ve rotor iplik yapıları birbirinden oldukça farklıdır. Bu yapısal farklılığın haşıl işleminden nasıl etkileneceğini belirlemek üzere, özellikleri birbirine oldukça yakın hammaddeler ile yaklaşık aynı numarada ring ve rotor iplikleri üretilmiş ve bu ipliklere bobin haşıl makinesinde aynı reçete ile haşılama yapılmıştır. Haşılsız ve haşıl ipliklere mukavemet-uzama, aşınma, düzgünlük, hata ve tüylülük testleri yapılarak sonuçlar iplik kalite parametreleri açısından değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Çalışmada ring eğirme sistemi için Urfa pamuğu (rollergin) kullanılırken rotor eğirme sistemi için Amerikan pamuğu (sawgin) kullanılmıştır. Hem Urfa hem de Amerikan pamuğunda 12'şer balyada

HVI ölçümleri yapılmış olup ortalama değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelgede görüldüğü gibi ring ve rotor iplik üretiminde kullanılan pamuk elyafının incelik, uzunluk, üniformite, mukavemet-uzama değerleri birbirine oldukça yakındır.

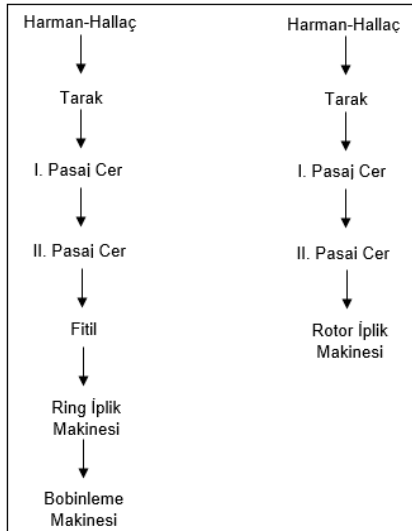
Çizelge 1. Elyaf özellikleri

Pamuk	SCI	İncelik (Mic)	UHML (mm)	Olgunluk (Mat)	UI (%)	SFI (%)	Mukavemet (g/tex)	Uzama (%)
Urfa (rollergin)	140	4,45	29,67	0,90	83,23	7,42	32,63	6,96
Amerikan (sawgin)	146	4,48	30,24	0,90	83,28	7,80	33,70	6,92

2.2. Metod

2.2.1. İplik Üretimi

İplik üretimi Şekil 5'te verilen iş akışına göre gerçekleştirilmiştir. Ne 6,40 inceliğinde ring ipliği ve Ne 6,32 inceliğinde rotor ipliği üretilmiştir. Ring ipliği üretiminde iğ devri 7.000 d/dk, büküm 427,95 tur/m; rotor ipliği üretiminde ise rotor devri 80.000 d/dk, büküm 445,28 tur/m'dir.



Şekil 5. İplik üretim süreci

2.2.2. Haşılama İşlemi

Çalışmada haşıl maddesi olarak Dystar firmasının polivinil alkol (PVA) esaslı haşıl maddesi (Lava

Fin 936 conc) kullanılmıştır. İpliklerin haşıl alma oranı ise %8 dir. Hem ring iplikleri hem de rotor iplikleri aynı reçete ile bobinden-bobine haşıl makinesinde haşılantılmıştır.

Bilgisayar kontrollü, elektrikli haşıl pişiricisi ve kurutma kabini ile donatılmış olan bobinden-bobine haşılama (tek bobin haşıl) makinesi, Şekil 6'da verilmiştir. Haşıl, haşıl pişiricisi ve haşıl teknesi arasında elektrikli pompa ile devir daim ettirilir, sıkma silindirleri ile haşıl alma oranı kontrol edilir.

Kurutma bölgesi elektrik kontrollüdür ve elektrikli ısıtma ile sıcak hava uygulayarak kurutma yapılır. Klasik haşılama işleminden farklı olarak burada tek bir bobin kullanılır ve haşılamaadan sonra tek bir bobine haşılı iplikler sarılır.



Şekil 6. Bobinden-Bobine Haşıl Makinesi

2.2.3. İpliklere Uygulanan Testler

Ring ve rotor ipliklerine haşıl öncesi ve haşıl sonrası kopma mukavemeti ve kopma uzaması, aşınma dayanımı, düzgünlük, iplik hataları ve tüylülük testleri yapılmıştır.

2.2.3.1. İplik Kopma Mukavemeti ve Kopma Uzaması Testi

İplik kopma mukavemeti ve kopma uzaması testi Uster Tensojet 4 cihazı ile 'TS EN ISO 2062 Tekstil-Paketlerden alınan iplikler- Tek ipliğin kopma kuvvetinin ve kopma anındaki uzamasının sabit hızlı uzama cihazı (CRE- Constant Rate of Extension) kullanılarak tayini' standardı esas alınarak yapılmıştır. Cihazın test hızı 400 m/dk, test uzunluğu 500 mm'dir. Her bobinde 100 ölçüm yapılmıştır.

2.2.3.2. İplik Düzgünlüğü, İplik Hataları ve Tüylülük Testi

Uster Tester 4-S cihazı ile ipliklerin düzgünlük, ince yer, kalın yer ve neps değerleri ile tüylülüğü test edilmiştir. Test 400 m/dk hızda gerçekleştirilmiştir. Her bobinde 5 ölçüm yapılmıştır.

2.2.3.3. İplik Aşınma Dayanımı Testi

İpliklerin aşınma dayanımının tespiti için belirlenen herhangi bir standart bulunmamaktadır. Çalışma kapsamında Zweigle G 551 aşınma test cihazı kullanılmıştır. Test için iplik numarasına göre ağırlık takılarak belirli uzunlukta 20 adet iplik cihaza bağlanır. Aşınma dayanımı testi, her 20 adet

ipliğin aşınma işlemine tabi tutulması sonucu kopması ile gerçekleşmektedir. İplikler makinenin çalışmasıyla ileri-geri hareket eden zımpara kağıdı ile kaplanmış silindirin dönme hareketi ile üzerindeki zımparaya sürtme sonucu aşınarak kopmaya başlarlar. Her kopuş olduğunda makine durdurulur. Koptuğu andaki sayaç değeri not edilir. Bu işlem 20 tane iplik kopuncaya kadar devam eder. 20 değerlerin ortalaması alınarak aşınma değeri bulunur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Haşılsız ve haşılı ring ve rotor ipliklerinin ölçülen kalite parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. İplik özelliklerinde meydana gelen değişim % olarak ifade edilmiştir.

3.1. İplik Kopma Mukavemeti ve Uzaması

Ring iplik eğirme sisteminde iplik yapısı yüksek oranda eksene ve birbirine paralel liflerden oluşmaktadır. Liflerin paralel yerleşimi ve bükümü, ring iplik mukavemetinin rotor ipliklere göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu durum gerek haşıl öncesi ve gerekse de haşıl sonrası gözlenmiştir (Çizelge 2 ve Şekil 7). Ancak haşılama sonrasında ring ipliklerinin mukavemet artışı %15,75 iken rotor ipliklerinde bu artış %17,95 olmuştur. Aynı reçete ile haşılama yapılmasına karşın rotor ipliklerinin iyi emici özellikleri nedeniyle daha fazla miktarda haşıl alımı olduğu ve bu nedenle rotor iplik mukavemet değerinde daha fazla artış görüldüğü düşünülmektedir. Literatürde rotor ipliklerinin ring ipliklerine göre daha emici oldukları ile ilgili bilgiler de mevcuttur [2,3,11,12].

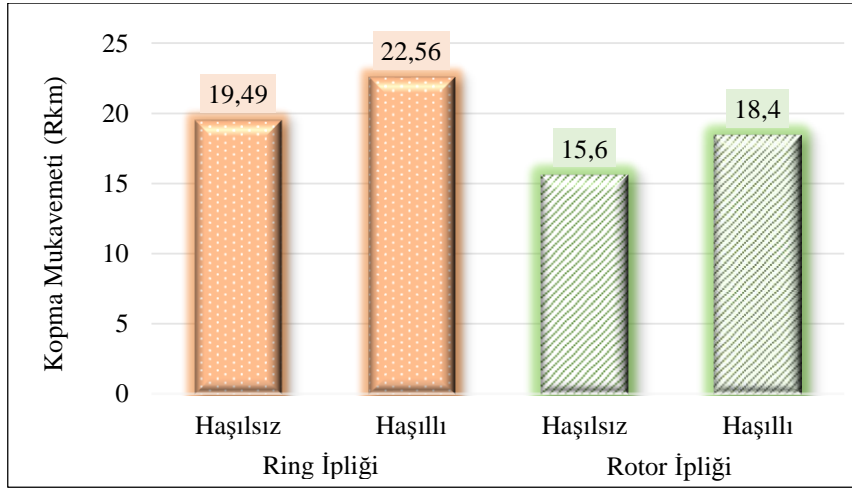
Çizelge 2. İplik test sonuçları

Kalite Parametresi	Ring iplik			Rotor iplik		
	Haşılsız	Haşılı	% değişim	Haşılsız	Haşılı	% değişim
Kopma mukavemeti (Rkm)	19,49	22,56	+15,75	15,60	18,40	+17,95
Kopma uzaması (%)	7,77	7,81	+0,5	5,56	6,11	+9,89
Aşınma dayanımı (tur)	201	157	-21,89	195	155	-20,51
Düzgünlük (%U)	8,64	8,44	-2,31	10,55	9,52	-9,76
İnce yer (-50%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalın yer (+50%)	12,5	15,5	+24,0	77,5	21,0	-72,90
Neps*	14,0	26,0	+85,71	12,5	1,5	-88,0
Tüylülük (H)	10,04	3,39	-66,24	7,76	3,54	-54,38

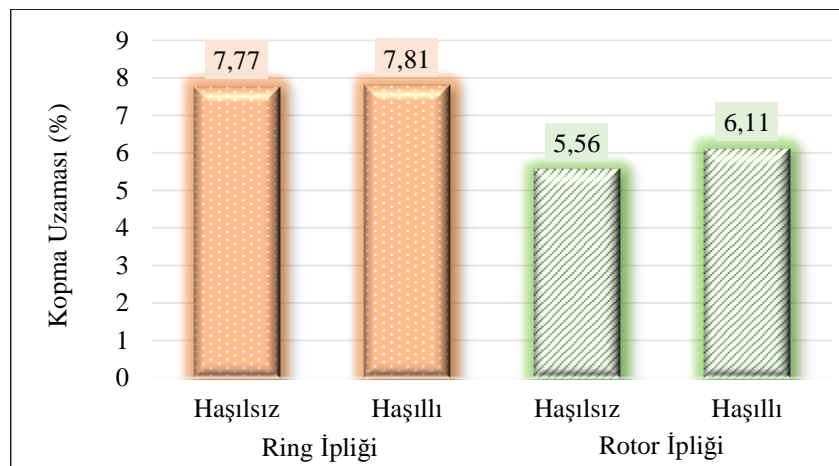
* Ring için +200%, Rotor için +280% (OE-rotor eğirme prosesindeki sarılmış lifler nedeni ile)

Ring eğirmede ipliğe dışarıdan büküm verilmektedir ve bükümün helis açısı ipliğin dışından içeriye doğru azalmaktadır. Bu durum iplik içerisinde rezerve elyafların bulunmasına sebep olmaktadır. Rezerve elyafların ise kopma uzamasını arttırdığı düşünülmektedir. Open-End rotor ipliklerde büküm içeriden dışarıya doğru olduğundan, kopma uzamasına maruz kalacak olan elyaflar da merkezdeki elyaflar olarak değerlendirildiğinden, kopma esnasında kopmaya karşı mukavemet gösterecek olan elyaflar merkezdeki elyaflardır. Bu yüzden, eksene paralel olan merkezdeki elyaflar kopma uzaması değerini düşürdüğünden open-end rotor iplikçilikte kopma

uzaması değerleri düşüktür [13]. Genellikle haşılama işlemi sırasında ipliklerin uzama değerlerinde azalma beklenir. Ring iplikleri için, haşılama işlemleri sırasında orijinal uzamada azalma gözlemlenir. Bununla birlikte, open-end ipliklerde uzamadaki değişim ihmal edilebilir ve hatta uzamada bir artış görünebilir. Dokumadaki performansı açısından iplik uzamasının %4,5'in altına düşmesine izin verilmemesi tavsiye edilir [14]. Test sonuçlarına göre (Çizelge 2 ve Şekil 8), ring ipliklerinde haşılama işlemi ile kopma uzamasında %0,5 oranında artış olurken rotor ipliklerinde bu artış %9,89 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 7. İplik kopma mukavemeti değişimi

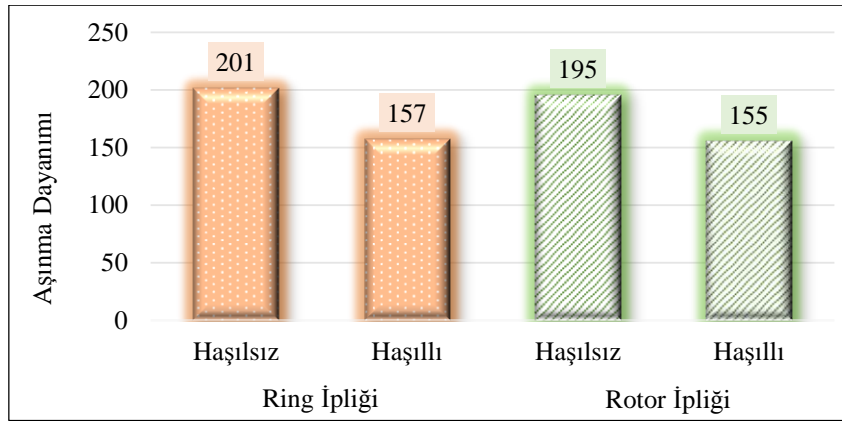


Şekil 8. İplik kopma uzaması değişimi

3.2. İplik Aşınma Dayanımı

Rotor ipliklerinin yapısındaki sargı lifleri nispeten az yük taşır ve bu nedenle, aşındığında ipliğin mukavemeti ciddi şekilde etkilenmez. Bu nedenle genel olarak rotor ipliklerinin yüksek aşınma dayanımına sahip olduğu bilinir [3,4,15]. Ancak bu çalışmada haşılsız ring ipliklerinin aşınma dayanımı bir miktar daha yüksek çıkmıştır. Haşılama işlemi ile hem ring hem de rotor ipliklerinin aşınma dayanımında ilginç bir şekilde azalma görülmüştür. Oysaki haşıl ile iplik aşınma dayanımının artması beklenir [16]. Konvansiyonel

haşılama kontakt kurutma yapılmakta ve haşıl filminin iplik yüzeyine düzgün bir şekilde taşınması sağlanmaktadır. Bobinden bobine haşıl makinesinde sıcak hava üflemeli kurutmanın yeterince etkin olmadığı, haşıl filminin yüzeye düzgün taşınmadığı ve bu nedenle haşıl sonrası aşınma dayanımının azaldığı düşünülmektedir. Benzer bir sonuca nişasta haşılı ile yapılan çalışmada da rastlanmıştır [7]. Haşılama sonrası ring ipliklerinin aşınma dayanımı değeri %21,89 azalırken, rotor ipliklerinde bu azalma %20,51 düzeyinde olmuştur.

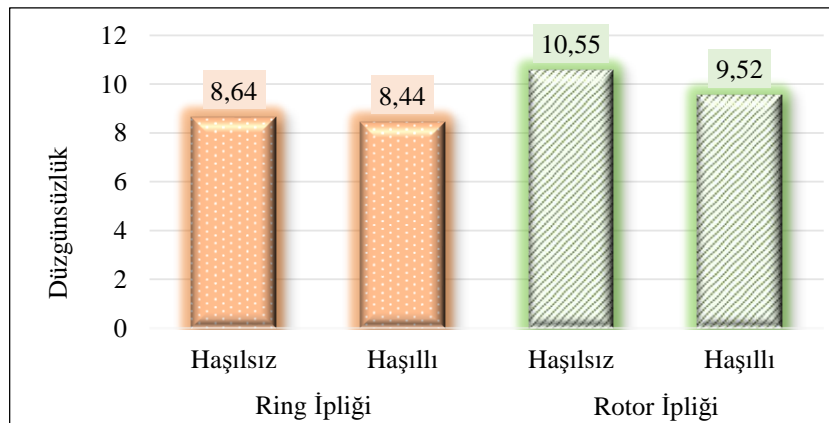


Şekil 9. İplik aşınma dayanımı değişimi

3.3. İplik Düzgünsüzlüğü ve Hatalar

Ring iplikleri ile rotor ipliklerinin düzgünsüzlük değerleri genel olarak birbirine yakın ve iyi olarak

değerlendirilmektedir [17]. Haşılama sonrası ring ipliklerinin düzgünsüzlük değeri %2,31 azalırken, rotor ipliklerinde bu azalma %9,76 düzeyinde olmuştur.



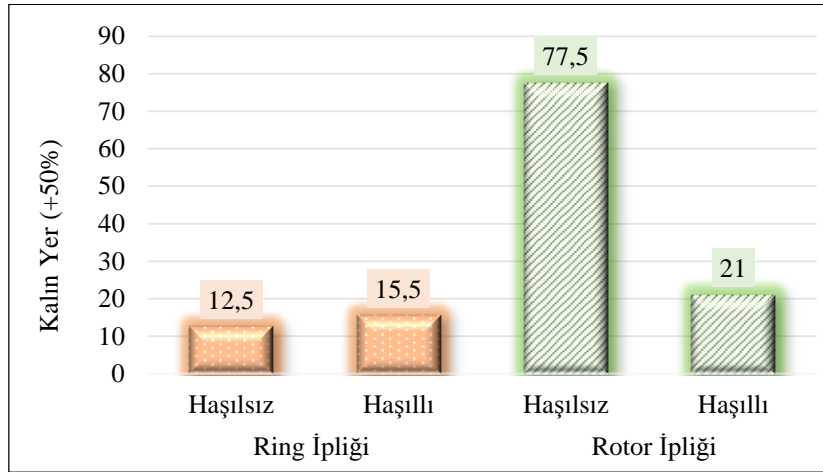
Şekil 10. İplik düzgünsüzlük değişimi

Ring ve rotor ipliklerinde gerek haşıl öncesi ve gerekse de haşıl sonrası ince yer hatası görülmemiştir (Çizelge 2).

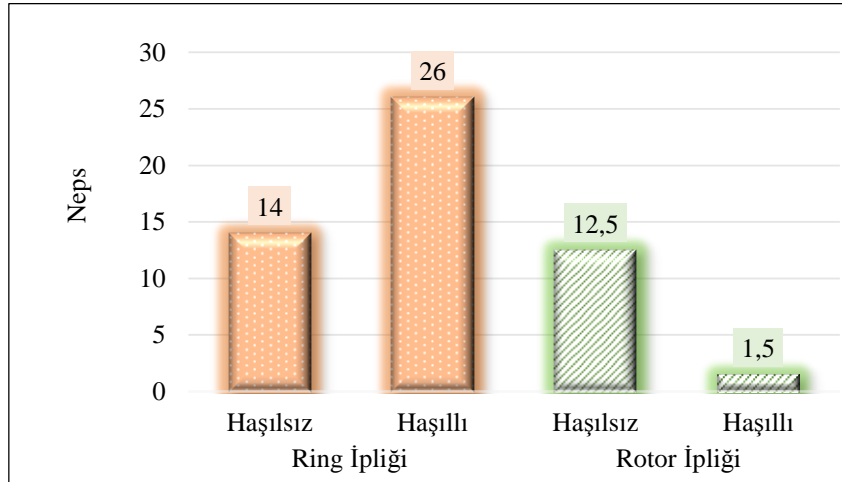
Genel olarak kalın yer hatası rotor ipliklerde daha fazla, neps ise daha düşüktür [12]. Ring ipliklerde haşılama işlemi ile kalın yer hatası artarken

(%24), rotor ipliklerde haşılama işlemi ile kalın yer hatası önemli oranda (%72,90) azalmıştır (Şekil 11).

Haşılama işlemi ile ring ipliklerde neps artarken rotor ipliklerde önemli oranda (%88) azalmıştır (Şekil 12).



Şekil 11. İplik kalın yer değişimi



Şekil 12. İplik neps değişimi

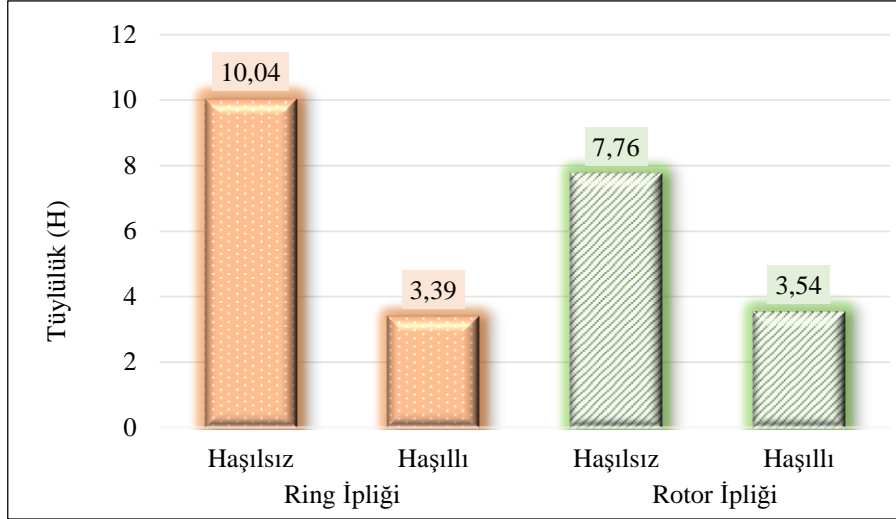
3.4. İplik Tüylülüğü

İplik tüylülüğünün rotor ipliklerinde daha az olduğu bilinmektedir [15, 17]. OE-rotor eğirme sisteminde iplik eksenine dik yönde oluşan kuşaklar (sargı lifleri) tüylülüğü engelleyen bir

durum olarak öne çıkmaktadır. Ring eğirmede bükümün dışarıdan verilmesi, eğirme üçgeni ve verilen büküm esnasında oluşan sürtünmeler tüylülüğü arttırmaktadır. Rotor iplik tüylülük değeri, ring ipliğine göre %20-40 daha düşük olarak belirtilmiştir [13]. Çizelge 2 ve Şekil 13'te

görüreceği üzere haşılama öncesi rotor ipliklerinin tüylülüğü ring ipliklere göre daha azdır. Haşılama işlemi sonrasında tüyler iplik yapısına (gövdesine) yapışacağından tüylülük azalmaktadır. Şekil 13'te görüleceği üzere hem ring hem de rotor

ipliklerinde haşılama ile tüylülük azalmıştır. Haşılama sonrası ring ipliklerinin tüylülüğü %66,24 azalırken, rotor ipliklerinde bu azalma %54,38 düzeyinde olmuştur.



Şekil 13. İplik tüylülük değişimi

4. SONUÇLAR

Çalışmada, farklı iplik yapılarının haşıl alımını ve sonrasında iplik kalite parametrelerini nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Haşılama işlemi ile her iki eğirme sisteminde de mukavemet artmıştır. Ancak haşılama işlemi ile mukavemetteki artış rotor ipliklerinde daha fazla olmuştur.
- Ring eğirme sisteminde haşılama ile kopma uzamasında çok az miktarda değişim gözlenirken rotor eğirme sisteminde iplik yapısından dolayı kopma uzamasında çok daha fazla değişim gözlenmiştir.
- Haşılama işlemi sonrası her iki eğirme sistemi için iplik aşınma dayanımında azalma görülmüştür ve bu durum bobinden bobine haşıl makinesindeki efektif olmayan kurutma sistemi ile açıklanmıştır. Haşıl sonrası ring ve rotor iplik aşınma dayanımları birbirine yakın çıkmıştır.

- Haşılama sonrası düzgünsüzlük, kalın yer ve neps sayılarındaki azalma rotor ipliklerinde çok daha fazla olmuştur.
- Haşılama öncesi çok daha yüksek olan ring iplik tüylülüğü, haşıl sonrası rotor iplik tüylülüğü ile yaklaşık olarak aynı seviyeye gelmiştir.

Çalışma sonuçları göstermiştir ki rotor iplik yapısı daha hacimli ve daha emici olduğu için rotor ipliklerinde haşıl alımı ring ipliklere göre daha fazla olacaktır. Bu nedenle aynı hammadde ile üretilen aynı numaradaki ring ve rotor ipliklerini aynı haşıl alma oranı ile haşıl yapmak yerine rotor ipliklerine daha az haşıl verilerek dokumada yeterli performans sağlanacağı düşünülmektedir. Böylece haşılama maliyetinde tasarrufu sağlanabilecektir.

Daha farklı iplik yapıları ile daha geniş numara aralığında ve işletme şartlarında bir çalışma planlanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Goswami, B.C., Anandjiwala, R.D., Hall, D., M., 2004. Textile Sizing. Marcel Dekker, Inc., U.S.A, 400.
2. Schwarz, I.G., Kovacevic, S., Dimitrovski, K., 2010. Analysis of Changes in Mechanical and Deformation Properties of Yarn by Sizing. Textile Research Journal, 81(5), 545-555.
3. Biermann, I., Weidner-Bohnenberger, S., Rieter Com4®Rotor İpliği. Rieter, 2584-v1 tr 1307.
4. Lord, P.R., 2003. Handbook of Yarn Production. Technology, Science and Economics, Woodhead Publishing Ltd., 504.
5. Soe, A.K., Takahashi, M., Nakajima, M., Matsuo, T., 2004. Structure and Properties of MVS Yarns in Comparison with Ring Yarns and Open-End Rotor Spun Yarns, Textile Research Journal, 74(9), 815-826.
6. Thomas, H.L., Zeiba, J.M., 2000. Size Lubrication Methods for Air-Jet-Spun and Ring-Spun Warp Yarns. The Journal of Cotton Science, 4(2), 112-123.
7. Sengupta, A.K., Pratihar, P., Kimothi, P.D., Vernekar, S., Alamgir Sayeed, M.M., 2002a. Influence of Yarn Structure, Sizing Ingredients and Type of Sizing on Properties and Performance of Sized Yarns: Part I-Evaluation of Sizing Process Using Zweigle G55 1 Weavability Tester, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 27, 59-64.
8. Sengupta, A.K., Pratihar, P., Kimothi, P.D., Vernekar, S., Alamgir Sayeed, M.M., 2002b. Influence of Yarn Structure, Sizing Ingredients and Type of Sizing on Properties and Performance of Sized Yarns: Part II-A Comparative Study of Sized Yarn Performance for Ring and Rotor-Spun Yarns. Indian Journal of Fibre & Textile Research, 27, 142-148.
9. Sengupta, A.K., Pratihar, P., Kimothi, P.D., Vernekar, S., Alamgir Sayeed, M.M., 2002c. Influence of Yarn Structure, Sizing Ingredients and Type of Sizing on Properties and Performance of Sized Yarns: Part III - A Study of Attrition During Weaving for Air-Jet, Ring and Rotor Yarns on a Modern High Speed Weaving Machine. Indian Journal of Fibre & Textile Research, 27, 149-155.
10. Behera, B.K., Joshi, V.K., 2006. Effect of Sizing on Weavability of Dref Yarns. Autex Research Journal, 6(3), 142-147.
11. Özdemir, H., Oğulata, R.T., 2017. Comparison of Color Values of Packages Wound From Different Spun Yarns. Tekstil ve Mühendis, 24(107), 152-159.
12. Özdemir, H., Oğulata, R.T., 2010. Farklı Eğirme Sistemlerinin Boyamaya Hazır Yumuşak Bobinlerin Sertlik Değerlerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 25(1-2), 33-44.
13. Küpeli, Ç., 2019. Farklı Eğirme Sistemlerinde Üretilmiş Polyester-Viskon İplik Özelliklerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 89.
14. Celanese Chemicals, 2002. Celvol™ Polyvinyl Alcohol for Textile Warp Sizing, Sayfa No: 14.
15. Textile Spinning, Textile Technology Knowledge Series Volume II, TEXCOMS Textile Solutions, April 21, 2019.
16. Kumaş, Z., 2017. Farklı Haşılama İşlemlerinin Haşıl Alma ve Dokuma Verimliliğine Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 256.
17. Kılıç, M., Balcı Kılıç, G., Okur, A., 2011. Eğirme Sisteminin İplik Özelliklerine Etkileri, Tekstil ve Mühendis Dergisi, 18(81), 22-34.

Production of Biodiesel from in Vitro Grown Jojoba Calli Oil and a Comparison with Jojoba Biodiesel

Zeynep ERGÜN^{*1}, Hasan SERİN², Kadir AYDIN³, Saadet BÜYÜKALACA⁴

¹Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Bioengineering, Adana

²Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, Adana

³Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana

⁴Cukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Adana (Deceased)

Geliş tarihi: 12.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Abstract

In this study, the fuel characteristics of biodiesel produced from jojoba [*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider] oil and biodiesel obtained from the jojoba oil procured under laboratory conditions were compared. For this purpose, jojoba seed endosperm and oil, which was attained from the jojoba endosperm calli via soxhlet extraction, was obtained. Biodiesel was produced from this oil via the transesterification method. It was determined that the fuel characteristics of the biodiesels produced from the oil procured under the laboratory conditions and the oil attained from the seeds were close to each other, and it was observed that the other features were in parallel with the standards, except for the viscosity and freeze point. This research study offers a solution for the raw material problem, which is one of the most important obstacles against the widespread use of biodiesel, in terms of environmental and economic aspects.

Keywords: Plant tissue culture, Callus, Biodiesel, Transesterification, Jojoba

In Vitro Koşullarda Geliştirilen Jojoba Kallus Yağından Biyodizel Üretimi ve Jojoba Biyodizeli ile Karşılaştırılması

Öz

Bu çalışmada doğrudan jojoba [*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider] yağından ve laboratuvar koşullarında elde edilen jojoba yağından üretilmiş olan biyodizellerin karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla soxhlet yöntemi ile jojoba endosperm yağı ve jojoba endospermi kalluslarından üretilmiş yağ ekstrakte edilmiştir. Biyodizel üretimi için transesterifikasyon yönteminden faydalanılmıştır. Doğrudan jojoba endosperminden üretilen ve laboratuvar koşullarında geliştirilen jojoba endosperm kalluslarından üretilen yağlardan elde edilen biyodizel örneklerinin yakıt karakteristiklerinin birbirine çok yakın olduğu, vizkosite ve donma noktası dışında standartlara uygun olduğu görülmüştür. Bu çalışma biyodizelin geniş kullanım alanı elde etmesindeki en önemli sorun olan ham madde sorununa, çevresel ve ekonomik açılardan bir çözüm önerisi niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Bitki doku kültürü, Kallus, Biyodizel, Transesterifikasyon, Jojoba

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Zeynep ERGÜN, zergun@atu.edu.tr

1. INTRODUCTION

With a high raw material cost, biodiesel, which is produced from herbal, animal, and waste oil, is an alternative fuel for diesel [1-3].

The major plants used as raw material for biodiesel studies are jojoba, soybean, canola, castor oil, tea seed, terebinth, sesame, bay, sunflower, safflower, corn, loquat, poppy, walnut, hazelnut, almond, olive, kaju, pistachio, pine nuts, peanuts, date, garnet, black seed, nettle seed, mustard, turmeric, cedar tree, ginger, avocado, menthol, henna, cumin, green tea, hemp, pepper, rosemary, cotton, coffee, peppermint, orange peel, kiwi, linen, coconut, jathropha, soapberry, and the seeds of various vegetables and fruits [4-11].

The seeds of jojoba plant (*Simmondsia chinensis* Link), which is a member of *Simmondsiaceae* family known for their precious oily seeds, contain oil ranging from 45% to 60%. With its liquid wax structure, which is called *wax*, the oil produced from the seeds of jojoba is chemically different from other herbal oils. Although the oils produced from the herbal seeds are triglyceride, waxy oils such as jojoba oil and whale oil are wax esters. The composition of the oil changes during the maturation of the seeds and storage. Moreover, the oil-ester compositions of the seeds can preserve their characteristics even after 25 years from the harvest. Mainly used in lubrication, leather production, cosmetics, and the drug industry, jojoba oil is used in the production of hard white wax, which is used in lubricants, desiccants, emulsifiers, resins, protective coaters, disinfectants, detergents, slip-coaters, tanning creams, polishes for floors, shoes, and cars, as well as in the preparation of numerous different substances [12-14].

Since it is a sustainable and renewable energy source, biodiesel has an important place among various energy sources. However, due to raw material insufficiency, it could not excel petrodiesel concerning the price; therefore, it is not produced and consumed at desired levels. Raw material cost forms a major part of the biodiesel

production costs. Moreover, a remarkable part of the raw materials used in biodiesel production is also strategic foodstuff, which adds another dimension to the issue. Considering that nutrition problems come to the fore with today's rapid population growth, it would be wise to mention that the priority in oil consumption should be given to the food sector.

If the desired situation is the use of biodiesel instead of petro-diesel or a mixture of both, it is a non-negligible fact that the raw material costs of biodiesel should be decreased.

Within the context of this study, previous studies were examined, which asserted that the oil proportion increased via tissue culture under laboratory conditions [15], and the callus culture method was used to increase the oil proportion of the jojoba seeds. Thus, it was aimed to obtain oil under laboratory conditions. It was aimed to produce biodiesel from these calli under laboratory conditions, and to examine the fuel features of biomass-based biodiesel.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, jojoba [*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider] seeds were used. Methyl-alcohol [16-18] was used as the alcohol and sodium hydrochloride (NaOH) [17,18] (Marchetti et al. 2007; Shah et al. 2014) as the catalyst. MS [19] was used as the essential nutrition habitat, and 2,4 D, BAP, 2 Ip and NAA were used as the growth improver. Sucrose was used to meet the energy need, and agar was used for comparing the nutrition habitats.

2.1. Obtaining Callus from Jojoba Endosperm

Jojoba seeds were sterilized for 20 minutes under laboratory conditions within 20% sodium hypochlorite solution. After being washed four times under sterile purified water, they were kept in sterile purified water for one day, thereafter their endosperms were taken. The endosperms were placed in a nutrition habitat involving MS+1 mg/l 2 Ip+1 mg/l NAA+30 g/l sucrose+8 g/l agar.

To provide cellular multiplication, these materials were transferred to a conditioning chamber (16 hours light, 8 hours darkness, and 26°C). Calli were obtained from the endosperms placed in these nutrition habitats. Thus, cellular multiplication was provided.

2.2. Obtaining Methyl Ester of Both Jojoba Endosperm and Jojoba Endosperm Callus Oil

After the calli procured in the laboratory were grained, they were dehumidified by being kept in the stove for five hours at 105°C.

Transesterification method, which is one of the biodiesel obtaining methods, was used in the study [20]. Transesterification reaction is cheaper, its reaction time is shorter and it has a better production capacity. Since they take place under lower temperatures and in a shorter time, they are commercially the most preferred alkali (NaOH, KOH) catalyst reactions [21,22]. To obtain methyl ester from raw jojoba endosperm callus and jojoba endosperm oil with the transesterification method, methanol [16-18] as much as 20% by volume of oil and NaOH [17,18] as much as 5% by weight of oil were mixed in a beaker. A magnetic stirrer was placed into the mixture, thus the NaOH was dissolved (methoxide formation) in the methanol. Alcohol catalyst mixture was put into the calandria and herbal oil, which was obtained using soxhlet extraction, was added on. To prevent alcohol evaporation, the system was completely closed to the atmosphere. After the saturated solution is provided, it was heated up to 60°C and the heated oils were mixed with sodium methoxide. This mixture was heated for 2 hours in a heating agitator. After the reaction was completed, for the phase separation of the two main products, glycerin and biodiesel, this mixture was taken from the heater, placed into a settling container, and kept there for 8 hours. The glycerin, which was cumulated in the lower phase, was removed from the setting. The alcohol, which was remained in glycerin and biodiesel, was removed from the setting as well. The catalyst and soap remnants within the biodiesel, from which glycerin was removed, were also removed.

Some characteristics of the extracted oils and biodiesels, which were produced from these oils, were measured such as intensity, cetane number, kinematic viscosity, fire point, free acid content, CFPP (Cold Filter Plugging Point), and lower heating value.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the context of this study, MS+1 mg/l 2 İp+1 mg/l NAA+30 g/l sakkaroz+8 g/l agar setting was used for the jojoba endosperm explant. The oil ratio that was produced from the calli procured from this setting is given in Table 1.

Table 1. Oil percentages of the materials in the automatic soxhlet extractor

Material	Oil rate %	Average oil rate %
Jojoba seed endosperm	44.87	44.36
	43.80	
	44.43	
Jojoba endosperm callus	50.27	50.93
	51.26	
	51.25	

It was observed that the average of the oil content percentage of the jojoba seed endosperms was 44.36% in Table 1. As per the endosperm calli procured from jojoba endosperms, the average of the oil content percentages was determined as 50.93%. In conclusion, the oil procured from the calli produced under laboratory conditions was 6.57% higher compared to the oil procured from the seed endosperms.

The biodiesel obtained from 275 ml oil was 265 ml, which was taken out of the oil procured from dry jojoba endosperm callus materials. 195 ml of the oil, which was procured from dry jojoba endosperm callus materials, was used for biodiesel production, and 188 ml biodiesel was obtained.

Within the scope of this research study, the fuel features of the jojoba endosperm oil, which was procured in the laboratory, and the oil, which was procured from seed endosperms, are given in Table 2.

Table 2. Features of jojoba endosperm callus oil and jojoba endosperm oil

Properties	Jojoba endosperm callus oil	Jojoba endosperm oil
Density, kg/m ³	970	890
Cetane number	57	53
Kinematic viscosity, mm ² /s	25.6	29
Flash point, °C	>120	>120
Free fatty acid (FAA)	2.9	1.4

When Table 2 is examined, it is observed that the intensity of the callus oil is 80 kg/m³ higher compared to endosperm oil. It is also seen that the cetane number of the jojoba callus oil is higher compared to the jojoba endosperm oil. It is conspicuous that the kinematic viscosity of jojoba callus oil is 3.4 mm²/s less compared to jojoba endosperm oil. The fire point was over 120°C for both. The free acid content of the jojoba callus oil was higher compared to the jojoba endosperm oil.

The features of the jojoba callus oil and the jojoba endosperm oil are in accord with each other except for the abovementioned differences.

In this research study, biodiesel was obtained from jojoba seed endosperm and jojoba endosperm calli, and the fuel features of the biodiesel were given in Table 3. The fuel features [23] are also given in the table as a benchmark.

Table 3. Fuel features of the biodiesel [23], which was obtained from jojoba endosperm calli and jojoba endosperm sample

Properties	Diesel	EN590	Jojoba endosperm callus biodiesel	Jojoba endosperm biodiesel	ASTM D 6751	EN 14214
Density, kg/m ³	837	820–845	863	865	-	860 - 900
Cetane number	59.47	Min 51	68.5	63.2	Min 47	Min 51
CFPP (Cold filter plugging point), °C	-12	-	+12	+13.7	-	Summer <4.0 Winter <-1.0
Lower heating value, kJ/kg	45856	-	43102	43871	-	-
Kinematic viscosity, mm ² /s	2.76	2.0–4.5	19.2	21.3	1.9–6.0	3.5 – 5.0
Flash point, °C	79.5	Min 55	>120	>120	Min 93	Min 120
Free fatty acids (FAA)	-	-	2.2	0.6	-	-

Effecting fuel consumption and heat of combustion, the intensity of the biodiesel (860-900 kg/m³, 15°C, EN1424) is higher compared to the fossil diesel fuel (820-845 kg/m³, EN 590). The longer the hydrocarbon chain the less the intensity, the more increased the double bond the higher the intensity [24]. When the results are examined, it is observed that there is only a slight (0.02 kg/m³) difference between jojoba endosperm callus biodiesel and jojoba endosperm biodiesel. Concerning the intensity, it was concluded that the biodiesel produced from

oil, which was procured from callus, is suitable for the biodiesel sector. In previous studies, this value was reported as 0.866 kg/l [25-28]. This result proves that our research study is convenient to the literature with regards to jojoba biodiesel intensity value.

If the number of cetane, which determines the ignition quality of the diesel fuels, is higher, it decreases the ignition lag. The cetane number of long straight-chain saturated hydrocarbons is higher. Cetane figure increases with longer

hydrocarbons while decreasing with increased double bonds. Since it has a higher cetane number compared to classical diesel fuel, biodiesel has higher combustion efficiency [24]. There is a 5.3-point difference between jojoba endosperm biodiesel and the jojoba oil biodiesel procured in the laboratory. In other words, concerning the cetane number, jojoba endosperm callus biodiesel has a better value compared to the jojoba endosperm biodiesel. When the previous research studies of the literature are compared, it is observed that the cetane figures are 63.5 [25-28] and 43.75 [29]. Considering that the castor oil biodiesel has a high cetane figure, which is 80 [30], it can be mentioned that the cetane number of the jojoba endosperm callus biodiesel (68.5) is in a significant level regarding biodiesel quality.

Liquidity of the fuel is critical in the fuel feeding system as the in-cylinder atomization of the fuel is critical in fire performance. High viscosity causes poor atomization of the fuel, bad fire, plugging in injections, and carbon cumulation in the piston rings. This situation decreases the spray of the injectors, necessitating high pumping pressure. The viscosity of the biodiesel is around 3.5-6 mm²/sec, and it increases with longer hydrocarbon chains while decreasing with more double bonds. Impurity of the biodiesel and oxidation productions increases the viscosity [24]. In the study, the kinematic viscosity value was determined as 19.2 mm²/s for the jojoba endosperm callus biodiesel, while it was 21.3 mm²/s for jojoba endosperm biodiesel.

Öğüt and Oğuz [31] reported in their study that flashpoint was vital in risk classification of the fuels, that the flashpoint needed to be high for its transportation and storage. The flashpoint of the diesel fuel was 74°C while it was over 300°C for the herbal oil, and was 120-220°C for biodiesel. Evaluating the flashpoints in this study proved that the flashpoints of both the jojoba endosperm callus biodiesel and the jojoba endosperm biodiesel are over 120°C [32]. This proves that the flashpoint of the biodiesel produced from the oil under the laboratory conditions is available for transportation and storage.

4. CONCLUSIONS

In this study, which was conducted aiming to deliver a solution to the raw material problem and to present a different untried method to the science world, firstly, the oil was procured under the laboratory conditions, and second, biodiesel was obtained from this oil. The biodiesels, which were produced from the seed oil and under laboratory conditions, were compared. As the conclusion of the biodiesel analyses, it was observed that both of the diesels had similar features regarding fuel features. It was detected that all of the features are in accordance with the literature except for the viscosity and freeze point. It was determined that callus biodiesel procured under laboratory conditions can be used at a mixed proportion, even if not 100%.

This study presents a solution suggestion for the raw material problem of biodiesel, which is emphasized to be more useful concerning environmental and economical aspects. With further development of the methods conducted, it seems possible to sufficiently amplify the herbal oils, which are among the raw materials of the biodiesel, with less material.

Production of biodiesel raw material under laboratory conditions will be useful for cheapening the raw material, for leading the oil production process in the desired quality, and for reducing the dependency on climate and terrain conditions in raw material provision.

5. ACKNOWLEDGMENTS

Data presented in the study were obtained from the Ph.D. thesis of Zeynep ERGÜN (corresponding author) entitled 'Obtaining Biodiesel from Cell Culture Of Some Oil Seed Plants' and this study was published as abstract at the 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017) proceeding book.

Funding: This work was supported by the Cukurova University, Scientific Research Projects

Coordinating Office (project CU-BAP-FDK-2015-3072).

6. REFERENCES

1. Gerpen, J.V., 2005. Biodiesel Processing and Production. *Fuel Processing Technology* 86, 1097–1107.
2. Demirbaş, A., 2008. Biodiesel Production via Rapid Transesterification. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 30(19), 1830–1834.
3. Poddar, T., Jagannath, A., Almansoori, A., 2015. Biodiesel Production Using Reactive Distillation: A Comparative Simulation Study, *Energy Procedia*, 75, 17-22.
4. Chhetri, A.B., Tango, M.S., Budge, S.M., Watts, K.C., Islam, M.R., 2008. Non-Edible Plant Oils as New Sources for Biodiesel Production, *International Journal of Molecular Sciences*, 9(2),169–180.
5. Saydut, A., Duz, M.Z., Kaya, C., Kafadar, A.B., Hamamci, C., 2008. Transesterified Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seed Oil as A Biodiesel Fuel, *Bioresource Technology*, 99(14), 6656–6660.
6. Basha, S.A., Gopal, K.R., Jebaraj, S., 2009. A Review on Biodiesel Production, Combustion, Emissions and Performance, *Renewable and Sustainable Energy*, 13, 1628–1634.
7. Özcanlı, M., Serin, H., Aydın, K., Serin, S., 2011. Ricinus Communis (Castor Oil) Methyl Ester as a Natural Additive for Biodiesel Fuels, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 27(2), 331–336.
8. Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., Natarajan, M., 2012. Review of Biodiesel Composition, Properties, and Specifications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 143–169.
9. Li-Bing, W., Hai-Yan, Y., Xiao-Hui, H., Rui-Ying, L., 2012. Influence of Fatty Acid Composition of Woody Biodiesel Plants on the Fuel Properties, *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 40(4), 397–404.
10. Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N.A.S., Mazaheri, H., 2013. A Review on Novel Processes of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil, *Applied Energy*, 104, 683–710.
11. Verma, P., Sharma, M.P., Dwivedi, G., 2016. Impact of Alcohol on Biodiesel Production and Properties, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 319–333.
12. Akdeşir, Ö., 2001. Antalya Koşullarında Tohumdan Yetiştirilen Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) Bitkilerinin Seleksiyonu ve Çoğaltılma Olanaklarının Saptanması Üzerine Araştırmalar, Akdeniz Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 58. (Investigations on Selection and Propagation Opportunities of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) Plants Grown from Seeds in Antalya Ecology). M.Sc. Thesis, T.C. Akdeniz University Institute of Natural and Applied Sciences.
13. Ayanoğlu, F., 2001. Jojoba (*Simmondsia chinensis* Link. Schneider) ve Türkiye’de Yetiştirilebilme Olanakları III. Jojoba Yağı, Kullanım Alanları ve Ekonomik Önemi. [Jojoba (*Simmondsia Chinensis* Link. Schneider) and Its Culture in Turkey III. Jojoba Oil, Its Uses and Economical Importance], *Anadolu Journal of the Aegean Agricultural Research Institute*, 11(1), 103–112.
14. Öztürk, H.H., 2012. Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi, [Energy Crops and Biofuel Production]. Hasad Yayınevi, İstanbul, Turkey, 272.
15. Aftab, F., Akram, S., Iqbal, J., 2008. Estimation of Fixed Oils from Various Explants and In Vitro Callus Cultures of Jojoba (*Simmondsia chinensis*), *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1467–1471.
16. Canoira, L., Alcántara, R., García-Martínez, J., Carrasco, J., 2006. Biodiesel From Jojoba Oil-wax: Transesterification with Methanol and Properties as a Fuel, *Biomass and Bioenergy* 30, 76–81.
17. Marchetti, J.M., Miguel, V.U., Errazu, A.F., 2007. Possible Methods for Biodiesel Production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 1300–1311.
18. Shah, M., Tariq, M., Ali, S., Guo, Q., Fu, Y., 2014. Transesterification of Jojoba Oil, Sunflower Oil, Neem Oil, Rocket Seed Oil and

- Linseed Oil By Tin Catalysts, Biomass and Bioenergy, 70, 225–229.
19. Murashige, T., Skoog, F., 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures, *Plant Physiology* 15, 473-497.
 20. Bouaid, A., Bajo, L., Martinez, M., Aracil, J., 2007. Optimization of Biodiesel Production from Jojoba Oil, *Process Safety and Environmental Protection*, 85(5), 378-382.
 21. Aksoy, L., 2010. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri [Biodiesel as an Alternative Energy Source and its Production Process], *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 2(3), 45–52.
 22. Singh, S.P., Singh, D., 2010. Biodiesel Production Through the Use of Different Sources and Characterization of Oils and Their Esters as the Substitute of Diesel: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 200–216.
 23. Yildizhan, Ş., Serin, H., 2015. Biodiesel Production from False Flax (*Camelina Sativa*) Oil and its Blends with Diesel Fuel, *The Journal of MacroTrends in Energy and Sustainability*, 3(1), 24–30.
 24. Kaya, C., 2006. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi [Biodiesel Production from Vegetable Oils]. M.Sc. Thesis, T.C. Dicle University Institute of Natural and Applied Sciences.
 25. Selim, M.Y.E., Haik, Y., Al-Omari, S.A.B., Abdulrahman, H., 2011. Biodiesel Oil Derived from Biomass Solid Waste, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol III, London.
 26. Selim, M.Y.E., 2009. Reducing the Viscosity of Jojoba Methyl Ester Diesel Fuel and Effects on Diesel Engine Performance and Roughness. *Energy Conversion and Management*, 50, 1781–1788.
 27. Selim, M.Y.E., Radwan, M.S., Saleh, H.E., 2008. Improving the Performance of Dual Fuel Engines Running on Natural Gas/LPG by Using Pilot Fuel Derived from Jojoba Seeds, *Renewable Energy*, 33, 1173–1185.
 28. Selim, M.Y.E., Radwan, M.S., Elfeky, S.M.S., 2003. Combustion of Jojoba Methyl Ester in an Indirect Injection Diesel Engine, *Renewable Energy*, 28, 1401–1420.
 29. Radwan, M.S., Ismail, M.A., Elfeky, S.M.S., Abu-Elyazeed, O.S.M., 2007. Jojoba Methyl Ester as a Diesel Fuel Substitute: Preparation and Characterization, *Applied Thermal Engineering*, 27, 314–322.
 30. Saribiyik, O.Y., Özcanli, M., Serin, H., Serin, S., Aydin, K., 2010. Biodiesel Production from *Ricinus Communis* Oil and its Blends with Soybean Biodiesel, *Strojnicki Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 56(12), 811–816.
 31. Ögüt, H., Oğuz, H., 2006. Biyodizel: Üçüncü Milenyumun Yakıtı [Biodiesel: The Fuel of Third Millennium]. 2nd ed. Ankara, Turkey: Nobel Yayıncılık, ISBN: 975-591-730-6.
 32. Abdel Fatah, M., Farag, H.A., Osman, M.E., 2012. Production of Biodiesel from Non-edible Oil and Effect of Blending with Diesel on Fuel Properties, *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 2(4), 583–591.

Düzenleyici Ekosistem Hizmetlerinde Toprak Erozyonunun Haritalanması: Göksu Havzası Örneği

Ahmet ÇİLEK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 30.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Toprak erozyonu karasal ekosistemlerde önemli bir küresel çevre sorunu olarak, çevresel kaliteyi ve sosyal ekonomiyi önemli ölçüde etkiler. Karasal ekosistemler, toprağı rüzgar ve su erozyonundan koruyarak insanlara insan refahını sağlayan temel ekosistem hizmetlerinden biri olan toprak erozyon kontrol hizmeti sağlamaktadır. Genellikle yanlış arazi kullanımı ve antropojenik etkilerden dolayı özellikle eğimli arazilerde toprağın tutucu bitki örtüsü azalması ya da yok olması sonucunda topraklar aşınmakta ve taşınmaktadır. Göksu havzası, ülkemizde önemli şiddetli toprak erozyonuna maruz kalan bölgelerinden birisidir. Bu çalışmada bir ekosistem hizmeti olarak erozyon düzenlemesini haritalamak için RUSLE erozyon modelleme yöntemini kullanarak Göksu Havzası için yıllık toprak kaybının belirlenmesi ve sürdürülebilir yönetim/planlama çalışmalarına entegrasyonu amaçlanmıştır. RUSLE yönteminde Yağış faktörü (R), toprak erozyon duyarlılığı faktörü (K), Eğim uzunluğu faktörü (L), eğim dikliği faktörü (S), Arazi Örtüsü ve Alan Kullanım Faktörleri (C) ve erozyon kontrol faktörü (P) kullanılarak bir hesaplama yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ekosistem hizmetlerini sağlamak için faktörlerin potansiyelini ortaya koymakta ve peyzaj yönetimi için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Düzenleyici ekosistem hizmetleri, Toprak erozyonu, Doğu Akdeniz havzası, RUSLE

Mapping Soil Erosion in Regulating Ecosystem Services: The Case of Göksu Basin

Abstract

Soil erosion is a major global environmental problem in terrestrial ecosystems, significantly affecting environmental quality and social economy. Terrestrial ecosystems provide soil erosion control service, one of the basic ecosystem services that provide human well-being to people by protecting the soil from wind and water erosion. Soils are eroded and transported due to the decrease or disappearance of the soil conservative vegetation, especially in sloping lands, due to generally inappropriate land use and anthropogenic effects. Göksu basin is one of the regions in our country exposed to severe soil erosion.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet ÇİLEK, acilek@cu.edu.tr

This study aims to determine the annual soil loss for Göksu Basin by using the RUSLE erosion modelling method to map erosion regulation as an ecosystem service and its integration into sustainable management/planning studies. In the RUSLE method, a calculation is made using the precipitation factor (R), soil erosion susceptibility factor (K), slope length factor (L), slope steepness factor (S), Land Cover and Area Use Factors (C) and erosion control factor (P). The results obtained reveal the potential of factors to provide ecosystem services and provide critical information for landscape management.

Keywords: Regulatory ecosystem services, Soil erosion, Eastern Mediterranean basin, RUSLE

1. GİRİŞ

Uzun bir oluşum sürecine sahip olan topraklar üzerinde yaşayan insan ve diğer bütün canlılar için yaşam ve besin kaynağının temelini oluşturduğu için en önemli doğal kaynaklardır. Aynı zamanda yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli olan hava ve su ile yiyecek ve yakıt gibi temel ihtiyaçların sağlanmasında ve bütün canlı yaşamının devamlılığında en önemli unsur olarak kabul edilmektedir [1]. Topraklar, hidrolojik döngünün sağlanması, bitkiler için fiziksel ortam, besin maddelerinin tutulması ve paylaşılması, atıkların ve organik atıkların dönüşümü, toprak verimliliğinin yenilenmesi ve başlıca element döngülerinin düzenlenmesi olmak üzere temelde altı ana ekosistem hizmeti sunmaktadır [2].

Ancak son yıllarda toprakların yanlış kullanımı ve yanlış toprak işleme çalışmaları sonucunda çok kısa sürede ve büyük miktarlarda erozyonun meydana gelmesine ve bu kaynakların sürdürülebilir kullanımının azalmasına neden olmaktadır. Toprak erozyonu, tarımı, doğal kaynakları ve çevreyi ciddi şekilde tehdit ettiği için bugün dünyadaki en ciddi çevre sorunlarından biridir. Toprak erozyonu, zaman içinde meydana gelen doğal bir süreçtir ve erozyonla ilgili endişelerin çoğu, doğal oranın insan faaliyetleriyle önemli ölçüde arttığı hızlandırılmış erozyonla ilgilidir. Hızlandırılmış toprak erozyonu dünya çapında ciddi bir sorundur ve kapsamı, büyüklüğü, hızı ve bununla ilişkili karmaşık süreçler nedeniyle ekonomik ve çevresel etkisini doğru bir şekilde değerlendirmek zordur [3]. Bu yüzden erozyon çölleşme ve arazi bozulmasını etkileyen en önemli faktörlerden birisi hale gelmektedir. Dünyada yılda yaklaşık 24 milyar ton toprak erozyonu ile üst

toprak kaybolurken [4], ülkemizde 285,5 milyon ton toprak her yıl aşınarak taşınmaktadır [5].

Toprağın kaybolması ile birlikte üzerinde yaşayan bitki ve hayvan varlığındaki çeşitlilik azalmakta, su kaynakları kirlenmekte ve hem karasal hem de sucul ekosistemler zarar görmektedir. Böylece taşınan topraklar ile akarsu, göl, baraj gibi su yapıları ekosistem işlevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirilemeyecektir. Ayrıca erozyon sonucunda baraj rezervuarları çok kısa bir sürede taşınan materyaller ile dolacağı için barajların ekonomik ömürleri de kısıllacaktır. Arazi örtüsünün değişmesiyle toprak erozyonunun değişiminin değerlendirilmesi, restorasyonun verimliliğini ve toprak erozyon kontrolünde ekosistem işlevlerinin eğilimini ve ekosistem hizmet değerlendirmesini anlamak için önemlidir. Ekosistemler, hizmetlerin sağlanması, düzenlenmesi, kültürel ve desteklenmesi dahil olmak üzere insanlara çeşitli faydalar sağlar. Tedarik hizmetleri, insanların ekosistemlerden elde ettikleri gıda, yakıt, lif, tatlı su ve genetik kaynaklar gibi ürünlerdir. Düzenleme hizmetleri, insanların hava kalitesi bakımı, iklim düzenlemesi, erozyon kontrolü, insan hastalıklarının düzenlenmesi ve su arıtma dahil olmak üzere ekosistem süreçlerinin düzenlenmesinden elde ettiği faydalardır. Kültürel hizmetler, insanların ekosistemlerden ruhsal zenginleşme, bilişsel gelişim, yansıtma, rekreasyon ve estetik deneyimler yoluyla elde ettiği maddi olmayan faydalardır. Destek hizmetleri, birincil üretim, oksijen üretimi ve toprak oluşumu gibi diğer tüm ekosistem hizmetlerinin üretimi için gerekli olan hizmetlerdir [6]. Peyzajın izlenmesi küçük ölçeklerde çok fazla bilgi sağlasa da, şiddetli toprak erozyonuna maruz kalan alanlarda toprak

erozyon kontrolünü değerlendirmek için modellere dayalı değerlendirmelere ihtiyaç vardır.

Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için toprak erozyon miktarının mekânsal olarak belirlenmesi, sebep olduğu çevre ve ekonomi sorunlarını azaltılması amacıyla farklı erozyon modelleri geliştirilmiştir. Deneysel, kavramsal ve fiziksel temelli modeller olmak üzere üç tip erozyon modeli bulunmaktadır [7]. Erozyon modelleri genellikle mekânsal değişimi tanımlayarak iklim özellikleri, topografya, arazi örtüsü ve toprak özellikleri olmak üzere dört temel faktör üzerinden basit diferansiyel denklem kullanırlar. Ancak toprak kayıplarının doğruya en yakın tahminlerinde iki kısıtlayıcı faktör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi modellerin yüksek belirsizlikleri ikincisi ise mekan ve zaman değişimleridir.

Deneysel modellerde en çok Universal Soil Loss Equation (USLE) modeli ve bu yöntemin geliştirilerek üretilen Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) modeli kullanılmaktadır. Bu modeller mevcut veri sağlandığı durumda, değişkenler arasındaki istatistiksel anlamsal ilişkiyi tanımlarlar [8]. Deneysel modellerde yer gözlemi, yersel ölçüm, deney ve istatistiksel teknikler ile toprak kaybını ortaya çıkaran baskın değişkenlerin tanımlanması temel alınır [9-11]. Deneysel modeller karışık doğal süreçleri kullanamaz ve yalnız tasarlandığı ölçütle kullanılabilir. Bu yüzden deneysel modellerle erozyon tahminini oluşturmak hızlı olmaktadır ancak bu alanlar için uzun dönemlik veri setinin elde edilmesi gerekmektedir [12].

Bu çalışmada ülkemizdeki erozyon riskinin yüksek olduğu Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Göksu Nehri Havzası'nda Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi kullanılarak RUSLE yöntemi ile toprak erozyon miktarı mekansal olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Böylece RUSLE yönteminde UA ve CBS'nin uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin entegrasyonu ile elde edilen sonuçların ekosistem hizmetleri açısından mekânsal planlama çalışmalarına altlık veriler sağlaması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Göksu Nehri Havzası, Doğu Akdeniz Bölgesinde ve Konya, Karaman ve Mersin illeri sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza, Göksu Nehrinin oluşturduğu derin vadileri ve değişken topografyaya sahip bölgeyi temsil etmektedir. Havzanın yukarı kesimi Orta Toros Dağlarının zirvelerine kadar uzanır ve Göksu Nehri kuzeybatıdan güneydoğuya doğru ilerleyerek Akdeniz'e ulaşır. Havzada nehirden gelen alüvyallerin birikmesiyle oluşan Silifke ovası oluşmuştur ve denize döküldüğü yerde de Göksu Deltası oluşmuştur.

Göksu nehri karstlaşma ve karstik yapılara sahip Sertavul ve Taşeli Platolarını yarararak denize dökülür. Nehir ağı ile oluşan vadi, Torosları Orta ve Batı olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Yaklaşık 11000 km²'lik alana sahip olan Göksu Havzası'nda birçok yüksek alanlar bulunmaktadır. Bunlar, kuzeyde 1760 m yüksekliğe sahip Çoka Dağı ve 2480 m yüksekliğe sahip Özyurt Dağı yer almaktadır. Alanın doğusunda Midilli ve Kavaklı Dağı, güneyinde Alamusa Dağı ve batısında Akçalı Dağları, Akdağ, Kuşak Dağı, Çekiç Dağı, Karadağ ve Haydar Dağı bulunmaktadır. Havzanın deniz seviyesinden en yüksek yeri 2510 m ile Karadağ'dır.

Göksu Havzası, iklimsel yönden Akdeniz iklimi, iç bölümlerde karasal iklim yer almaktadır. İklimsel bu farklılıktan dolayı bitki örtüsü yönünden de Akdeniz ve İran-Turan bitki coğrafyası arasında geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Bölge yazın az miktarda yağış alırken, kışın yoğun yağış almaktadır. Akdeniz iklimine sahip bölge bitki örtüsü bakımından makilikler, 700-900 m yüksekliklere kadar uzanan kızılçam ormanları, 800-1400 m yüksekliklerde meşe ormanları, 1200-2100 m yüksekliklerde ise göknar, ardıç ve sedir ormanları bulunmaktadır [13]. Orman üst sınırı olan 2100 metreden yüksekte yer yer subalpinik bitki örtüsü yayılışı görülmektedir.

Alan dâhilinde ortalama eğim 6,11 derece olurken en düşük eğim 0, en yüksek eğim ise 89 dereceyi bulmaktadır. Yükseklik 0 ile 2509 m arasında yer

almakta ve topoğrafya, arazi örtüsü, toprak, yaban hayatı, hidrolojik yapı, jeoloji ve iklim bakımından önemli bir karakteristik yapıya sahiptir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

2.2. Veriler

Göksu havzasında toprak kaybını modellemek için RUSLE modelinde kullanılan temel veriler farklı kurumlardan ve kuruluşlardan temin edilmiştir. Modelde, iklim, topoğrafya, toprak, arazi örtüsü/arazi kullanımı ve doğal bitki örtüsüne ait veriler kullanılmıştır. Çalışma alanı içinde ve çevresinde yer alan büyük klima, 180 adet küçük klima istasyonu verileri temin edilmiştir. RUSLE-K faktörü, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı Türkiye Büyük Toprak Grupları "K" Faktörleri raporundan [14] faydalanılarak elde edilmiştir. Topografik verileri 30 m yersel çözünürlüğünde ASTER ve SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) uydu verilerinden temin edilmiştir. Arazi örtüsüne ait bilgiler ise Landsat 8 uydu görüntülerinden üretilen Normalize edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) verileridir.

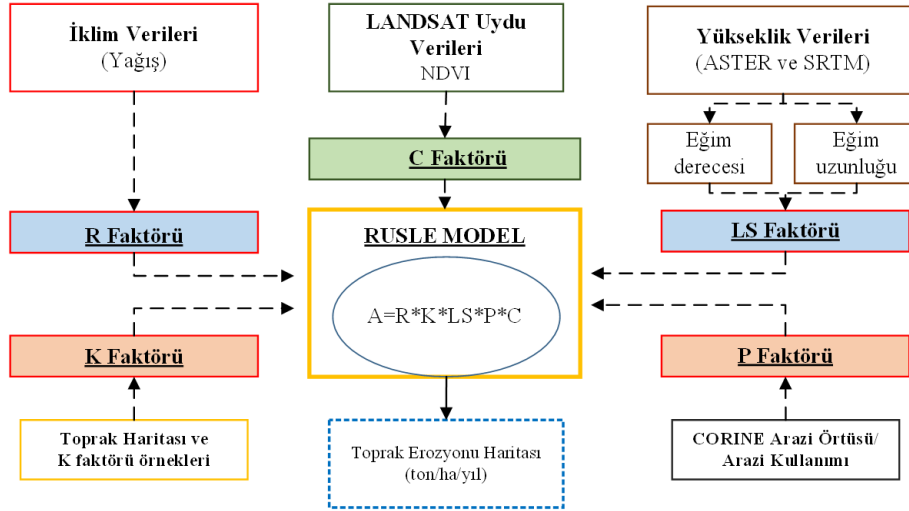
2.3. Yöntem

1985 yılında ABD Tarım Bakanlığı ve araştırmacılar USLE modeli üzerinde çalışmış ve

1987'de revize edilerek RUSLE modeli geliştirilmiştir [7]. RUSLE modeli için, USLE modeline yeni eklemeler getirilerek yenilenmiştir. Sadece tarımsal araziler için değil, aynı zamanda kentsel kullanımlara, orman kullanımına, otlak ve mera alanlarına ve karayollarındaki eğimli alanlara kadar geniş kullanım alanı ortaya konulmuştur. RUSLE yönteminde uzun dönemde yağmur damlası etkisi ve yüzey akışının oluşturduğu toprak kaybı yıllık hektar başına ton olarak altı farklı değişkenden oluşan Eşitlik 1 yardımıyla tahmin etmektedir [15].

$$A=R*K*L*S*C*P \quad (1)$$

Burada; A: ortalama toprak kaybını (ton/ha/yıl), R: Yağış aşındırma faktörünü, K: Toprak erozyon duyarlılığı faktörünü, L: Eğim uzunluğu faktörünü, S: Eğim dikliği faktörünü, C: arazi örtüsü ve kullanım faktörünü, P ise erozyon kontrol faktörünü temsil etmektedir.



Şekil 2. RUSLE yöntemi akış şeması

3. BULGULAR

RUSLE yöntemi ile model için gerekli değişkenlerin üretilmesi ve eşitlikte belirtildiği gibi çarpılarak hektar başına düşen yıllık erozyon miktarı hesaplanmıştır.

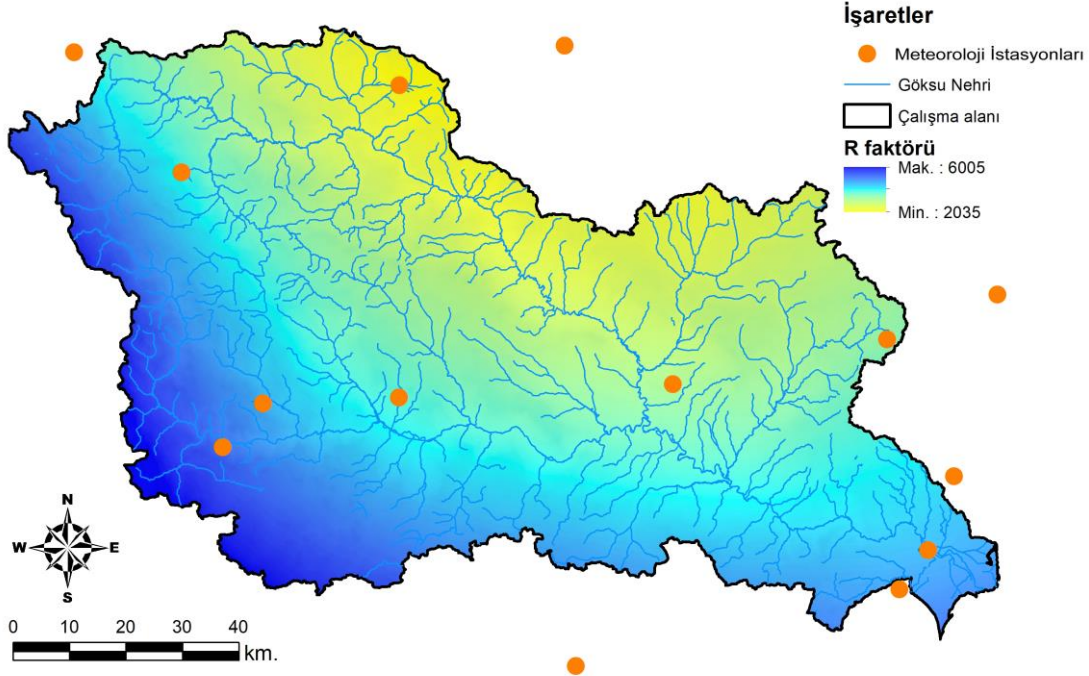
3.1. Yağış Aşındırma Faktörü (R)

Yağış Aşındırma faktörü (R), RUSLE eşitliğinde yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum yoğunluklarının çarpımı ile elde edilir. Bu faktör, toprak kaybı oranını etkileyen önemli faktörlerden birisidir ve yağışın miktarı ile yoğunluğuna bağlıdır [16]. Yüzeysel akışı ve yağışlar tarafından oluşan yüzey ve oluk erozyonunu temsil eder. Yağışın 30 dakikadaki maksimum yoğunluğunda olan yağışların toplamının yıllık yağış miktarının toplamına oranı olarak kullanılmaktadır. Bu değerler meteoroloji istasyonlarında yaygın bir şekilde ölçülmediğinden birçok hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu kapsamda yağışın yıllık ve aylık ortalamalarının hesaba katıldığı Wischmeier ve Smith [17] tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 2).

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1,735 \times 10^{1,5 \text{Log} p_i^2 / P - 0,8188} \quad (2)$$

Burada: R: Yağış aşındırma faktörü pi: Aylık ortalama yağış (mm) P: Yıllık ortalama yağışı (mm) ifade eder.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 1975-2020 tarihleri arasında Büyük Klima ve Küçük Klima istasyonlarına ait yağış verileri temin edilmiştir. İstasyon bazlı elde edilen veriler enlem, boylam ve yükseklik değerleri ile eşleştirilerek ANUSPLIN yazılımı aracılığıyla ince-plaka yumuşatma eğrileri fonksiyonu (thin-plate smoothing spline functions) uygulanmıştır. ANUSPLIN paketi, kapsamlı istatistiksel analizler, veri tanılama ve mekansal olarak dağıtılmış standart hatalar aracılığıyla ince plaka yumuşatma eğrilerini kullanılarak gürültülü çok değişkenli verilerin şeffaf analizi ve interpolasyonuna olanak sağlar. Ayrıca esnek veri girişi ve yüzey sorgulama prosedürlerini de destekler. Bu yöntemle bağımlı ve bağımsız değişkenler ilişkili olduğunda birçok yüzey yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir. Ayrıca az sayıda veriler ile değişkenler arasında dönüşümlere izin vererek standart hataları hesaplar ve küçük sapmaları düzeltir. Bu düzeltmenin özellikle yağış verileri veya doğal olarak pozitif veya negatif olmayan diğer verilerde de uygun olduğu tespit edilmiştir [18]. 17 adet meteoroloji istasyonundan alınan verilerden 12 aylık ortalama yağış haritası üretilmiş ve yukarıda belirtilen eşitlik ile RUSLE-R Faktörü elde edilmiştir (Şekil 3)



Şekil 3. Göksu havzası RUSLE yağış aşındırma (R) faktörü

3.2. Toprak Aşınabilirlik Faktörü (K)

Toprak aşınabilirlik (K) faktörü Universal Soil Loss Equation (USLE) içerisinde %9 eğim ve 22,1 metre eğim uzunluğundaki bir arazi ünitesinde birim erozyon indisi ile hektardan kaybolan toprağın ton olarak ifadesidir. Fiziksel ve kimyasal olarak farklı özelliklere sahip olan topraklar farklı derecelerde aşınırlar. Toprakların fiziksel özellikleri, aşınabilirlik derecelerine etkili en önemli hususlardır [14].

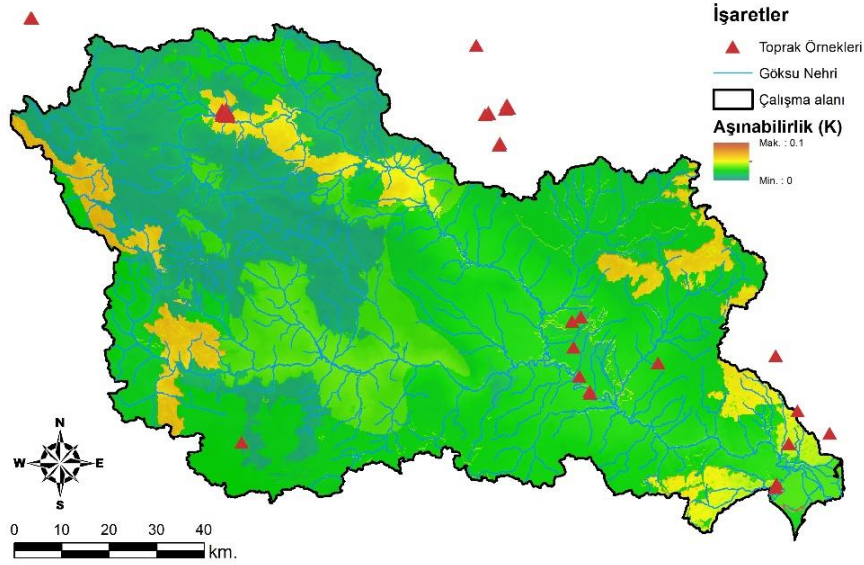
K faktör değerleri, Türkiye’de 10 adet Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü tarafından Büyük Toprak Gruplarına göre 0-15 ve 15-30 cm derinliklerde örnekler alınarak oluşturulmuştur. Oluşturulan noktasal K faktörleri değerleri, her büyük toprak grubu için çoklu regresyon yöntemi uygulanarak K faktörü haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Oluşturulan modellerde K faktörü hedef veri olurken, her bir toprak grubuna ait ortalama kil, silt, kum değerleri, 30 m çözünürlükte yükseklik verisi, eğim verisi, enlem ve boylam değerleri tahmin edici değişkenler olarak

kullanılmıştır. Tahmin edilen K faktörü değerleri en düşük 0,001 en yüksek 0,080 olmak üzere ortalama 0,021 değerini almaktadır. Nokta değerlerinin %20’si model geçerliliği için sınınmış ve (RMSE) ortalama toplam hata 0,010 olarak belirlenmiştir (p=0,05 alınmıştır).

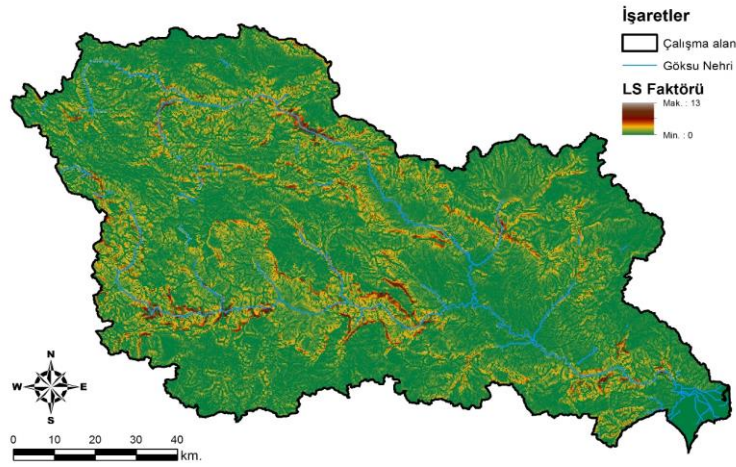
3.3. Topografik Faktörler (LS)

RUSLE modeli eğim faktörünü eğimin derecesi ve eğimin uzunluğunun etkisi olarak kullanmaktadır. Eğimin uzunluğu (L), yüzey akışının oluşacağı noktadan eğimin azalarak toprağın veya yüzey akışının birikmeye başlayacağı yere kadar olan yatay mesafedir [17]. LS faktörü, 22,13 m uzunluğundaki ve %9 eğime sahip bir alandaki toprak kaybını temsil eder. Bu faktör yamacın eğimini ve yamacın uzunluğunu dahil ederek Moore ve Burch [19-21] tarafından önerilen Eşitlik 3’e göre belirlenmektedir (Şekil 5).

$$\text{Pow}((\text{flowacc}) * \text{resolution} / 22,1, 0,6) * \text{Pow}(\text{Sin}((\text{slope}) * 0,01745) / 0,09, 1,3) \quad (3)$$



Şekil 4. Göksu Havzası RUSLE toprak aşınabilirlik (K) faktörü



Şekil 5. Göksu Havzası RUSLE eğim uzunluğu ve engebelilik (LS) faktörü

3.4. Arazi Örtüsü ve Alan Kullanım Faktörleri (C)

Erozyonun oluşmasına neden olan yersel durumu ifade eden arazi örtüsü ve alan kullanım faktörü RUSLE modelinde en önemli faktörlerden birisidir [22]. Topraktaki biyokütle ve bitki örtüsü kapallılığının artması ile C faktörü azalırken, bitki

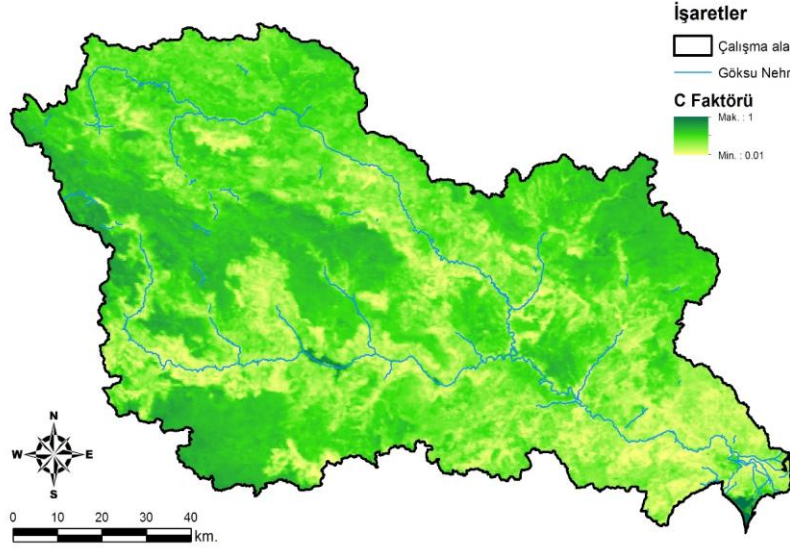
örtüsünden yoksun, düşük biyokütleyle sahip arazi kullanımlarında ise C faktörü artmaktadır.

Çalışmada C faktörünün hesaplanmasında 2018 yılına ait Landsat 8 görüntülerinden elden edilen Normalize Edilmiş Vejetasyon İndeksi (NDVI) verileri kullanılmıştır. RUSLE modeli C faktöründe bitki örtüsünün kapallılığını niceliksel

olarak Eşitlik 4'teki gibi NDVI verileri kullanılarak tahmin edilmektedir (Şekil 6) [23,24].

$$C = e^{(-\alpha(NDVI/(\beta-NDVI)))} \quad (4)$$

Bu eşitlikte α ve β : NDVI ve C faktörüne ait istatistiksel ilişkiyi belirleyen parametreler Van der Knijff ve arkadaşları [23] tarafından yapılan çalışmalar sonucunda α ve β için en uygun değerler sırasıyla 2 ve 1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Göksu havzası RUSLE C faktörü

3.5. Erozyon Kontrol Faktörü

Erozyon kontrol faktörü (P) arazide erozyon kontrolü veya önlemine yönelik herhangi bir koruma uygulamasının olup olmadığıyla ilgilendir. Küçük ölçekli çalışmalarda bu bilgiler kolaylıkla temin edilebilmektedir. Ancak havza ölçeğinde verilerin temin edilmesi güç olduğundan arazi örtüsü bazında erozyon kontrol faktörü değerleri sınıflandırılmış ve P faktörü olarak kullanılmıştır (Çizelge 1). Birçok çalışmada ise verilerin temin edilememesinde dolayı bu faktör değeri tüm alanlar için 1 olarak alınmaktadır [25-28]. Bu çalışmalar erozyon kontrolü uygulamadan önceki durumun belirlenmesi aşamalarında kullanılması uygun olabilmektedir.

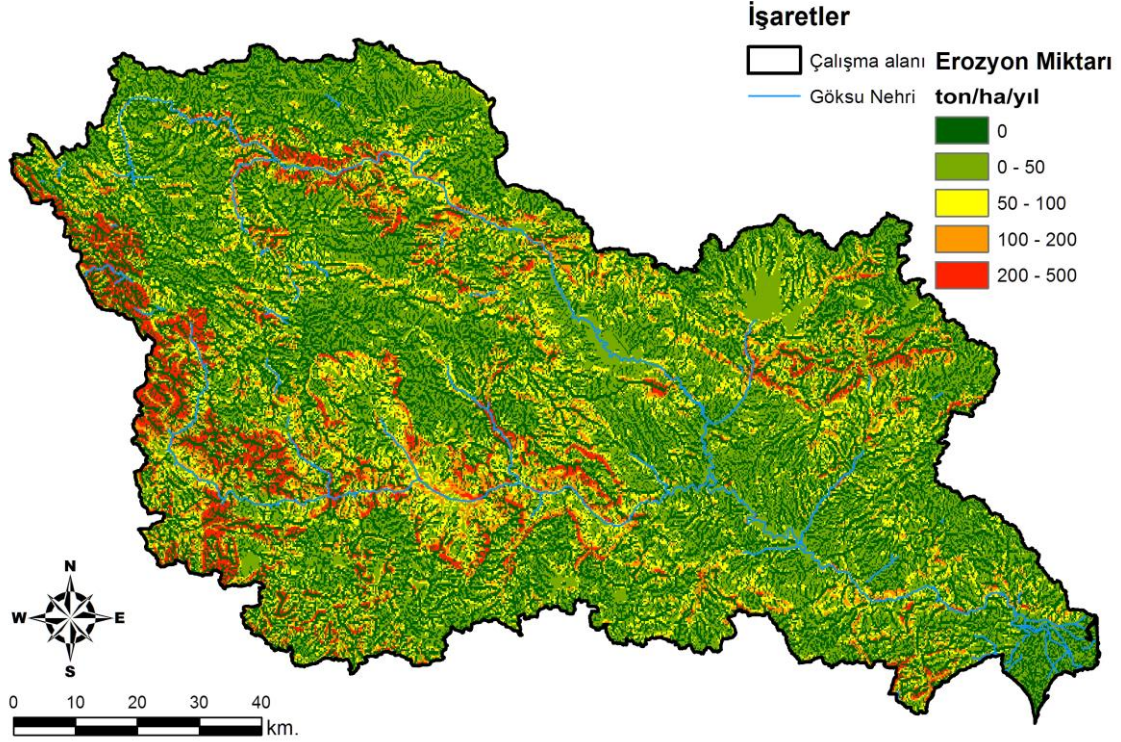
3.6. RUSLE Modeli Sonuçları

RUSLE toprak erozyon yönteminde tüm faktörlere bağlı olarak A faktörü (ton/ha/yıl) CBS ortamında

tahmin edilmiştir (Şekil 7). Model sonuçlarına göre çalışma alanında erozyon 0 ile 2297 ton/ha/yıl arasında hesaplanmıştır. Ortalama erozyon 46,2 ton/ha/yıl, standart sapma ile 98,1, toplam erozyon miktarı ise 9.985.626 ton/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 1. RUSLE P faktörü değerleri [29]

Sıra no	Arazi örtüsü/Arazi kullanımı	P değeri
1	Yoğun bitki örtüsü	1
2	Seyrek bitki örtüsü	0,8
3	Yerleşim alanı	1
4	Su yüzeyleri	1
5	Çalılıklar	1
6	Tarımsal alanlar	0,5
7	Nadasa bırakılmış alanlar	0,9
8	Çıplak alanlar/kayalıklar	1



Şekil 8. Göksu havzası RUSLE tahmini erozyon haritası

Erozyon riski açısından RUSLE yöntemi sonucunda oluşturulan erozyon risk analizi haritasına göre; erozyon riskinin olmadığı alanlar %42 oranında olduğu görülmektedir. Çalışma alanının %31'lik kısmı 0-50 ton/ha/yıl arasında, %14'lük kısmın 50-100 ton/ha/yıl aralığında olduğu, geriye kalan %28'lik kısmın ise 100 ton/ha/yıl'dan büyük olduğu hesaplanmıştır. En yüksek riskin, havzanın batısında bulunan ve dağlık ve engebeli alanlarda olduğu görülmektedir. Ekosistem servislerinde toprak koruma planlamasında ortaya konulacak durum gruplamalarındaki değerler ile toprak kaybı toleransı arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Mevcut toprak kaybı miktarını toprak koruma planlarında kabul edilebilir düzeye indirgeyebilmek için alanda hangi faktörlerin erozyon üzerinde olumsuz etkilediği matematiksel denklemlerle ortaya konulmaktadır. Böylece alanlar için elde edilen sonuçların yanı sıra arazi kullanma ve koruma önlemleri planlamasının da uygulanmasında önemli bir veri olarak kullanılacaktır.

4. SONUÇLAR

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de toprak kaybının neden olduğu en önemli etkenlerden birisi erozyondur. Arazi morfolojisindeki değişkenlikler, iklimsel etkiler, arazi örtüsü/arazi kullanımı ve toprak özelliklerinin etkileşimleri sonucu doğal erozyon meydana gelirken, insanların doğaya kontrolsüz bir şekilde müdahalesi sonucunda erozyon bir afete dönüşmektedir. İnsan etkisinin en önemli göstergesi olan Arazi örtüsü/Arazi kullanımı üzerinde meydana gelen değişimler ekosistemler üzerinden büyük etkiler meydana getirmektedir. Havzalarda gerçekleşebilecek bozulma diğer sistemlerin de etkin bir şekilde çalışmasını engelleyecektir. Ekosistem hizmetleri açısından havzalarda sürdürülebilir planlama ve yönetim çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için potansiyel toprak kaybı miktarının ve mekânsal dağılımının belirlenmesi önemlidir. Bu bağlamda

çalışma, dağlık havza ölçeğinde potansiyel toprak erozyonu alanlarının mekansal dağılımını ölçmek ve haritalamak için jeo-uzamsal analiz araçlarının potansiyelini göstermektedir.

Sonuç olarak yoğun toprak kaybı olan bölgelerde bitki örtüsünün restorasyonunu geliştirmek için büyük çalışmalar gereklidir. Ayrıca oyuk alanlarında uygun biyolojik bariyerlerin ve jeo-teknik tesislerin inşa edilmesi gerekmektedir. Yoğun ve yanlış tarım uygulamaları erozyonu ve erozyondan kaynaklı bozulmaları hızlandırmaktadır. Hızlandırılmış toprak erozyonu, küresel sorunlar su kalitesi ve yenilenebilirlik, insan kaynaklı karbon emisyonlarının dengelenmesi, küresel ısınmanın azaltılması, gıda ve çevre güvenliği, biyoçeşitlilik gibi birçok konu ile bağlantılıdır. Bu nedenle, toprak koruma, erozyon kontrolü ve erozyona uğramış toprakların restorasyonu önemli politika zorunluluklarına sahiptir. Bu bağlamda erozyonun yüksek olduğu tarım sektörü için temel amaç, çiftçileri ve arazi yöneticilerini, toprağı ve çevreyi iyileştirmek için onarıcı arazi kullanımı ve uygun toprak/mahsul/hayvan yönetimi uygulamalarını benimsemeye teşvik etmek olmalıdır. Ayrıca, tarım için elverişsiz yüksek erozyon riski bulunan alanlar için çiftçilere alternatif geçim kaynakları sağlayacak endüstriyel transfer ve kırsal kalkınma gibi programlar geliştirilmelidir. Böylesi alanlar için büyük ölçekli bir koruma ve izleme programı kurulmalıdır. Bu açıdan çalışma alanında toprağı koruyacak önlemler alınarak etkili bir şekilde işletilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Blanco-Canqui, H., Lal, R., 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer, Dordrecht, The Ohio State University, Columbus, OH, USA, ISBN: 978-1-4020-8708-0, 129.
2. Daily, G.C., Matson, P.A., Vitousek, P.M., 1997. Ecosystem Services Supplied By Soil. In G.C. Daily, ed. Nature Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems, Island Press, Washington, DC, 113–132.
3. Erkal, T., Yıldırım, Ü., 2012. Soil Erosion Risk Assessment in the Sincanlı Sub-watershed of the Akarçay Basin (Afyonkarahisar, Turkey) Using the Universal Soil Loss Equation (USLE). *Ekoloji*, 21(84), 18-29.
4. ÇMTUEP, 2005. Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Planı, Çölleşme ile Mücadele Ulusal Koordinasyon Birimi, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları No: 250, Ankara, 124.
5. Berberoglu, S., Cilek, A., Kirkby, M., Irvine, B., Donmez, C., 2020. Spatial and Temporal Evaluation of Soil Erosion in Turkey Under Climate Change Scenarios Using the Pan-european Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) Model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(8), 491.
6. Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC.
7. Lal, R., 1994. Soil Erosion Research Methods. St. Lucie Press. Soil and Water Conservation Society, Delray Beach, Ankeny, 340.
8. Kadupitiya, H.K., 2002. Empirical Evaluation and Comparative Study of Use of Erosion Modelling in Small Catchments in Naivasha, Kenya, Master Tezi, ITC, Enschede.
9. Petter, P., 1992. GIS and Remote Sensing for Soil Erosion Studies in Semi-arid Environments, Doktora Tezi, University of Lund, Lund, 250.
10. Güney, Y., 2018. Frekans Oranı Yönteminin Erozyon Duyarlılık Analizinde Kullanımı: Selendi Çayı Havzası (Manisa) Örneği, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 73-85.
11. Cilek, A., Berberoglu, S., Donmez, C., Unal Cilek, M., 2020. Generation of High-Resolution 3-D Maps for Landscape Planning and Design Using UAV Technologies. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 5, 275–284.
12. Elirehema, Y.S., 2001. Soil Water Erosion Modeling in Selected Watersheds in Southern Spain, IFA, ITC, Enschede, 42.
13. Ünal, A., 1989. Karaman-Mut Karayolu Doğusunda Kalan Bölgenin Fitososyolojik ve Fitoekolojik Yönden Araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya, 150.

14. Doğan, O., Cebel, H., Küçükçakar, N., Akgül, S., 2000. Türkiye Büyük Toprak Grupları "K" Faktörleri, Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
15. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agriculture Handbook 703 USDA, Washington.
16. Naqvi, H.R., Devi, L.M., Siddiqui, M.A., 2012. Soil Lossprediction and Prioritization Based on Revised Universal Soil Lossestimation (RUSLE) Model Using Geospatial Technique. International Journal of Environmental Protection, 2(3), 39-43.
17. Wismeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning USDA Agricultural Handbook, ABD Tarım Bakanlığı, Washington, DC, ABD.
18. Hutchinson, M., 2007. ANUSPLIN Version 4.3.
19. Moore, I.D., Burch, G.J. 1986a. Modeling Erosion and Deposition, Topographic Effects Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 29, 1624-1630.
20. Moore, I.D, Burch, G.J., 1986b. Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation, Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 1294-1298.
21. Mitsova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L.R., 1996. Modelling Topographic Potential for Erosion and Deposition Using GIS, Int. J. Geographical Information Systems, 10(5), 629-641.
22. Toy, T.J., Foster, G.R., Renard, K.G., 1999. RUSLE for Mining, Construction and Reclamation Lands, Journal of Soil and Water Conservation, 54(2), 462-467.
23. Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Europe, EUR 19044 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
24. Van Leeuwen, W.J.D., Sammons, G., 2004. Vegetation Dynamics and Soil Erosion Modeling Using Remotely Sensed Data (MODIS) and GIS, Tenth Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference, 5-9 Nisan 2004, UT. US Department of Agriculture Forest Service Remote Sensing Applications Center, Salt Lake City.
25. Wachal, D.J., Banks, K.E., 2007. Integration GIS and Erosion Modeling: A Tool for Watershed Management, ESRI 2007 International User Conference, No: UC1038.
26. Tağıl, Ş., 2007. Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli kullanarak Arazi Degradasyonu Risk Değerlendirmesi, Ekoloji, 60, 11-20.
27. Erdoğan, M.A., Esbah, H., Berberoglu, S., 2016. Erosion Risk Mapping Using RUSLE with GIS: Case Study of Büyük Menderes River Basin of Turkey , Int. J. of Safety and Security Eng., 6(2), 132-140.
28. Çilek, A., Berberoğlu, S., Dönmez, C., 2014. PESERA ve RUSLE Erozyon Modellerinin Akdeniz ve Ege Havzaları Örneğinde Karşılaştırılması. V. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.
29. United States Department of Agriculture, USDA, 1981. Handbook no. 282.

Multi Response Optimization of Friction Stir Spot Welding Process Using Taguchi Based Grey Relational Analysis

Onur ER¹, Mustafa Kemal KÜLEKÇİ², Uğur EŞME², Cem BOĞA^{*3}

¹Suptek Yağ Keçeleri San. ve Tic. A.Ş., İstanbul

²Tarsus University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Mersin

³Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana

Geliş tarihi: 13.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Abstract

Friction stir spot welding (FSSW) is a solid state welding method mainly used to join non-ferrous metals and their alloys. When opposed to other welding processes, FSSW has the benefits of being pollution-free and having no filler material. In this study an attempt was made for multi response optimization of friction stir spot welded EN AW 5005 aluminum alloy using Taguchi method and Grey relational analysis (GRA). Pin height (h, mm), tool rotation (S, rpm), and welding time (t, s) were used as input parameters while tensile shear strength (TSS, MPa) and joint efficiency (JE, %) were used as multi response parameters. Therefore, Taguchi's L8 orthogonal design matrix was used in order to plan the experiments. GRA was then applied to determine the optimum condition which gives the higher grey relational degree. Analysis of Variance method (ANOVA) was also carried out in order to show the most significant parameter. Finally, confirmation test was applied to confirm the results and determine the improvement in grey relational grade throughout this method. The best results were obtained with parameters such as 2.6 mm pin height, 1500 rpm tool rotation and 10 s welding time with 122.16 MPa TSS and 111.05 JE. A significant improvement of 0.310 was obtained in the optimal parameter in grey relation grade.

Keywords: Friction stir spot welding, Aluminum alloy, Taguchi method, Grey relational analysis

Taguchi Tabanlı Gri İlişkisel Analiz Kullanılarak Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak İşleminin Çoklu Yanıt Optimizasyonu

Öz

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), esasen demir dışı metalleri ve alaşımlarını birleştirmek için kullanılan katı hal kaynak yöntemidir. Diğer kaynak işlemlerinin aksine SKNK, kirlilikten arındırma ve dolgu malzemesine sahip olmama avantajlarına sahiptir. Bu çalışmada, Taguchi yöntemi ve Gri ilişkisel analiz (GİA) kullanılarak sürtünme karıştırma noktası kaynaklı EN AW 5005 alüminyum alaşımının çoklu yanıt optimizasyonu için bir girişimde bulunulmuştur. Girdi parametreleri olarak pim yüksekliği (h, mm), takım dönüşü (S, rpm) ve kaynak süresi (t, s) kullanılırken, çoklu yanıt olarak çekme kesme dayanımı (ÇKD, MPa) ve bağlantı performansı (% BP) kullanılmıştır. Bu nedenle, deneyleri planlamak amacıyla Taguchi'nin L8 ortogonal tasarım matrisi kullanılmıştır. Daha sonra daha yüksek gri ilişkisel

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Cem BOĞA, cboga@atu.edu.tr

dereceyi veren optimum koşulu belirlemek için gri ilişkisel analiz uygulanmıştır. En önemli parametrenin gösterilmesi için Varyans Analizi (ANOVA) yöntemi de yapılmıştır. Son olarak, sonuçları doğrulamak ve bu yöntem boyunca gri ilişkisel derecedeki gelişmeyi belirlemek için doğrulama testi uygulanmıştır. 122,16 MPa çekme kesme dayanımı ve 111,05 bağlantı verimi ile en iyi sonuçlar, 2,6 mm pim yüksekliği, 1500 rpm takım dönüşü ve 10 s kaynak süresi gibi parametrelerde elde edilmiştir. Gri ilişki derecesinde optimal parametrede, 0,310'luk önemli bir iyileşme elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, Alüminyum alaşımı, Taguchi yöntemi, Gri ilişkisel analiz

1. INTRODUCTION

The friction stir spot welding (FSSW) method, which is a variant of the friction stir welding (FSW) method, is a modern joint method that is commonly used in the alloy welding method for joining body structures as used in automotive industry with reduced welding times and energy consumption [1]. FSSW is a related method that may not require a filler component to add material to the cavity produced by the withdrawing tool [2,3]. So, having no filler material is one of the advantage of this method. The revolving tool is sunk to a fixed depth through the lower sheet. The tool is then placed for a brief time in the lower metal sheets before being retracted. A circular protrusion that is also called weld keyhole on the upper sheet layer is produced when a small volume of fluid is pushed out of the back after retracting the tool back. The schematic representation of the process is shown in Figure 1.

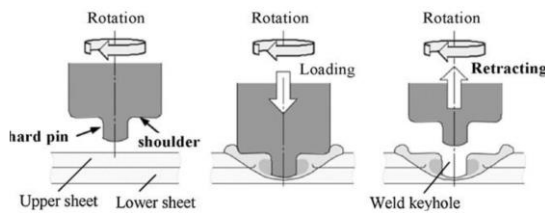


Figure 1. Schematic illustration of FSSW process [1]

In industry, there are robotic FSW implementations. For a range of factors, including their extensive use in the automobile industry, their ability to navigate three-dimensional paths frequently, and their low cost make industrial robots the ideal option for conducting FSW [3,4].

Weld processing parameters and tool geometry are thought to play a significant role in the strength of friction stir spot welds. Tool rotational speed, plunge depth, and hold time are all considerations in the welding process. Shoulder geometry and pin geometry are two examples of tool geometry combinations. Many study worked on the optimization of the FSSW process in the literature shows that the strength of the friction stir spot welded samples related to the size of the weld region and process parameter conditions [1,5,6]. Kumar et al. [7] optimized FSSW parameters for Aluminum alloys using Taguchi orthogonal array and analysis of variance (ANOVA). As a result of their studies, they determined that the rotation of the tool is the most important factor for the maximum tensile strength value. Jambhale et al. [8] using Taguchi grey based optimization method, investigated the effects of four parameters such as tool tilt angle, tool rotational speed, dwell time and tool pin profile on shear strength and microhardness in FSSW process of aluminum alloy sheets. According to ANOVA results, they reported that the most effective factor is the tool rotational speed. Raj Kumar et al. [9] used the Taguchi approach to determine the most effective process parameters that give the better tensile strength value when welding AA6063 aluminum alloy with FSSW method. They reported that parameters such as rotational speed, tool profile and axial force are the most effective factors in determining the maximum tensile strength. Abbas et al. [10] used Taguchi experimental design for optimization of the welding parameter when joining an aluminum alloy (AA5754-H114) plate with pure copper (Cu) plate using FSSW technique. They showed that maximum shear forces were obtained after welding with a straight

cylindrical pin profile by taking the rotation speed of 1000 rpm and the plunging time for 90 seconds. Castro et al. [11] carried out experimental tests designed according to Taguchi method to determine the optimum welding parameters of refill FSSW and to investigate its effects on mechanical properties. The results showed that the most effective parameters on shear strength are rotational speed and tool plunge depth. Ibrahim and Yapici [12] conducted a Taguchi L_9 orthogonal array experiment design to evaluate the effect of process parameters during the joining of 2024 and 6061 aluminum alloy sheets using the FSSW method. They determined that the most effective parameter in terms of mechanical performance is the tool rotation speed. Zuo et al. [13] used a quadratic regression model with Box-Behnken design to investigate the effect of process parameters such as rotation speed, plunge depth and welding time on shear stress when combining Al/Cu two different materials with FSSW technique. As a result, they stated that the most effective factors in order of importance are rotation speed, welding time and depth of penetration, respectively. Santana et al. [14] combined 3 mm thick Al-Mg-Si alloys in Refill FSSW. They used experimental design and ANOVA for optimization of shear load. After microstructural analysis, they determined that rotation speed and plunge depth play an important role on mechanical performance. Suresh et al. [15] examined the optimum process parameters by Grey rational analysis in order to improve the weld strength in combining 6061-T6 alloy aluminum material by swept FSSW method. Their experiments were done by filling the guide hole with Taguchi L_{16} array with Silicon Carbide nanoparticles. As a result, it showed that the maximum shear strength and hardness value can be reached when the guide hole diameter = 3 mm, the rotation speed = 1600 rpm and the moving speed = 20 mm/min. Suryanarayanan and Sridhar [16] performed an optimization study of some process parameters in FSSW method using response surface methodology with Box-Behnken design. After ANOVA, they determined that the most effective parameter on the tensile shear force of the welded joint was the shoulder diameter, then factors such as plunge depth, plunge speed, tool rotation speed and dwell time.

The aim of this research is multi-objective optimization of the friction stir spot welded EN AW5005 aluminum alloy using Taguchi based grey relation analysis.

2. METHODOLOGY AND PROCEDURES FOR EXPERIMENTS

2.1. Experimental Details

EN AW5005 aluminum alloy with 1.5 mm thickness was cut in length of 100 mm x 25 mm. The chemical composition (percent by weight, wt.%) and mechanical properties of workpiece material is shown in Table 1. H13 hot work tool steel was used as the welding tool due to its high wear resistance and toughness at high temperatures and easy availability [3]. The welding tool of 10 mm shoulder diameter and 50 mm length and circular type tool pin profile with 2.2 mm and 2.6 mm pin height was used during the experiments. The plunge depth of 2mm was kept constant for each experiments. The tool pin profile and geometry is shown in Figure 2.

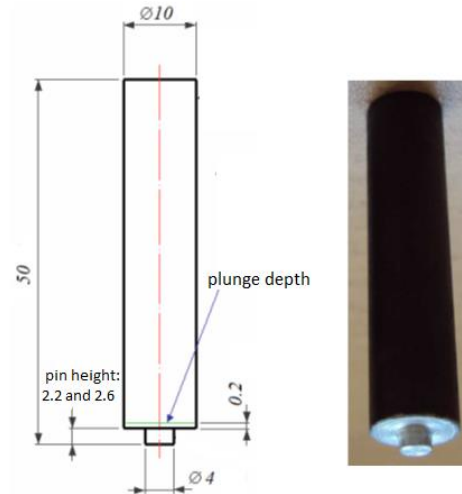


Figure 2. Tool pin profile used in the experiments

As given in Figure 3(a), the prepared workpieces were overlapped with the dimensions of 25 mm x 25 mm before the welding. Then, FSSW was performed on the vertical CNC milling machine (Figure 3(b)).

Tensile test shown in Figure 3(c) has been applied on the welded samples using INSTRON 8801 tensile testing machine and test results recorded and processed by Bluehill software.

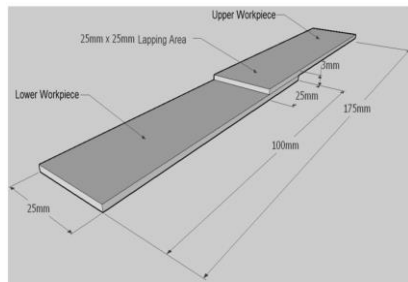
2.2. Taguchi Design of Experiments

In the 1920s, British statistician Sir Ronald Fisher, who is known as the father of statistical science, discovered and created experimental design during his study in the field of agriculture [17,18]. Fisher is often invented the study of ANOVA technique,

which is still used to analyze experimental data today. The method has been used extensively in a short period of time to improve agricultural production in the United States, and it has greatly contributed to America’s leadership role in this area [17]. Dr. Genichi Taguchi is one of the people who has contributed to Japan’s great quality breakthroughs from 1940s today. Dr. Taguchi is an engineer who has made significant contributions to the production of industrial products and processes in Japan.

Table 1. Chemical composition (wt.%) and mechanical properties of the workpiece

Chemical composition (wt.%)	Cr	Fe	Mn	Mg	Si	Cu	Al
	0.10	0.45	0.15	0.50-1.10	0.30	0.050	Balance
Mechanical properties	Yield strength (MPa)		Tensile strength (MPa)		Elongation (%)		Hardness (HV)
	45		110		15		32



(a)



(b)



(c)

Figure 3. (a) Configuration and dimensions of the workpieces, (b) FSSW process using vertical CNC milling machine, (c) Tensile testing machine

Taguchi made a name for himself in the world with the innovations he made to Ronald Fisher’s experimental design process, as well as his success in the construction of the Japanese telephone system project, which was one of the most

significant projects in Japan after Second World War II. Dr. Taguchi recommended using robust design and fractional factorial design approaches to complete the project in just four years. This method utilizes orthogonal design matrix which

helps designer to design experiments with a limited number of trials. The signal to noise ratio (S/N) is often used in the method to serve an objective purpose within the experimental range that needs to be optimized (minimized or maximized). The Taguchi approach, on the other hand, cannot solve the multi-objective optimization problem by itself. In a broad range of engineering applications, the Taguchi method combined with Grey relational analysis (GRA) can overcome this problem and solve multi-response designed problems. This technique successfully builds optimization experiments using orthogonal

arrays. In the present work, an attempt has been made for multi response modeling and optimization of FSSW responses such as tensile shear strength (TSS, Mpa) and joint efficiency (JE, %) using the input welding parameters of pin height (h, mm), tool rotation (S, rpm) and welding time (t, s).

Therefore, Taguchi's L_8 orthogonal design matrix consisting of 8 sets of data was used in order to plan the experiments. The levels of parameters is shown in Table 2.

Table 2. Parameter level of FSSW process

Parameters	Notation	Unit	Levels of parameters	
			1	2
Pin height	h	mm	2.2*	2.6
Tool rotation	S	rpm	1500*	2000
Welding time	t	s	5*	10

* Initial FSSW parameters

JE is defined as the ratio of the strength of a welded joint to the strength of the used base material. The 8 sets of coded experimental runs corresponding to TSS and JE is shown in Table 3.

For the evaluation of the optimum FSSW parameter combination needed to overcome the required weld quality within the studied region, all these data were used for GRA.

Table 3. L_8 experimental run and results

Run no	Parameters			Experimental results	
	h	S	t	TSS (MPa)	JE (%)
1	1	2	1	58.92	53.56
2	1	1	1	60.66	55.15
3	1	1	2	100.71	91.55
4	2	2	1	70.86	64.42
5	1	2	2	70.27	63.88
6	2	2	2	69.66	63.33
7	2	1	1	102.70	93.36
8	2	1	2	122.16	111.05

2.3. Grey Relational Analysis (GRA) and Terminology

Although the black region of the GRA contains no data, the white region contains data completely. The grey system, on the other hand, denotes the degree of detail between black and white. In other words, although some information in the grey system is known, other information is unknown. GRA is one of the grey modeling subheadings. To

decide the degree of relationship between the variables, each factor in the method was compared to a reference sequence [19].

The first step is grey relation generation which is the normalization of experimental data from 0 to 1. The Grey relational coefficient (GRC) for each experimental level is then determined using normalized values in order to establish a relationship between the actual and desired results.

Averaging the corresponding GRC for the selected answer yields the overall grey relation generation. The best parametric combination is the one with the highest grey relation generation in this method. In the present work, the larger the better (LB) criterion was used to evaluate the normalized reference sequences for ultimate TSS and JE. The LB criteria is defined as follows [19]:

$$x_i(k) = \frac{y_i(k) - \min y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (1)$$

hereby, $x_i(k)$ is obtained after grey relation generation, $\min y_i(k)$ is the lowest $y_i(k)$ value of the k^{th} response, $\max y_i(k)$ is the highest $y_i(k)$ value of the k^{th} response. $x_0(k)$ ($k=1, 2, 3, \dots, 8$) corresponds the reference series.

In the process of GRG analysis, the idea of the grey relational degree is to show the degree of the relation between 8 sequences $[x_0(k) \text{ and } x_i(k), i=1, 2, 3, \dots, 8]$. After that, the GRC $\xi_i(k)$ is defined as [19]:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} - \psi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \psi \Delta_{\max}} \quad (2)$$

hereby, $\Delta_{0i} = |x_0(k) - x_i(k)|$ is the absolute difference value; $\Delta_{\max} = |x_0(k) - x_j(k)|$ and $\Delta_{\min} = |x_0(k) - x_j(k)|$ refers to maximum and minimum difference respectively, ψ is the distinguishing coefficient

$\psi \in [0, 1]$, here, ψ was considered as $\psi_{UTSS} = \psi_{JE} = 0.50$ for each responses.

Finally, the grey relational grade (GRG) which is the last step of the method is a calculation of the similarity degree between each factor level's comparability and reference sequences. The GRG $\Gamma(x_0, x_i)$ for each FSSW response could be determined by taking the average of GRCs as given in Equation 3 [19].

$$\Gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi(x_0(k), x_i(k)) \quad (3)$$

hereby, n represents the number of responses. The higher the GRG value means the stronger the relationship between the comparison and the given series. As a result, a higher GRG implies that the associated parameter combination is extremely close to its ideal value [19].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Determination of Optimum FSSW Condition

As a first step of GRA method, measured and calculated data were normalized using Equation 1 to obtain GRG. The normalized data and the difference of the absolute value for each of the responses have been calculated and given in Table 4.

Table 4. Normalized values and Δ_{0i} for each responses

Run	Normalization		Δ_{0i}	
	TSS	JE	TSS	E
Reference series	1.000	1.000	1.000	1.000
1	0.000	0.479	1.000	0.521
2	0.002	0.493	0.998	0.507
3	0.056	0.823	0.944	0.177
4	0.016	0.577	0.984	0.423
5	0.015	0.572	0.985	0.428
6	0.014	0.567	0.986	0.433
7	0.059	0.840	0.941	0.160
8	0.085	1.000	0.915	0.000

The distinguishing coefficient (ψ) is a number that varies from 0 to 1. According to a study of the literature, the GRG is unaffected by distinguishing factors [20]. In the present study, each response is

given an equal weight of 0.50. Table 5 displays the GRCs determined using Equations 2 and 3 for each response corresponding GRG.

Table 5. Grey relation coefficient and corresponding GRG with their rank

Run	GRC ($\xi_i(k)$)		GRG ($\Gamma(x_0, x_i)$)	Rank
	TSS	JE		
1	0.250	0.390	0.320	8
2	0.250	0.396	0.323	7
3	0.261	0.653	0.457	3
4	0.253	0.441	0.347	4
5	0.253	0.438	0.345	5
6	0.253	0.435	0.344	6
7	0.261	0.675	0.468	2
8	0.267	1.000	0.633	1

It is now time to use Equation 4 given below to measure the S/N ratio based on the greater the better criterion for overall GRG [19].

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (4)$$

hereby, y_i is the experimental value of the i^{th} response in the experiment at the k^{th} test, and n is the number of test. Table 6 shows the conversion of GRG to S/N ratio.

Table 6. GRG and related S/N ratios

Run	GRG	S/N
1	0.320	-9.897
2	0.323	-9.816
3	0.457	-6.802
4	0.347	-9.193
5	0.345	-9.244
6	0.344	-9.269
7	0.468	-6.595
8	0.633	-3.972

The highest GRG and S/N values indicate that the setting of selected parameters is very similar to the optimum value within the experimental domain. In the present work, the highest GRG and S/N ratios of 0.633 and -3.972, respectively, for the FSSW parameter combination of; pin height at level 2,

tool rotation at level 1 and welding time at level 2 ($h_2S_1t_2$) were obtained at the 8th experimental run. Figure 4 shows the graphical presentation of the S/N ratio and GRG versus parameter level. The average of the GRG and S/N ratio is shown by the dashed line.

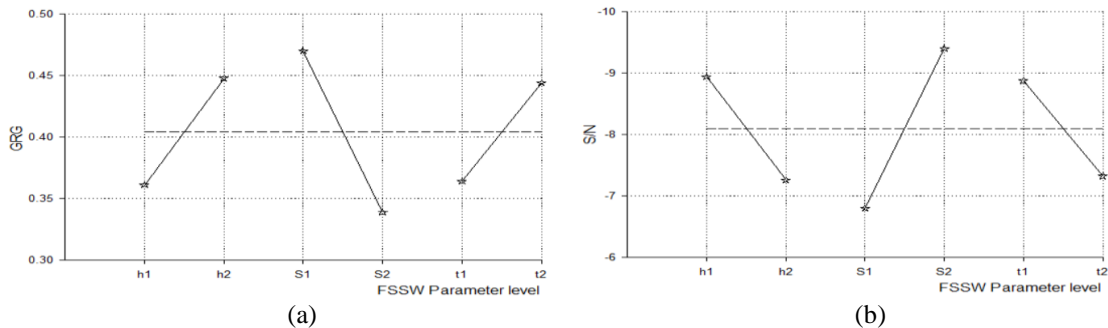


Figure 4. (a) Mean GRG, (b) S/N

The relative size of each impact is indicated by delta statistics, which is formulated as the maximum value minus the minimum value. In accordance with the delta analysis; tool rotation

has the highest rank value, followed by pin height and welding time respectively. Table 7 illustrates the average GRG and S/N ratios for each level of average results.

Table 7. GRG and S/N mean response table

F	Mean GRG			
	L1	L2	Delta=max-min	R
h	0.361	0.448	0.086	2
S	0.470	0.339	0.131	1
t	0.364	0.444	0.080	3
<i>Total mean GRG = 0.404</i>				
F	S/N			
	L1	L2	Delta=max-min	R
h	-8.940	-7.257	1.682	2
S	-6.796	-9.401	2.605	1
t	-8.875	-7.322	1.554	3
<i>Total mean S/N= -8.098, F:Factors, L:Level, R:Rank</i>				

3.2. ANOVA Analysis

The ANOVA method is a common statistical technique used to determine the significance of each factor on the process quality characteristics. In other words, it provides a simple picture of how much each process parameter influences the

response, as well as the importance of each parameter [19,21-30]. In order to indicate the importance of the parameters on the selected response, Fisher’s F ratio test was used, which is the ratio of the mean of squared deviations to the mean of the squared error [17]. Table 8 depicts the ANOVA results for FSSW parameters.

Table 8. ANOVA results for FSW parameters

Parameter	Degree of freedom	Sum of square	Mean square	F ratio	Contribution (%)
h	1	0.015	0.015	69.00	17.442
S	1	0.034	0.034	157.95	39.535
t	1	0.013	0.013	59.05	15.116
hxS	1	0.011	0.011	49.87	12.791
Sxt	1	0.009	0.009	43.97	10.465
error	2	0.004	0.0002		4.651
Total	7	0.086			100
<i>Std dev.=0.015, R-Sq=99.48%, R-Sq (adj)=98.17%, R-Sq (pred)=91.16%</i>					

In accordance with the ANOVA analysis, it is evident that tool rotation (39.535% contribution) and pin height (17.44% contribution) are the most effective parameter while welding time (15.11%

contribution) is the least effective parameter on TSS and JE. Figure 5 shows the graphical representation of percent contribution of FSSW parameters.

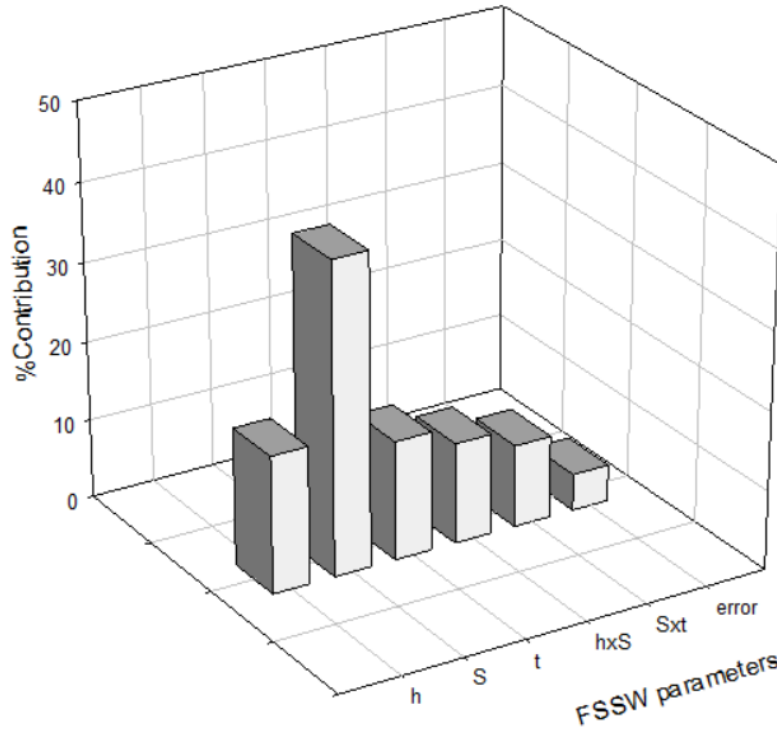


Figure 5. Contribution percentages of FSSW parameters

3.3. Confirmatory Test

The confirmatory test was carried out in this study at the optimal parameter combination ($h_2S_1t_2$) to confirm the improvement in process responses and the validity of the optimum welding condition. The predicted GRG ($\hat{\gamma}$) could be expressed as [19-21]:

$$\hat{\gamma} = \gamma_a + \sum_{i=1}^p (\gamma_{oi} - \gamma_a) \quad (5)$$

hereby, γ_a represents the total average GRG, $\bar{\gamma}_o$ represents the average GRG at the optimum level, and p represents the number of design parameters [19]. Table 9 shows the confirmation test results. It is evident from the confirmatory test results that there is a 0.310 increase in overall GRG. In FSSW process, this is the main indicator of effectiveness of the proposed Taguchi based grey relation optimization methodology. Furthermore, the method demonstrated that under the determined optimum welding condition, higher TSS of 122.16 MPa and JE of 111.05 were obtained.

Table 9. Confirmatory test results

	Initial parameter settings	Optimal FSSW condition	
		Prediction	Experiment
Optimum parameter level	$h_1S_1t_1$	$h_2S_1t_2$	$h_2S_1t_2$
Pin height (mm)	2.2	-	2.6
Tool rotation (rpm)	1500	-	1500
Welding time (s)	5	-	10
Grey relational grade	0.323	0.625	0.633
<i>Improvement in GRG: 0.310</i>			

4. CONCLUDING REMARKS

This research used the Taguchi based GRA approach to optimize the FSSW process parameters for EN AW-5005 aluminum alloy with 1.5 mm thickness. The following results are the conclusions that can be taken from this research:

1. The Taguchi based grey relation approach was successfully applied to FSSW of aluminum alloys.
2. The experiments were carried out successfully using Taguchi's L_8 orthogonal design array, which varied process parameters such as pin height, tool rotation, and welding time.
3. Under FSSW parameters of 2.6 mm pin height, 1500 rpm tool rotation and 10 s welding time, the best results for TSS of 122.16 MPa and JE of 111.05 were obtained.
4. The ANOVA study reveals that tool rotation (39.53%), pin height (17.44%), and welding time (15.11%) are the most important welding parameters on the responses.
5. At the optimal parameter setting, a significant improvement in GRG of 0.310 was obtained.

5. REFERENCES

1. Yang, Q., Mironov, S., Sato, Y.S., Okamoto, K., 2010. Material Flow During Friction Stir Spot Welding, *Material Science and Engineering: A*, 527(16-17), 4389-4398. doi:10.1016/j.msea.2010.03.082.
2. Muci-Kuchler, K.H., Itapu, S.K., Arbegast, W.J., Koch, K.J., 2005. Visualization of Material Flow in Friction Stir Spot Welding, *SAE International*, 3323. <https://doi.org/10.4271/2005-01-3323>
3. Kulekci, M.K., Esme, U., Er, O., Kazancoglu, Y., 2011. Modeling and Prediction of Weld Shear Strength in Friction Stir Spot Welding Using Design of Experiments and Neural Network, 42(11), 990-995. Doi: 10.1002/mawe.201100781.
4. Smith, C.B., 2000. Robotic Friction Stir Welding Using a Standard Industrial Robot, *Tower Automotive, Milwaukee*, 1-12.
5. Cam, G., Gucluer, S., Cakan, A., Serindag, H.T., 2009. Mechanical Properties of Friction Stir Butt-Welded Al-5086 H32 Plate, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 40(8):638-642, doi: 10.1002/mawe.200800455
6. Badarinarayan, H., Shi, Y., Li, X., Okamoto, K., 2009. Effect of Tool Geometry on Hook Formation and Static Strength of Friction Stir Spot Welded Aluminium 5754-0 sheets, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 49(11), 814-823. Doi: 10.1016/j.ijmachtools.2009.06.001.
7. Kumar, C.L., Jayakumar, V., Bharathiraja, G., 2019. Optimization of Welding Parameters for Friction Stir Spot Welding of AA6062 with Similar and Dissimilar Thicknesses, *Materials Today: Proceedings*, 19(2), 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.204>.
8. Jambhale, S., Kumar, S., Kumar, S., 2020. Multi-response Optimization of Friction Stir Spot Welded Joint with Grey Relational Analysis, *Materials Today: Proceedings*, 27(1), 1900-1908. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.830>
9. Raj Kumar, P., Nandhakumar, S., Seenivasan, S., Chandraprakash, R., 2021. Parametric Optimization of Friction Stir Spot Welded Aluminium AA6063 Alloy Joints, *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 2897-2902. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.667>
10. Abbass, M.K., Hussein, S.K., Kudair, A.A., 2021. Optimization and Characterization of Friction Stir Spot Welding of Aluminum Alloy (AA 5754-H114) with Pure Copper Sheet, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1094, 1-13. doi:10.1088/1757-899X/1094/1/012054
11. Castro, C.C., Plaine, A.H., Alcântara, N.G., Santos, J.F., 2018. Taguchi Approach for the Optimization of Refill Friction Stir Spot Welding Parameters for AA2198-T8 Aluminum Alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99, 1927-1936. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2609-2>.

12. Ibrahim, I.J., Yapici, G.G., 2019. Optimization of the Intermediate Layer Friction Stir Spot Welding Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(1-4), 993–1004. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03952-3>
13. Zuo, Y., Kong, L., Liu, Z., Lv, Z., Wen, H., 2020. Process Parameters Optimization of Refill Friction Stir Spot Welded Al/Cu Joint by Response Surface Method. *Trans Indian Inst Met.*, 73(12), 2975–2984. <https://doi.org/10.1007/s12666-020-02100-w>
14. Santana, L.M., Suhuddin, U.F.H., Ölscher, M.H., Strohaecker, T.R., dos Santos, J.F., 2017. Process Optimization and Microstructure Analysis in Refill Friction Stir Spot Welding of 3-mm-thick Al-Mg-Si Aluminum Alloy, *Int J Adv Manuf Technol*, 92, 4213–4220. Doi 10.1007/s00170-017-0432-9
15. Suresh, S., Venkatesan, K., Natarajan, E., Rajesh, S., 2020. Performance Analysis of Nano Silicon Carbide Reinforced Swept Friction Stir Spot Weld Joint in AA6061-T6 Alloy. *Silicon*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00751-4>.
16. Suryanarayanan, R., Sridhar, V.G., 2020. Effect of Process Parameters in Pinless Friction Stir Spot Welding of Al 5754-Al 6061 Alloys, *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 9, 261–272. <https://doi.org/10.1007/s13632-020-00626-5>.
17. Yanar, N., 2008. Using Taguchi Method Specifying the Parameters that Affects Surface Roughness in Hydraulic Cylinder Manufacturing, MSc Thesis, Selcuk University Graduate School of Natural And Applied Sciences Department of Industrial Engineering, 74.
18. Sirvanci, M., 2011. *Experiment Design for Quality*. 112.
19. Datta, S., Bandyopadhyay, A., Kumar, P.P., 2008. Grey-Based Taguchi Method for Optimization of Bead Geometry in Submerged Arc Bead-on-Plate Welding, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39, 1136-1143. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1283-6>
20. Meran C., 2006. The Joint Properties of Brass Plates by Friction Stir Welding, *Materials and Design*, 27(9), 719-726. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.05.006>
21. Kumar Sahu, P., Kumari, K., Pal, S., Pal, S.K., 2016. Hybrid Fuzzy-grey-taguchi Based Multi Weld Quality Optimization of Al/Cu Dissimilar Friction Stir Welded Joints, *Advances in Manufacturing*, 4(3), 237–247. <http://dx.doi.org/10.1007/s40436-016-0151-8>
22. Sun, S.J., Kim, J.S., Lee, W.G., Lim, J.Y., Go, Y., Kim, Y.M., 2017. Influence of Friction Stir Welding on Mechanical Properties of Butt Joints of AZ61 Magnesium Alloy, *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2017/7381403>.
23. Shaik, B., Gowd, H.G., Prasad, B.D., 2019. Investigations on Friction Stir Welding Process to Optimize the Multi Responses Using GRA Method. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(3), 341–352.
24. Prasath, S., Vijayan, S., Elil, R.D., 2020. Multi Response Optimization of Friction Stir Welding Process Parameters on Dissimilar Magnesium Alloys AZ31 and ZM21 using Taguchi-Based Grey Relation Analysis, *La Metallurgia Italiana*, 8, 18-27.
25. Palani, K., Elanchezhian, C., 2018. Multi response Optimization of Friction Stir Welding Process Parameters in Dissimilar Alloys Using Grey Relational Analysis, the 3rd International Conference on Materials and Manufacturing Engineering, 390, 1-8. doi:10.1088/1757-899X/390/1/012061.
26. Vijayan, S., Raju, R., Rao, S.R.K., 2010. Multiobjective Optimization of Friction Stir Welding Process Parameters on Aluminum Alloy AA5083 Using Taguchi-based Grey Relation Analysis, *Materials and Manufacturing Processes*, 25, 1206-1212. <https://doi.org/10.1080/10426910903536782>
27. Gupta, S.K., Pandey, K.N., Kumar, R., 2014. Multi-Objective Optimization of Friction Stir Welding of Aluminium Alloy Using Grey Relation Analysis with Entropy Measurement Method, *Nirma Univeristy Journal of Engineering and Technology*, 3(1), 29-34. <https://doi.org/10.1177/1464420715627294>
28. Babu, K.K., Panneerselvam, K., Sathiya, P., Haq, A.N., Sundarajan, S., Mastanaiah, P., Srinivasa Murthy, C.V., 2018. Parameter

- Optimization of Friction Stir Welding of Cryorolled AA2219 Alloy Using Artificial Neural Network Modeling with Genetic Algorithm, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3117-3129. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0897-6>.
29. Yunus, M., Alsoufi, M.S., 2018. Mathematical Modelling of a Friction Stir Welding Process to Predict the Joint Strength of Two Dissimilar Aluminium Alloys Using Experimental Data and Genetic Programming, *Modelling and Simulation in Engineering*, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2018/4183816>.
30. Yousif, Y.K., Daws, K.M., Kazem, B.I., 2008. Prediction of Friction Stir Welding Characteristic Using Neural Network, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(3), 151-155.

İletim Hatlarında Meydana Gelen Elektromanyetik Alanın İnsanlar Üzerindeki Etkilerinin Analizi

Yıldırım ÖZÜPAK*¹

¹Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır

Geliş tarihi: 27.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Güç sistemlerinde yüksek gerilim, güç kayıplarını azaltmak ve enerjinin dağıtım yerinden uzak mesafelere iletilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Fakat akım taşıyan yüksek gerilim iletim hatlarının yakınında elektromanyetik alan da meydana gelmektedir. Bu elektromanyetik alanlar, iletim hatlarının çevresinde yaşayan insanlar için zararlıdır. Bu çalışmada, yüksek gerilim (YG) iletim hatlarında oluşan elektromanyetik alan dağılımının analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz ve simülasyon için Sonlu Elemanlar Yöntemine (SEY) dayalı çözüm gerçekleştiren ANSYS simülasyon programı kullanılmıştır. Programın temel çalışma prensibi, yapıyı, gövdeyi veya belirlenen alanı sonlu elemanlar ile alt alanlara bölerek çözüm gerçekleştirmektir. Elektromanyetik alan dağılımını elde etmek için, güç iletim hattı, akım yükü, faz hatlarındaki sarkma, elektrik direklerinin konumları gibi farklı elektriksel ve geometrik parametreler dikkate alınarak 154 kV'luk iletim hattı ve iletim hattı yakınında yaşayan halk için simüle edilmiştir. Simülasyonlardan insanların elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmasına ilişkin analiz sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: YG iletim hattı, Elektromanyetik alan, İnsan maruziyeti, SEY

Analysis of the Effects of Electromagnetic Fields Occuring in Transmission Lines on Humans

Abstract

High voltage in power systems is used to reduce power losses and to transmit energy to long distances from the distribution location. However, electromagnetic fields also occur near current-carrying high-voltage transmission lines. These electromagnetic fields are harmful to people living around transmission lines. In this study, the analysis of the electromagnetic field distribution in high voltage (HV) transmission lines has been carried out. ANSYS simulation program, which realizes a solution based on Finite Element Method (FEM), was used for analysis and simulation. The basic working principle of the program is to realize a solution by dividing the structure, the body or the specified area into sub-areas with finite elements. In order to obtain the electromagnetic field distribution, people living near 154 kV transmission line and transmission line were simulated taking into account different electrical and geometric parameters such as power transmission line, current load, sag in phase lines, positions of electric poles. Analysis results of human exposure to electric and magnetic fields were obtained from simulations.

Keywords: HV transmission line, Electromagnetic field, Human exposure, FEM

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yıldırım ÖZÜPAK, yildirimosupak@gmail.com

1. GİRİŞ

Teknoloji ve endüstrideki gelişmeler insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Ancak, elektrikli makineler, endüstriyel aletler, güç hatları ve iletişim cihazları kullanılarak elektromanyetik alanlara (EM) maruz kalınması, bu teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak meydana gelmiş ve biyolojik yaşamları tehdit etmektedir [1-3].

Elektrik enerjisi, günlük aktivitelerdeki en faydalı ve en pratik enerjilerden biridir. Bu enerji, su türbini jeneratörleri, buhar türbini jeneratörleri, gaz türbini jeneratörleri gibi farklı enerji santrallerinden üretilmektedir. Jeneratörün çıkış gerilimi, bir yükseltici güç transformatörü ile artırılarak iletim hattına aktarılır. İletim sisteminde yüksek gerilim kullanılması güç kayıplarını ve gerilim düşüşünü azaltmaktadır. Bu yüksek gerilim daha sonra güç dağıtım sistemindeki kademeli bir güç transformatörü ile düşürülmektedir.

1970'lerin sonlarından bu yana, düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmanın sağlık açısından olumsuz sonuçlara yol açtığı konusunda araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda önemli sorunları başarıyla çözen çok fazla araştırma yapılmıştır. Statik alanlardan 300 GHz'ye kadar tüm frekans aralığında EM'ye maruz kalmayı sınırlayan yönergeleri formüle etmek için çalışma yapılmıştır [4].

Yüksek seviyelerde (100 μ T'nin üzerinde) akut maruziyetten, bilinen biyofiziksel mekanizmalarla açıklanan, yerleşik biyolojik etkiler vardır. Düşük frekanslı dış manyetik alanlar, vücutta çok yüksek alan kuvvetlerinde sinir ve kas uyarılmasına ve merkezi sinir sisteminde sinir hücresi uyarılabilirliğinde değişikliklere neden olan elektrik alanlarını ve akımlarını indükler. Statik elektrik alanlarına benzer harici düşük frekanslı elektrik alanları, başlangıçta yüksüz nesnelere içinde elektrik yüklerinin yeniden dağılımına ve sonuç olarak vücut yüzeyinin yüklenmesine neden olur. Bu, yüklü saçta etki eden periyodik elektromekanik kuvvetlere yol açar. Ayrıca, alternatif akım yükleri vücut yüzeyinde veya topraklanmış nesnelere periyodik deşarjlara neden olabilir. Statik alanların

aksine, periyodik yeniden şarj, intrakorporeal elektrik akımlarını, yeterince güçlüyse sinir ve kas hücrelerini uyarabilen elektrik alan kuvvetlerini indükler. Manyetik alanlar, indüksiyon yasasına göre frekans ve kesit alanı ile artan intrakorporeal elektrik alan kuvvetlerini indükler. Sonuç olarak, vücut içinde indüklenen elektrik alanlarının kuvveti, merkezden vücut yüzeyine doğru sıfırdan maksimuma yükselir.

50 Hz veya 60 Hz frekans ile çalışan bazı cihazların yakınında, manyetik alan değerleri birkaç 100 μ T düzeyinde olabilir. Güç hatlarının altında, manyetik alanlar yaklaşık 20 μ T olabilmektedir [5]. Bununla birlikte, evlerdeki ortalama konut güç frekansı manyetik alanları çok daha düşüktür. Bu riskle ilgili artan kamuoyu endişesi, manyetik alan bileşeni için "dikkat seviyeleri" ve "kalite hedefleri" gibi kavramlar getirerek, birkaç ulusal ve uluslararası kuruluşun izin verilen maruz kalma seviyelerinde ihtiyatlı olarak kısıtlayıcı sınırlamalar koymasına neden olmuştur.

1999/519/EC Avrupa Konseyi Tavsiyesi (EC, 1999) Ek I'de genel halkın maruziyetini sınırlandırmak için temel kısıtlamaları ve referans seviyelerini tanımlamıştır. Bu, EM'ye mesleki maruziyet hakkındaki 2013/35/EU direktifi ile eklenmiştir. EC (1999) ve ICNIRP (1998) uyarınca, doğrudan yerleşik sağlık etkilerine ve biyolojik mülahalalara dayanan, zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlara maruz kalma ile ilgili kısıtlamalar "temel kısıtlamalar" olarak adlandırılır. Bu nedenle, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) ve Avrupa Tavsiyeleri, elektrik alanları için kamu maruz kalma sınırını 5 kV/m ve manyetik alanlar durumunda 10 μ T olarak belirlemiştir [6]. Bu sınırlamalara uymak için, elektrik sistemleriyle ilişkili elektromanyetik alan ortamını, özellikle bölge üzerinde en geniş etkiye sahip olan elektrik güç hatlarını gerçekçi bir şekilde ölçmek gerekir. Sayısal olarak tahmin edilen sonuçların doğruluğunun simülasyonlarda kullanılan detay derecesine bağlı olması nedeniyle, birkaç elektriksel ve geometrik parametre dikkate alınmıştır. Bunlar, hatların akım yükü, havai hatların varlığı, aktif iletkenler sarkması ve elektrik kulelerinin konumlarıdır. Yüksek gerilim, iletim hatlarında elektromanyetik alanlar meydana

getirmektedir. Bu elektromanyetik alan, bir iletim hattının yakınındaki operatörler ve sakinler gibi insanlar için tehlike oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, elektromanyetik alanların bir iletim hattı üzerindeki dağılımı, sonlu elemanlar yöntemine (SEY) dayalı simülasyon kullanılarak incelenmiştir. 154 kV'luk iletim hattının elektromanyetik alanı analiz edilmiştir. Bu analiz ile elektromanyetik alanın iletim hatlarına yakın yaşayan insanlara ne kadar etki ettiği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. İletim Hattındaki Elektromanyetik Alan Hesabı

Elektromanyetik alan hesaplamasında, elektromanyetik alanın şiddeti (H), elektromanyetik akı yoğunluğu (B), $B = \mu H$ ile ilişkilidir. Helmholtz denklemi Eşitlik 1'de verilmiştir [7]. Sistem frekansı 50 Hz olduğu için, bir elektromanyetik alan, aşağıda tanımlanan mevcut denklem yasası olarak modellenmiştir:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} - \varepsilon \mu \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} - \mu \sigma \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Burada μ manyetik geçirgenlik, σ iletkenlik ve ε dielektrik geçirgenlik sabitidir.

Zaman harmonik sistemi $H = H e^{j\omega t}$ dikkate alındığında, eşitlik şu hale gelir (Eşitlik 2, 3):

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = -\omega^2 H \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = j\omega H \quad (3)$$

Burada ω açısal frekanstır.

Denklem daha sonra şu şekilde basitleştirilir (Eşitlik 4):

$$\nabla^2 H - j\omega \sigma \mu H + \omega^2 \varepsilon \mu H = 0 \quad (4)$$

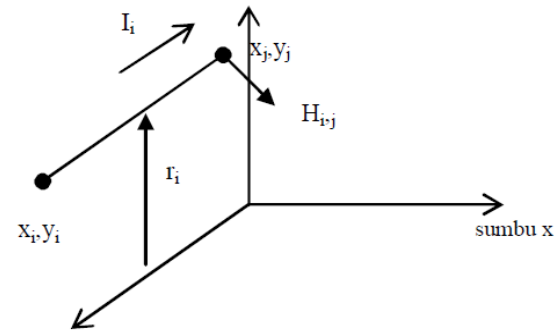
Üç boyutlu olarak şu şekilde yazılabilir (Eşitlik 5):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) - (j\omega \mu \sigma - \mu \varepsilon \omega^2) H = 0 \quad (5)$$

2.2. Simülasyon Yöntemi ve SEY

SEY, çoğunlukla yapı, termal ve elektromanyetik problemleri çözmek için kullanılan sayısal yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, temel geometri alt geometrilere bölünerek bu alt geometri arasında eşkenar üçgenler veya düzgün dörtgenler kullanılarak sorunlar çözülmüştür. Sonlu elemanlar üzerindeki süreç, sonsuz küçük elemanlara nesne yapısı modellenmesine ilişkin bir bölünme sürecidir. Bu öğeler, nesnenin küçük ağlarla birbirlerine bağlanmaktadır. Hesaplama yöntemi, büyük bir geometriyi birleştirilecek küçük ağlar kullanılarak hesaplamaktır.

İletim hattının yakınındaki elektromanyetik alan hesaplamasının genel yöntemi, iletim hattının düz toprak yüzeyine paralel olduğu varsayıldığı iki boyutlu bir analiz kullanılarak hesaplanmıştır. Koordinat sistemi Şekil 1'de gösterildiği gibi açıklanabilir. İletim hattının iletkeni Z eksenine paraleldir. İletken üzerinde akan akım, I_i Z eksenine zıt yöndedir. Yönü, $x_j y_j$ ve toprak yüzeyinden uzaklığı r_{ij} olan elektromanyetik alan yoğunluğu aşağıdaki gibi genliğe sahiptir [7].



Şekil 1. Koordinat hesaplama sistemi

$$H_{ij} = \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \quad (6)$$

Eşitlik vektörel olarak şu şekilde yazılabilir (Eşitlik 7):

$$H_{ji} = \frac{I_i \times r_{ji}}{2\pi r_{ji}^2} = \frac{I_i}{2\pi r_{ji}} \Phi_{ji} \quad (7)$$

Yön birimi vektörü Φ_{ji} için denklem şöyle olur (Eşitlik 8):

$$H_{ji} = -\frac{y_i - y_j}{r_{ij}} u_x + \frac{x_i - x_j}{r_{ij}} u_y \quad (8)$$

Burada u_x , X eksenine ile u_y ise Y eksenine paralel yön vektör birimidir. Akım taşıyan iletkenler varsa, toplam elektromanyetik alan yoğunluğu şu şekilde tanımlanabilir (Eşitlik 9):

$$H_{ji} = \sum \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \Phi_{ij} \quad (9)$$

Üç fazlı iletim hattının yakınındaki elektromanyetik alan, özellikle iletim hattından uzak bir noktadaki manyetik alan yüklerin toprağa akmasından etkilenmektedir. Dengeli durumda iletim için, bu akım toprak yoluyla iletim hattı boyunca dağıtılmıştır. Toprak akımı Carson'ın denklemi kullanılarak hesaplanır. Bu nedenle, iletim hattı ve toprak akımının ürettiği elektromanyetik alan şiddeti aşağıdaki gibi yazılabilir (Eşitlik 10) [8]:

$$H_{ji} = \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \Phi_{ij} - \frac{I_i}{2\pi r_{ij}} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2}{\gamma r_{ij}} \right)^4 \right] \Phi_{ij} \quad (10)$$

Eşitlik (9) iletim etkisine bağlı elektromanyetik alanı gösterirken, (10) toprak akımına bağlı elektromanyetik alanı göstermektedir. Burada toprak akımından kaynaklanan bir düzeltme faktörü ortaya çıkmaktadır. Bu faktör aşağıda Eşitlik 11'de verilmiştir.

$$\gamma = [j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)]^{1/4} \quad (11)$$

Burada σ toprak iletkenliğini (0.001 - 0.002 S/m), ϵ toprak geçirgenliği ($8,85 \cdot 10^{-12}$) ifade etmektedir.

Toprak geçirgenliği hava geçirgenliğine eşit alınmıştır.

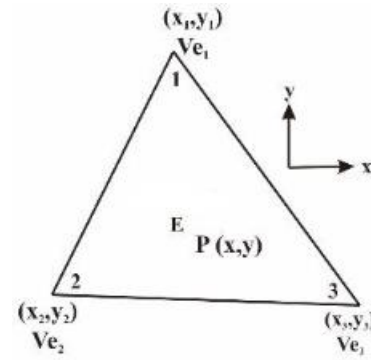
$$r_{ij}' = \left[(x_i - x_j)^2 + \left(y_i - y_j + \frac{2}{\gamma} \right)^2 \right]^{1/4} \quad (12)$$

$$\Phi_{ij}' = -\left[\frac{y_i - y_j + \frac{2}{\gamma}}{r_{ij}'} \right] u_x + \frac{x_i - x_j}{r_{ij}'} u_y \quad (13)$$

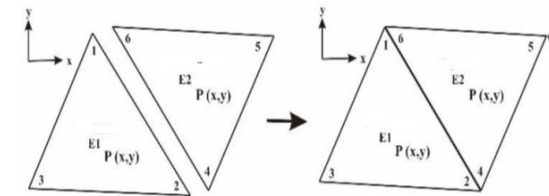
Eşitlik 12 ve 13'te, toprak akımı etkisi dikkate alındığında, elektromanyetik alan yoğunluğunun akım kaynağı ile aynı fazda olmayacağı görülmektedir.

2.3. Alanın Hesaplanması ve Üçgen Elemanın Birleştirilmesi

Sonlu elemanlar yönteminin temel çözüm prensibi, Şekil 2 ve 3'te verildiği gibi, çözüm gerçekleştirilecek alanı küçük üçgenler halinde ayrıştırarak aralarında ağ elemanlarının oluşturularak çözmesine dayanmaktadır.



Şekil 2. Üçgen elemanın modellenmesi



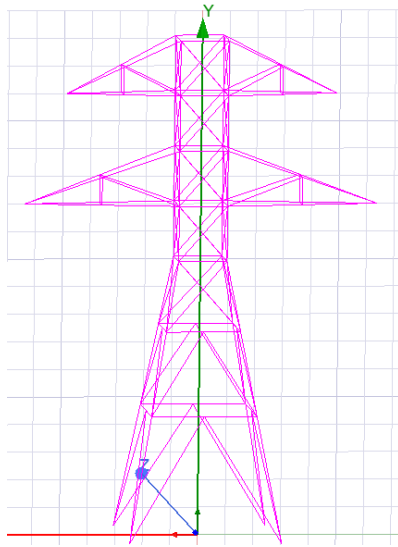
Şekil 3. İki üçgen öğenin birleştirilmesi

Her element için elektrostatik alan üzerindeki enerji denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir (Eşitlik 14):

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r V^T S V \quad (14)$$

Bazı elementlerin birleşimine dayanarak, enerjinin değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Eşitlik 15, 16).

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r V_{con}^T S V_{con} \quad (15)$$



Şekil 4. İletim direğinin modellenmesi

Simülasyonda kullanılan iletim direği malzemeleri Çizelge 1'de, insana ait özellikler ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

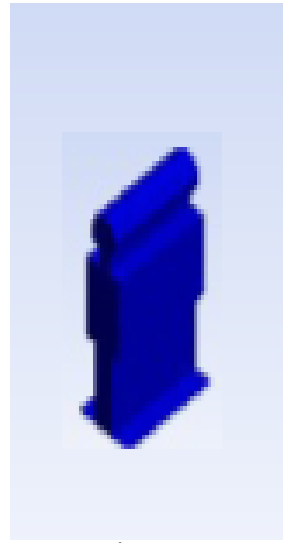
Çizelge 1. İletim kulesi ve iletkenin malzeme veri sayfası

Değişken	Malzeme özellikleri
Epsilon	1
Elektriksel iletkenlik	$5,97 \times 10^7$ S/m
İzotropik termal iletkenlik	60,500 W/m, °C
İzotropik bağıl geçirgenlik	10000

$$S = C^T S_{dis} C \quad (16)$$

2.4. Direk ve İnsan Modellemesi

Bu aşamada ilk olarak iletim direği modellenmiştir. Seçilen direk tipi, Şekil 4'te verilmiştir. Daha sonra malzeme ve demir malzemeli uç bağlantı montajı yapılmıştır. Son olarak, Şekil 5'te görüldüğü gibi insan modellenmiştir.



Şekil 5. İnsanın modeli

Çizelge 2. İnsanın malzeme veri sayfası

Değişken	Değer
Epsilon	1
Rho (kg/m ³)	1100
Termal iletkenlik (W/K/m)	0,293
Isı kapasitesi (Kj/K/Kg)	3,5
Yayılm (m ² /s)	$7,61 \times 10^{-8}$
Kan akışı	9100

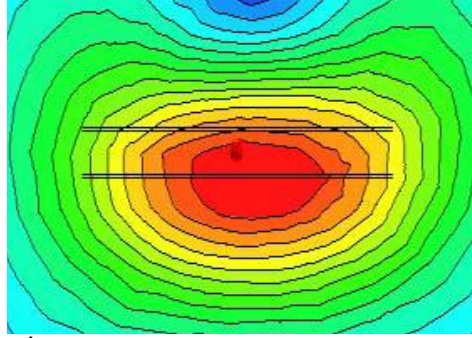
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. İletim Hattının Elektromanyetik Analizi

ANSYS yazılım programı ile iletim hattının elektromanyetik simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için üç fazlı gerilim hatta 154 kV'luk nominal gerilim uygulanmıştır. Bir iletim hattı

üzerindeki elektromanyetik alanların dağılımı Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6'daki kırmızı renk, en yüksek değere sahip elektromanyetik alanı gösterirken, Şekil 6'daki mavi renk,

elektromanyetik alanın en düşük değerini göstermektedir. İletim hattının ortasındaki elektromanyetik alan dağılımının değeri Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. İletim hattındaki elektromanyetik alanın dağılımı

Elektromanyetik alanların çevre üzerindeki etkileri çok araştırılmış bu konuda yönetmelikler, sınırlandırmalar ve mesafeler belirlenmiştir. ICNIRP ve Orman Bakanlığı'nın yönetmeliklerindeki sınır değerler sırasıyla

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te; ayrıca analiz ve ölçümü gerçekleştirilen yüksek gerilim hattının çalışma frekansı olan 50 Hz için uygulanan limit değerler Çizelge 5'te verilmiştir (ICNIRP, 1998).

Çizelge 3. ICNIRP limit değerler-genel halk için

Frekans aralığı	Elektrik alan şiddeti E (kV/m)	Manyetik alan şiddeti H (A/m)	Manyetik akı yoğunluğu B(T)
1 Hz-8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz-25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz-50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50 Hz-400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz-3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-5} / f$
3 kHz-10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$

Çizelge 4. 0Hz-300GHz frekans bantlarındaki elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için limit değerler

Frekans (f)	Elektrik alan şiddeti E (kV/m)	Manyetik alan şiddeti H (A/m)	Manyetik akı yoğunluğu B(μT)
0-1 Hz	-	32000	40000
1 Hz-8 Hz	10000	$32000 / f^2$	$40000 / f^2$
8 Hz-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0,025 kHz-0,8 kHz	$750 / f$	$8 / f$	$10 / f$
0,8 kHz-3 kHz	$250 / f$	5	6,25
3 kHz-150 kHz	87	5	6,25
150 kHz-1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$
1 MHz-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$
10 MHz-400 MHz	28	0,73	0,92
400 MHz-2000 MHz	$1,375 * f^{1/2}$	$0,0037 * f^{1/2}$	$0,046 * f^{1/2}$
2 GHz-300 GHz	61	0,16	0,2

Çizelge 5. 50Hz için yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerler

Yönetmelikler	Elektrik alan şiddeti E (kV/m)	Manyetik alan şiddeti H (A/m)	Manyetik akı yoğunluğu B(μ T)
ICNIRP-Mesleki maruziyet	10	800	1000
ICNIRP-Umumi maruziyet	5	160	200
Orman Bakanlığı	15	160	200

Simülasyon için Konya Melikşah Aile Dinlenme ve Trafik Eğitim Parkı boyunca geçen 154 kV iletim hattının yerden 1 metre yükseklikte elde edilen sonuçlar baz alınmıştır [10]. Ölçüm değerleri ve simülasyon sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Simülasyonda ilk olarak mesafe ölçülmüş ve direk mesafelerine göre ayarlama yapılmıştır. Daha sonra doğrudan ölçüm ile simülasyon arasındaki elektromanyetik alan değerleri Çizelge 6'da görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6. Sonuçların karşılaştırılması

Mesafe (m)	Ölçüm sonuçları (μ T)	Simülasyon sonuçları (μ T)
0	0,401	0,419
25	0,480	0,501
50	0,532	0,541
75	0,607	0,598

4. SONUÇLAR

Simülasyon sonuçları analiz edildiğinde iletim hattındaki en yüksek elektromanyetik alan değeri 0,598 μ T olarak iletim hattının sol ve sağ tarafında meydana gelmiştir. En düşük elektromanyetik alan değeri ise 0,419 μ T olarak elde edilmiştir. Bu değerler insan modeli simülasyonuna göre ortalama olarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre iletim direğinin yakınında duran bir insan için güvenli sınırın (insan için güvenli sınır SNI 04-6950-2003'e göre) aşıldığı görülmektedir. Simülasyon sonuçları ve doğrudan ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir. En yüksek elektromanyetik alan değeri, simülasyona göre 0,598 μ T, ölçüme göre 0,607 μ T olarak en düşük mesafeye sahip iletkenlerde elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Bambang S., Munoto, Aditya, D., 2017. Analysis of Electromagnetic Field on Transmission Line to Human Using Infinite Element Method, World Journal of Research and Review (WJRR), ISSN: 2455-3956, Volume-5, Issue-3
- Vassiliki, T., Ioannis, F., Ioannis, A., Alex, M., 2006. Simulation of the Electric Field on High Voltage Insulators Using the Finite Element Method, IEEE.
- Hayt William, H., John, A.B., 2006. Electro Magnetics Seventh Edition, Penerbit Erlangga, Jakarta, Indonesia, 549.
- Yener, Ş.Ç., Andiç, F., 2017. Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü İçerisindeki Enerji İletim Hatlarının Elektromanyetik Alan Etkileri Açısından İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(4),1-1.
- Bambang, S., Munoto, Aditya, D., 2017. Analysis of Electromagnetic Field on Transmission Line to Human Using Infinite Element Method, World Journal of Research and Review (WJRR) ISSN:2455-3956, 5(3), 61-66.
- Putra, H.K., 2016. Analysis of Effect of Isolator Field on Distribution Tower When Affected by High Voltage by Using Finite Element Method, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, 2016.
- Özüpak. Y., Mamis, M.S., 2019. Realization of Electromagnetic Flux and Thermal Analyses of Transformers by Finite Element Method. IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1998. Guidelines for

- Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz), *Health Phys.*, 75(5), 535.
9. Bunmat, A., Paolaor, P., 2015. Analysis of Magnetic Field Effects Operators Working a Power Transmission Line Using 3D Finite Element Method, Thailand.
10. Seyfi, L., Akbal, B., 2018. Konya'daki Bazı Yüksek Gerilim Hattı ve Trafo Binaları Yakınında Yapılan Manyetik Alan Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, November, Samsun, Turkey.

Van Gölü Havzasında Hidrometeorolojik Verilerin Eğilim Analizi

Mahsum AYDIN^{*1}, Arif ÖZ²

¹Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Öğrencisi,
Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 28.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'nin en büyük ikinci kapalı havzası olan Van Gölü Havzası ele alınmaktadır. Çalışmada havza sınırları içerisinde ve yakınında bulunan 9 adet meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1968-2017 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verilerinin eğilimleri incelenmiştir. Eğilimlerin belirlenmesi için 3 farklı trend analizi metodu (Şen-YEÇ, Mann-Kendall (M-K) Testi ve Spearman'ın Rho (S-R) Testi) uygulanmıştır. Bunun yanı sıra M-K mertebeye korelasyon testi yardımı ile eğilim başlangıç yılı belirlenmiştir. Yağış verileri üzerinde yapılan analizler incelendiğinde, Erciş ve Ahlat istasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olduğu, geriye kalan istasyonlarda eğilim olmadığı tespit edilmiştir. Sıcaklık verilerinin incelemesi sonucunda ise Erciş ve Ahlat istasyonlarında eğilim olmadığı ancak diğer tüm istasyonlarda artan yönde eğilim olduğu tespit edilmiştir. Yapılan eğilim analizleri sonucu havza üzerine düşen yağışta azalma, sıcaklıkta ise artış eğilimi olduğu, bu durumun ise gelecek yıllarda havza üzerinde kuraklık riskini artırabileceği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, havzanın gelecek dönemlerde ciddi kuraklık riski ile karşılaşabileceğini gösterdiğinden gerekli önlemlerin alınması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Trend analizi, Van Gölü Havzası, Yağış, Sıcaklık

Trend Analysis of Hydrometeorological Data in the Van Lake Basin

Abstract

In this study, the Van Lake Basin, which is the second largest closed basin in Turkey, is discussed. In the study, the trends of precipitation and temperature data between 1968-2017 belonging to 9 meteorology observation stations located in and near the basin boundaries were examined. In order to determine the trends, 3 different trend analysis methods (Şen-YEÇ, Mann-Kendall (M-K) Test and Spearman's Rho (S-R) Test) were applied. In addition, the trend starting year was determined with the help of the M-K rank correlation test. When the analysis of the precipitation data was examined, it was determined that there was a statistically significant decrease in Erciş and Ahlat stations, and there was no trend in the remaining stations. As a result of the examination of the temperature data, it was determined that there was no trend in Erciş and Ahlat stations, but there was an increasing trend in all other stations. As a result of the trend analysis, it has been determined that there is a decreasing trend in precipitation and an increasing trend in temperature on the basin, and this situation may increase the risk of drought in the basin in the coming years. Since the findings obtained show that the basin may face a serious risk of drought in the future, it is recommended to take necessary precautions.

Keywords: Trend analysis, Van Lake Basin, Precipitation, Temperature

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Mahsum AYDIN, maydin@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yaşamsal önemi çok büyük olan suyun, insan ve toplum unsurları ile çok yakından ilişkili olmasının yanında, tüm canlılar için gerekliliği tartışılmaz bir gerçektir. Fakat su kaynaklarının kirletilmesi ve plansız kullanılması, küresel ısınmaya bağlı iklimsel değişiklikleri, yer küre üzerindeki su kaynaklarının sürdürülebilirlik özelliklerinde ve kullanılabilirliğinde azaltıcı yönde eğilim (trend) oluşmasına sebebiyet verecektir.

Tüm Dünya üzerinde yapılan ölçüm kayıtları incelendiğinde, küresel ölçekte ortalama yüzey sıcaklığının, 1901 yılından günümüze kadar $0,89^{\circ}\text{C}$ yükselmiş olduğu, küresel yüzey sıcaklığının ise halen artan eğilim yönünde olduğu görülmüştür. Dünya üzerindeki mevcut buzulların yılda yaklaşık 275 milyon tonu yok olmaktadır. Küresel ölçekte deniz seviyesindeki yükselme miktarı ise, 1901 yılından günümüze 19 cm'ye kadar ulaşmıştır ve yıllık olarak bakıldığında ise 3,2 mm artış gözlenmektedir. Olağan üstü hava olaylarında, 1950'li yıllardan günümüze kadar bazı alanlarda sıcak hava dalgalarının frekansında artış ve şiddetli yağışların meydana gelmesi gibi birçok değişiklik meydana gelmektedir [1].

Geçmişten günümüze insan yaşamı boyunca doğal afetlerin en önemlilerinden biri olarak kuraklık olayı gösterilmektedir. Özellikle ülke ekonomisi ve canlı yaşamı üzerinde en büyük etkiye sahip olan doğal afet kuraklık olarak gösterilebilir ve kuraklık olayı değişik meteorolojik ve çevresel şartlar altında gelişebilme özelliğine sahiptir.

Kuraklık etkilerinin azaltılması ve bu tehdit ve tehlikenin önlenmesi, kuraklıkla ilgili bilimsel çalışmalar sonucu elde edilen bulguların doğru olarak değerlendirilmesiyle mümkün olmaktadır.

Emek [2] yaptığı çalışmada, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesi içerisinde seçilen bazı istasyonlara ait aylık ve yıllık toplam yağış verilerinin eğilimlerini belirlemek amacıyla Spearman'ın Rho (S-R) ve Mann-Kendall (M-K) testlerini uygulamıştır. Eğilim belirleme yöntemi sonuçlarına göre; %95 güven aralığında yıllık

toplam yağışların Sivrice, Doğanşehir, Baskil ve Erciş istasyonları olmak üzere 4 adet istasyonda azalan yönde eğilim gösterdiğini tespit etmiştir. %90 güven aralığında bakıldığında ise bulunan istasyonlara ilave olarak Ağın ve Elazığ yağış istasyonları dâhil 6 istasyonun azalan yönde bir eğilim gösterdiğini tespit etmiştir. Doğu Anadolu bölgesinin, analiz sonuçları genel olarak incelendiğinde ise, Batı ve Güney kesimlerinde azalan yönde bir eğilim hâkim iken Kuzey kesimlerinde ise artan yönde bir eğilimin görüldüğü tespit edilmiştir.

Ercan ve Yüce [3] yapmış oldukları çalışmada, Kızılırmak havzası içerisinde bulunan 36 istasyona ait 1975-2015 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verilerine M-K testi uygulamışlardır. Yapılan hesaplamalar neticesinde istasyonların çoğunda yağış verilerinde herhangi bir yönde eğilim gözlemlenmez iken, sıcaklık verilerinde artan bir eğilim olduğu tespit edilmiştir.

Soydan ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmada, Seyhan Havzasında yer alan iki farklı gözlem istasyonundan elde edilen aylık ortalama akım değerleri ve iki yağış gözlem istasyonundan elde edilen aylık ortalama yağış verilerine M-K ve S-R testlerini uygulamışlardır. Ayrıca eğilimlere ait eğimlerin belirlenmesi amacıyla Şen'in Eğim metodu kullanılmıştır. Yağış gözlem istasyonlarına ait verilerde herhangi bir yönde eğim görülmemiştir. Ancak Akım gözlem istasyonlarına ait verilerde 5 aylık dönemde azalan yönde bir eğilim olduğu sonucuna varılmıştır.

Tokgöz ve Partal [5] yapmış oldukları çalışmada, Karadeniz bölgesinde yer alan 16 adet istasyona ait yağış ve sıcaklık verilerinin eğilimlerini belirleyebilmek amacıyla M-K ve Yenilikçi Şen eğilim analizi yöntemlerini uygulamışlardır. Analizler sonucunda Yenilikçi Şen (Şen-YEÇ) yöntemine göre 16 istasyonun tamamında sıcaklık verilerinin artan yönde eğilime sahip oldukları, M-K testine göre ise bu istasyonlardan sadece 7 tanesinde artan eğilim olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık verileri için elde edilen sonuçlara benzer şekilde eğilimler yağış verileri için de elde edilmiştir.

Öztürk ve Cebeci [6], yapmış oldukları çalışmada Ege Bölgesinde yer alan Büyük Menderes Havzası içerisinde bulunan 3 istasyona ait yağış, sıcaklık ve akım verileri için M-K eğilim analizi yöntemini uygulamışlardır. En anlamlı artış eğilimi yedi ay ile Denizli’de olurken Uşak’ta da yaz aylarındaki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Aydın ilinde ise sıcaklıklarda bir artış tespit edilmiş ancak bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır, yağış verilerinde artış eğilimi anlam teşkil etmez iken, akım değerlerinde önemli düzeyde azalış eğiliminin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gümüş ve arkadaşları [7] yapmış oldukları çalışmada Şanlıurfa bölgesi hidrometeorolojik verilerin eğilim analizi için M-K ve S-R testini uygulamışlardır. Analiz sonuçlarında hidrometeorolojik verilerden sıcaklık verileri için tüm sezonlarda %5 anlamlılık düzeyinde artan eğilim olduğu, yıllık periyotta bakıldığında ise maksimum sıcaklık verilerinde artan bir eğilim olduğu tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarında ise 1,5 mm/yıl azalma olduğu tespit edilmiştir.

Coşkun [8] tarafından yapılan çalışmada, Van Gölü Kapalı Havzası üzerinde bulunan 7 istasyona ait yağış verileri üzerinde mevsimlik ve yıllık eğilimler incelenmiştir. Bu incelemede yöntem olarak M-K Testi, S-R Testi ve Şen-YEÇ Testi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde havza genelinde yağışlarda azalma eğilimi görülmüştür.

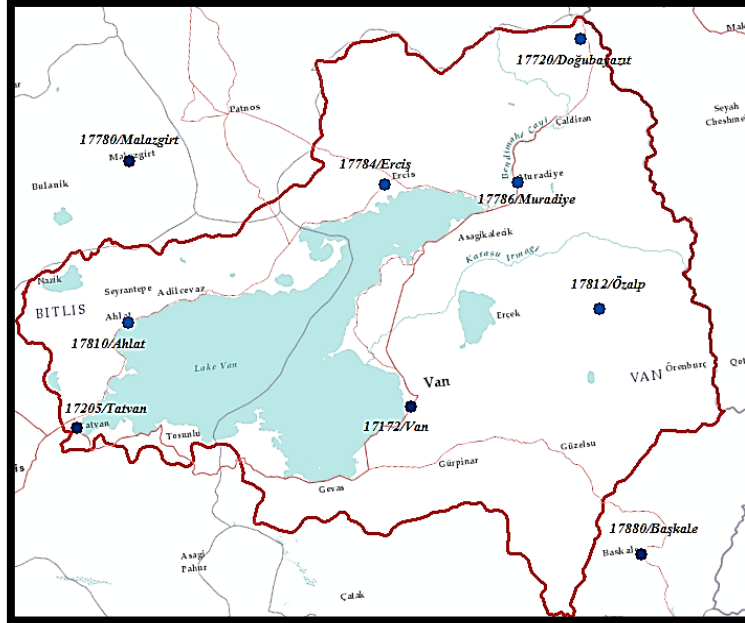
Artan nüfus ve büyük iklimsel değişiklikler nedeniyle Türkiye’nin su kaynakları bakımından olumsuz etkiler ile karşı karşıya olduğu bilinmektedir. Özellikle su ihtiyacının büyük bir kısmının yağışlardan karşılanması sebebiyle yağış ve yağışı olumsuz yönde etkilediği düşünülen sıcaklık verilerinin zaman içerisindeki eğilimlerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle Van Gölü havzasının bu olumsuz etkilerden ne kadar etkilendiğinin belirlenebilmesi için yağış ve sıcaklık verilerinin eğilimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan

literatür taraması sonucunda eğilimlerin belirlenmesi amacıyla M-K ve S-R testlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüş, bu nedenle bu çalışmada M-K, S-R testleri ile yakın zamanda Şen tarafından geliştirilen Şen-YEÇ yöntemi kullanılarak Van Gölü havzasının yağış ve sıcaklık verilerinin yıllık bazda eğilimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmak suretiyle farklılıkları tespit edilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek son dönemlerde etkisi hissedilen iklim değişikliği nedeniyle Van Gölü havzasının olumsuz etkilere maruz kalıp kalmayacağı irdelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca Türkiye’nin farklı bölgeleri için yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular ile bu çalışmada ele alınan Van Gölü havzası için elde edilen bulgular karşılaştırılarak aynı olumsuz etkilerin ele alınan bölgede de görülüp görülmediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada inceleme alanı olarak IPCC (International Panel on Climate Change) raporlarına göre kuraklık tehlikesi içerisinde bulunan Doğu Anadolu bölgesi sınırlarında bulunan Van Gölü Havzası seçilmiştir.

Van Gölü Havzası, Türkiye’nin doğusunda ve Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Aynı zamanda etrafı yüksek dağlarla çevrili kapalı havza özelliği taşımaktadır. Havzamızın ortalama yükseltisi 2022,3 m olarak hesaplanmıştır. Van gölü havza haritası Şekil 1’de gösterilmiştir. Van Gölü havzası içerisinde; başta Van ili olmak üzere, Adilcevaz, Ahlat, Bitlis, Tatvan, Gevaş, Erciş ve Muradiye gibi önemli yerleşim birimleri bulunmaktadır. Kapalı havza özelliği taşıyan inceleme alanında, dünyadaki en büyük sodalı göl olan Van Gölü bulunmaktadır. Van Gölü havzası sınırları içerisinde yer alan meteoroloji istasyonlarında 1968-2018 yılları arasında kaydedilen en düşük, en yüksek ve uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerleri, sırası ile 7,65°C, 16,20°C ve 11,60°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Van Gölü Havzası

2.1. Materyal

Bu çalışmada Van Gölü Havzası içerisinde ve yakınında yer alan istasyonların yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Çalışmada havzayı konumsal olarak en iyi temsil eden istasyonlar seçilmiş olup, 50 yıllık ve kesintisiz kayıt tutulmuş istasyonlara ait yağış ve

sıcaklık verileri Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Havza içerisinde bu ölçütlere uyan 7 adet istasyon seçilmiştir. Ayrıca havza sınırlarına yakın olan 2 istasyonda hesaplamalara dâhil edilmiştir. Bu sayede havza genelinde daha hassas bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır. Tüm bu istasyonlarla ilgili bilgiler Çizelge 1'de gösterilmiştir

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ile ilgili bilgiler

No	İl	İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
1	Ağrı	Doğubayazıt	17720	39.9222	44.0104	1560
2	Bitlis	Ahlat	17810	38.7486	42.4750	1720
3	Bitlis	Tatvan	17205	38.5032	42.2815	1668
4	Muş	Malazgirt	17780	39.1434	42.5305	1515
5	Van	Başkale	17880	38.0435	44.0173	2286
6	Van	Erciş	17784	39.0198	43.3386	1678
7	Van	Muradiye	17786	38.9899	43.7630	1706
8	Van	Özalp	17812	38.6573	43.9764	1989
9	Van	Van Bölge	17172	38.4693	43.3460	1675

2.2. Eğilim Analizi

İklim değişikliğinin atmosfer ve hidroloji değişkenleri üzerindeki sosyo-ekonomik etkilerinin herhangi bir havza üzerinde afet

boyutlarında olabilmesi mümkündür. Özellikle son yüzyılda dünyanın birçok bölgesinde kuraklık ve taşkın gibi afetlerin meydana gelme sıklığında bir artış gözlenmektedir. Genelde, gözlem istasyonlarına ait veriler ortalama değerler

üzerinden hesaplandığından, bu verilerin taşkın ve kuraklık gibi ekstrem değerleri tanımlamakta yetersiz kaldığı görülmektedir. Ölçülen gözlem verilerinin veya değişkenlerin sınıflandırılması kuraklık ve taşkın olaylarının tanımlaması açısından oldukça önemlidir [9].

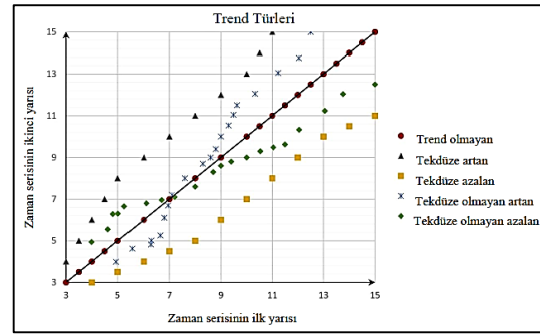
Van Gölü havzasında bulunan meteorolojik gözlem istasyonları tarafından kayıt altına alınan meteorolojik verilere Şen-YEÇ, M-K ve S-R yöntemleri uygulanmıştır. Bu uygulamalar neticesinde yağış ve sıcaklık verilerinde artan veya azalan bir eğilim olup olmadığı hesaplanmıştır. Ayrıca çıkan sonuçlara göre eğilim yöntemleri karşılaştırılmıştır. M-K mertebeli korelasyon testi ile birlikte eğilimin olduğu istasyonlardaki eğilimin başlangıcı bulunmuştur.

2.2.1. Şen Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi Yöntemi

Eğilim (gidiş) analizi (çözümlemesi) birçok yöntem önerilmektedir. Yakın zamanda Şen [10] tarafından Şen Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi (Şen-YEÇ) yöntemi 1:1 (45°) önerilmiştir. Bu yöntem doğrusal grafik yöntem olarak eğilimleri değerlendirmektedir ve en önemli özelliği hiçbir varsayım içermemesidir. Bu yeni yöntem S-R ve M-K yöntemleri ile kıyaslandığında en önemli avantajının incelemeye alınan zaman serilerinin bağımlı ve bağımsız olmasına bakılmaksızın tüm verilere uygulanabilmesidir. Bu uygulama esnekliği ve kolaylığı nedeni ile Şen-YEÇ yöntemi çoğu araştırmacı tarafından hidrolojik ve iklimsel verilerin zaman serilerinin analizi için uygulanmıştır [11-14].

Bu yöntemde meteoroloji istasyonlarına ait ölçülen verileri başlangıç tarihinden başlamak üzere iki eşit parçaya ayrılarak küçükten büyüğe doğru sıralanır. İkiye ayrılan veri setinin ilk yarısı yatay eksene, diğer yarısı ise dikey eksene denk getirilerek Şekil 2'de gösterildiği gibi konumlandırılır. Şekilde gösterilen grafik üzerinden incelenen veriler 1:1 (45°) doğrusu üzerinde ya da bu doğruya çok yakın bir noktada ise, basit bir şekilde incelenen seride eğilimin olmadığı kararına varılır [10]. Eğer veriler 1:1 (45°) doğrusunun üstünde veya altında olursa bu

eğilim türüne tek-düzenli (monotonik) artan veya azalan eğilim ismi verilmektedir. Eğer düşük değerlerde saçılma noktaları 1:1 doğrusunun altında (üstünde) ve yüksek değerlerde 1:1 doğrusunun üstünde (altında) ise buna çok-düzenli (non-monotonik) artan (azalan) eğilime sahip seriler denilmektedir [15].



Şekil 2. Azalan, artan ve eğilim olmayan serilerin gösterimi [14]

2.2.2. Mann- Kendall Testi

M-K Eğilim Testi [16-17], nonparametrik (parametrik olmayan) bir testtir ve bundan dolayı tesadüfi değişkenin dağılımına bağımlı değildir. Bu testin sayesinde göz önüne alınan bir zaman serisinin eğilime sahip olup olmadığına dair sıfır hipotezi: “H₀: Eğilim yok” ile kontrolü sağlanmaktadır [18].

Testin uygulanması için seçilen zaman serisi x_1, x_2, \dots, x_n 'de olmak üzere; x_i, x_j çiftleri iki gruba ayrılır. $i < j$ için $x_i < x_j$ olan çiftlerin sayısı P olarak gösterilmektedir. $x_i > x_j$ olan çiftlerin sayısı M ile gösterilirse test istatistiği (S), aşağıdaki şekilde hesaplanır (Eşitlik 1):

$$S = P - M \quad (1)$$

Kendall korelasyon katsayısı τ (Eşitlik 2):

$$\tau = \frac{S}{\sqrt{n(n-1)/2}} \quad (2)$$

$n \geq 10$ için varyans (σ_s), Eşitlik 3'te görüldüğü gibi hesaplanır;

$$\sigma_s = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (3)$$

M-K standart test parametresi Z olmak üzere (Eşitlik 4):

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sigma_s & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sigma_s & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Eşitlik 4'te tanımlanan Z test istatistiğinin dağılımı standart normal dağılımdır. Birbirine eşit gözlemler olması durumunda σ_s , Eşitlik 5'deki bağıntı ile hesaplanır.

$$s = \sqrt{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_i t_i(t_i-1) \right] (2t_i+5) / 18} \quad (5)$$

Bu eşitlikte t_i ile ifade edilen değer, aynı değeri taşıyan kaç gözlem olduğunu ifade etmektedir. Mesela, 5 gözlem aynı ise, $t_i=5$, 3 gözlemin aynı olması durumunda ise $t_2=3$ ve bununla birlikte aynı değere sahip 2 gözlem grubu varsa $t_3=2$, $t_4=2$ olarak dikkate alınır.

Yukarıda belirtildiği gibi hesaplanmış Z parametrelerinin mutlak değerleri seçilmiş olan α anlamlılık seviyesine denk gelen normal dağılım $Z_{\alpha/2}$ değerinden küçük olması durumunda, sıfır hipotezi kabul edilmektedir ve bu sayede dikkate alınan zaman serisinde eğilimin olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Büyük olası durumunda eğilimin mevcut olduğu ve S değerinin pozitif değerleri için eğilimin artan yönde, negatif değerleri için de azalan yönde olduğu belirlenmektedir. Ayrıca incelenen veri setinin belirli bir dağılıma uyması aranmadığından kullanışlı bir yöntemdir [19].

2.2.3. Spearman-Rho Testi

Bu test, incelenen iki gözlem serisi arasında korelasyonun var olup olmadığını tespit edebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca Lineer eğilimin olması durumu bu test yardımıyla hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Sıra istatistiği olan R_{x_i}

verilerin büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla belirlenir. Gözlem serisi $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektörü olmak üzere; iki yönlü test ile tanımlanan H_0 hipotezine göre x_i , ($i=1,2,3, \dots, n$) değerleri eş olasılıklı dağılımlardır. H_1 hipotezine göre ise x_i ($i=1,2, \dots, n$) değerleri zamanla artar veya azalır. S-R testi istatistiği (r_s), Eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır [20].

$$r_s = 1 - 6 \frac{\sum_{i=1}^n (R(x_i) - i)^2}{(n^3 - n)} \quad (6)$$

$n > 30$ için r_s dağılımı Normal dağılıma yaklaşıcağından Normal dağılım tabloları kullanılır [21]. Bunun için r_s 'nin test istatistiği (Z), Eşitlik 7'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$Z = r_s \sqrt{n-1} \quad (7)$$

Verilen eşitlik ile hesaplanan $|Z|$ değerinin, standart normal dağılım tablolarına bakılarak α önem seviyesi için belirlenen $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük olması durumunda, H_0 hipotezi reddedilmek suretiyle, belirli bir eğilimin olduğuna karar verilir.

2.2.4. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi

Bu test parametrik olmayan bir testtir ve uygulamanın yapılacağı seride zamanla artma veya azalma olup olmadığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Uygulanan bu test yardımıyla sonuçlar grafiksel olarak ifade edilebilmektedir, ayrıca eğilimin başlangıç noktasını da belirlemeyi sağlayabilmektedir.

Hidrometeorolojik zaman serilerinde veriler x_i soldan başlanarak, tek tek dikkate alınmak suretiyle veri yerine kendisinden önceki veriler içinde kaç adedinin dikkate alınan veriden büyük olduğu hesaplanır. Bu hesaplanan sayıya n_i denilirse x_i veri değerleri bu değerler ile değiştirerek tam sayıya sahip örnek bir fonksiyon elde edilir.

Bu tam sayı değerlerin ardışık toplamlarını, t_i ile ifade edilir ise, yöntemi sınamak için gerekli büyüklük olan (t), Eşitlik 8'de ki gibi hesaplanır.

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (8)$$

Bunun ortalaması E(t) (Eşitlik 9):

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (9)$$

Varyans değeri Var(t) (Eşitlik 10):

$$Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (10)$$

u(t) fonksiyonu ise Eşitlik 11 ile belirlenir [22].

$$u(t) = \frac{[t - E(t)]}{\sqrt{Var(t)}} \quad (11)$$

u(t)'nin sıfıra yakın değerleri ile zaman içerisinde değişimin olmadığı varsayımı ifade edilirken u(t)'nin büyük değerleri ile zamanla değişim olduğu gösterilmektedir. u(t)'nin $\pm 1,96$ 'ya eşit veya büyük olması eğilimin anlamlılık düzeyinin %95'lere ulaştığını ifade eder. u'(t) ise seri içinde geri yönde u(t)'ye benzer şekilde hesaplanır. Grafikselsel olarak u(t) ve u'(t), değişimin başladığı

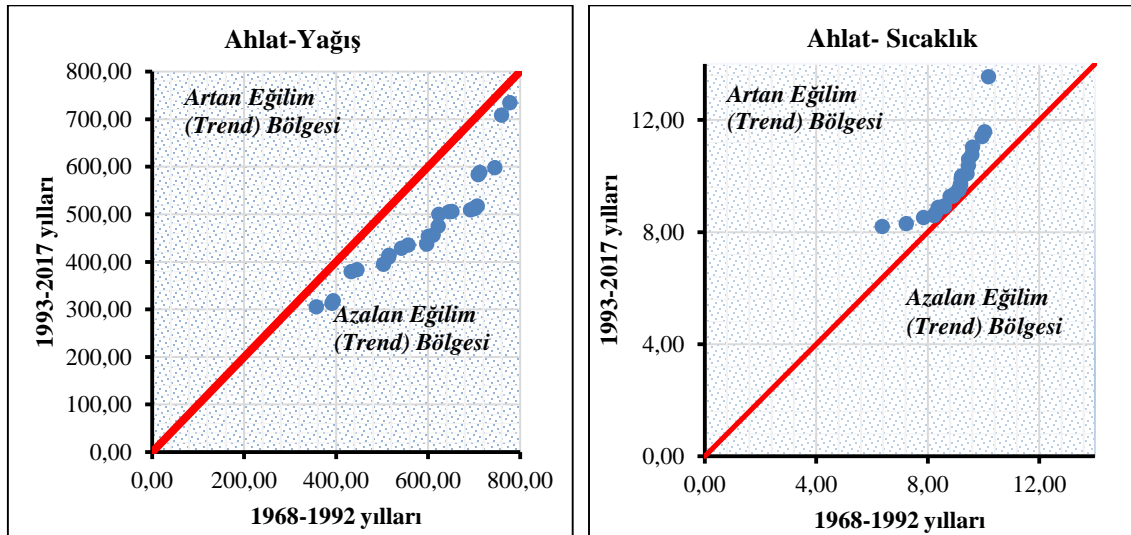
yer ile kuvvetini gösterirler. u(t) ile u'(t)'nin grafik üzerinde kesişim noktaları eğilimin başladığı zamanı ifade eder [23]

3. BULGULAR

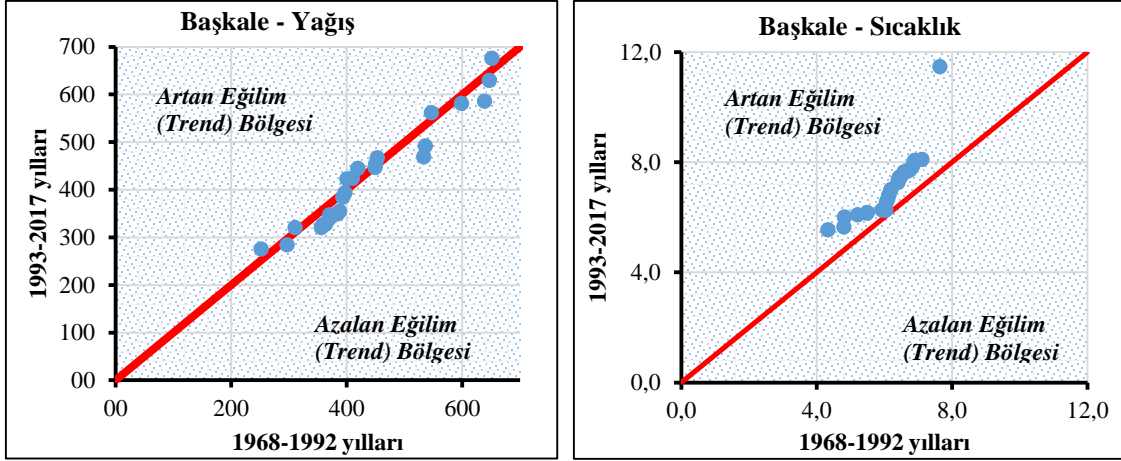
Bu kısımda, Van Gölü havzası çalışmasında kullanılan 9 istasyonun havza içerisindeki konum dağılımı açısından örnek teşkil etmesinden dolayı bu istasyonların eğilim analizi uygulamalarına ait sonuçlar verilmiştir.

3.1. Şen Yenilikçi Eğilim Çözümleme Yöntemi Uygulama Sonuçları

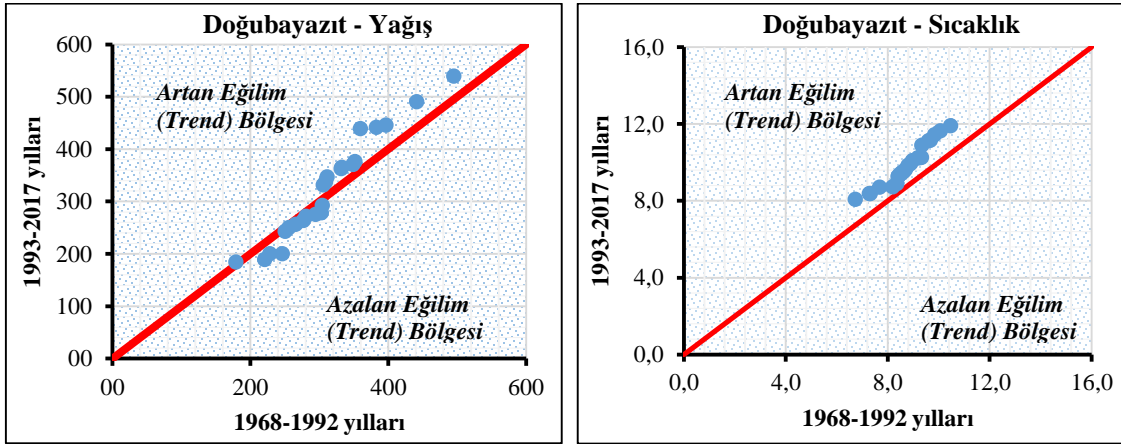
Van Gölü havzasında ilk olarak eğilim araştırması Ahlat İstasyonu verileri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5'de görüleceği üzere meteoroloji gözlem istasyonuna ait 1968-2018 yılları arasındaki yağış verilerine ait eğilim grafiği gösterilmektedir. Yağış eğilim grafiği incelendiğinde havza üzerine düşen yağış miktarının azalan eğilimde olduğu görülmektedir. Sıcaklık eğilim grafiği incelendiğinde ise sıcaklığın artan yönde bir eğilime sahip olduğu gözlenmektedir. Diğer istasyonlara ait yağış ve sıcaklık verilerinin eğilim durumları Şekil 3-11'de belirtilmiştir.



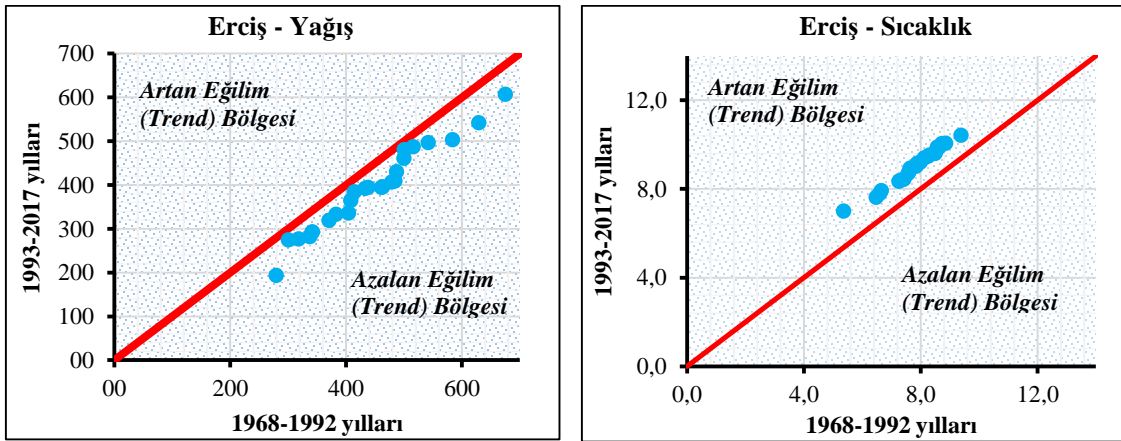
Şekil 3. Ahlat istasyonuna ait Şen-YEC'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



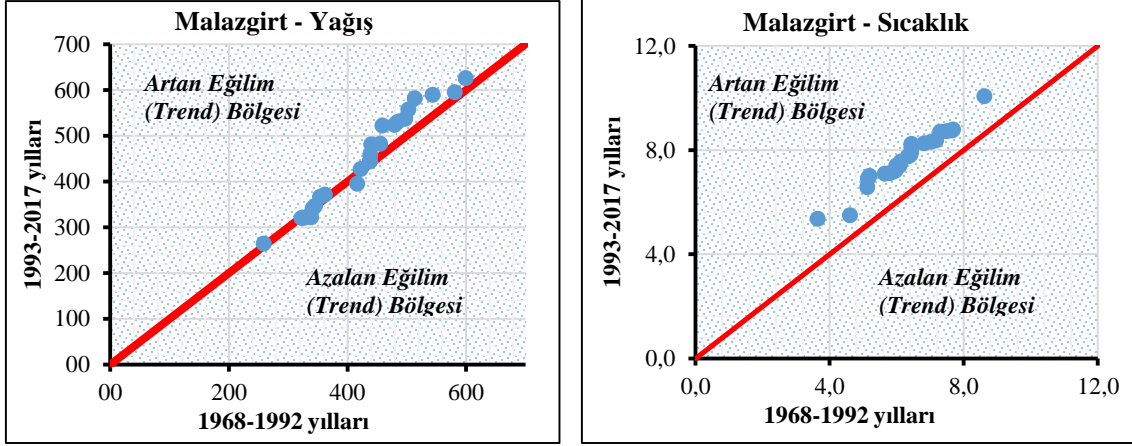
Şekil 4. Başkale istasyonuna ait Şen-YEC'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



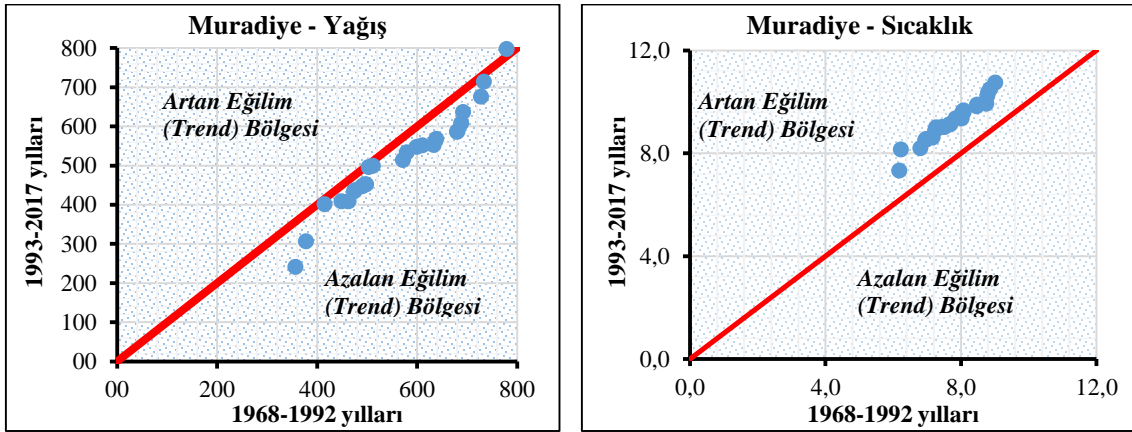
Şekil 5. Doğubayazıt istasyonuna ait Şen-YEC'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



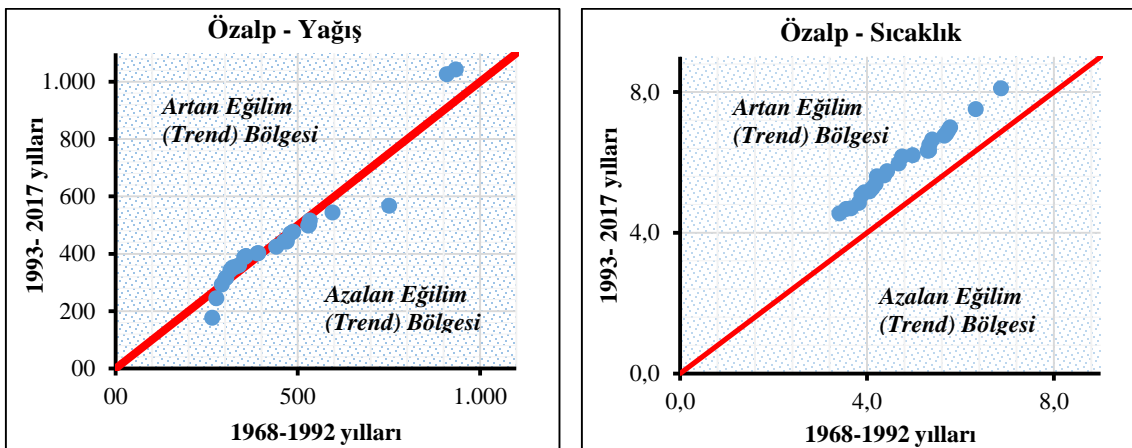
Şekil 6. Erciş istasyonuna ait Şen-YEC'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



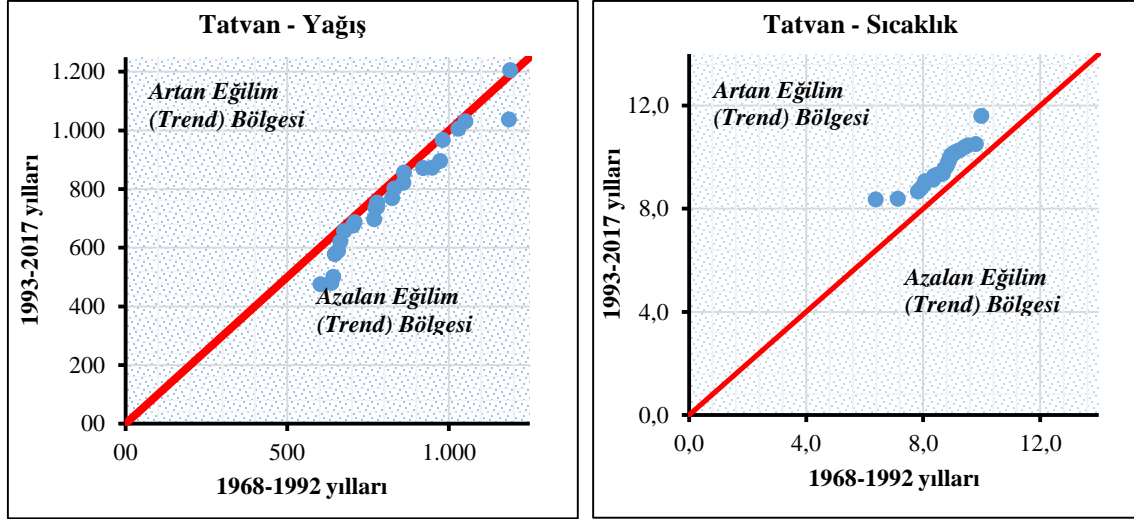
Şekil 7. Malazgirt istasyonuna ait Şen-YEÇ'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



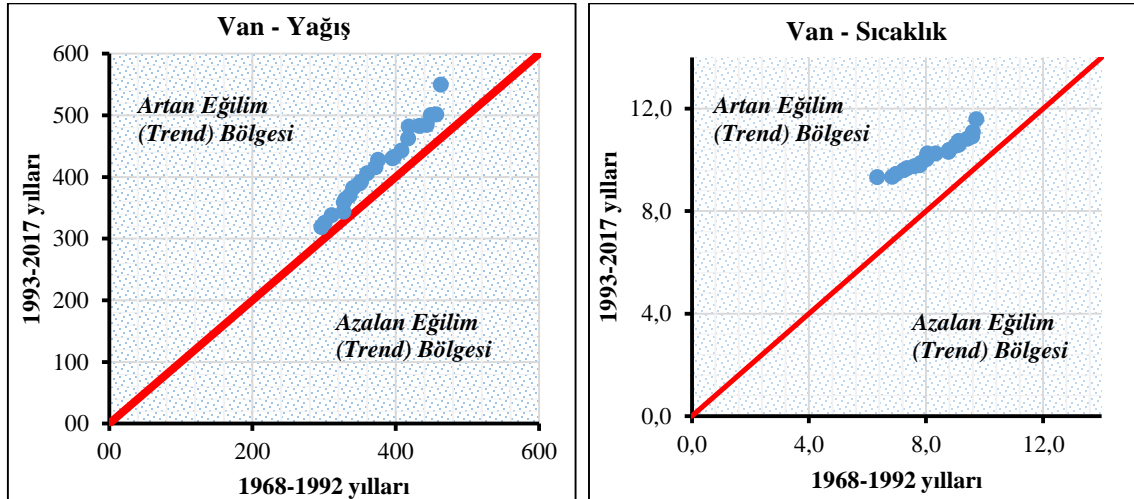
Şekil 8. Muradiye istasyonuna ait Şen-YEÇ'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



Şekil 9. Özalp istasyonuna ait Şen-YEÇ'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



Şekil 10. Tatvan istasyonuna ait Şen-YEÇ'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu



Şekil 11. Van istasyonuna ait Şen-YEÇ'e göre yağış ve sıcaklık eğilim durumu

Çizelge 2'de tüm istasyonlara ait yağış ve sıcaklık eğilim durumları gösterilmektedir. Tüm istasyonlarda yağış eğilim durumlarına bakıldığında Van Gölü havzası içerisinde %55 oranında yağışların azalan eğilimde olduğu, %11 oranında herhangi bir yönde eğilimin olmadığı ve %34 oranında yağışların artan eğilimde olduğu tespit edilmiştir. Yağış verileri genel olarak incelendiğinde istasyonlardaki azalan ve artan eğilimlerin çoğunlukla büyük değerler olmadığı, ancak Ahlat ve Erciş ilçelerindeki azalma eğilimi

değerinin diğer istasyonlara nazaran daha büyük olduğu ve istatistiki olarak anlamlı sayılabileceği söylenebilir. Artış eğilim gösteren istasyonlar içinde ise en büyük artışın Van istasyonunda görüldüğü ancak istatistiki olarak anlamlı olmadığı söylenebilir. Tüm istasyonların sıcaklık durumlarına bakıldığında ise Erciş istasyonu hariç diğer bütün istasyonlarda sıcaklık eğilimlerinin artan yönde olduğu ve istatistiki olarak anlamlı olarak kabul edilebileceği tespit edilmiştir. Erciş istasyonunda ise sıcaklık verilerinde herhangi bir

yönde eğilim olmadığı sonucuna varılmıştır. Sıcaklık verilerinde genel olarak bir artışın olduğu ve yağış değerlerinde meydana gelen azalma ile sıcaklık değerlerindeki artış arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. Tüm istasyonlara ait yağış ve sıcaklık eğilim durumu

İstasyon adı	Eğilim değeri (mm/yıl)	Yağış eğilim durumu	Eğilim değeri (°C/yıl)	Sıcaklık eğilim durumu
Ahlat	-0,335	↓	0,013	↑
Başkale	-0,115	↓	0,034	↑
Doğubayazıt	0,094	↑	0,030	↑
Erciş	-0,237	↓	0,008	→
Malazgirt	0,004	→	0,049	↑
Muradiye	-0,147	↓	0,049	↑
Özalp	0,141	↑	0,037	↑
Tatvan	-0,143	↓	0,031	↑
Van	0,194	↑	0,059	↑

*↑ artan trendi, ↓ simgesi, azalan trendi, → trendin olmadığını temsil etmektedir

3.2. Mann-Kendall ve Spearman-Rho Testi Yöntemi Uygulama Sonuçları

Bu çalışmada eğilimin önem (güven) derecesi %95 olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan Z'nin mutlak değeri seçilmiş α anlamlılık seviyesine denk gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değerinden küçükse eğilimin olmadığı, büyük ise S değeri pozitif iken artan yönde bir eğilimin olduğu, negatif iken azalan yönde bir eğilimin olduğu anlaşılmaktadır. %95 önem (güven) derecesine göre standart Normal

dağılım tablosunda $Z_{\alpha/2}$ değeri 1,96 olarak okunur ve hesaplanan Z'nin mutlak değerleri bu değer ile kıyaslanmak sureti ile eğilimin yönüne karar verilir.

Seçilen istasyonlara ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verilerine M-K testi ve S-R testi uygulanmıştır. Havzayı en iyi temsil edeceği düşünülen istasyonlara ait sonuçlar Çizelge 3-6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3. İstasyonlara ait yağış verilerinin M-K Testi sonuçları

İstasyon numarası/adı	Test istatistiği (S)	Hesaplanan Z değeri	$Z_{\alpha/2}$ kritik olasılık değeri ($\alpha=0,05$)	H_0 hipotezi	Eğilim durumu
17810/Ahlat	-349	-2,91	1,96	Red	↓
17880/Başkale	-149	-1,24	1,96	Kabul	→
17720/Doğubayazıt	123	1,02	1,96	Kabul	→
17784/Erciş	-271	-2,26	1,96	Red	↓
17780/Malazgirt	11	0,08	1,96	Kabul	→
17786/Muradiye	-167	-1,39	1,96	Kabul	→
17812/Özalp	-25	-0,2	1,96	Kabul	→
17205/Tatvan	-109	-0,9	1,96	Kabul	→
17172/Van	169	1,41	1,96	Kabul	→

* ↓ simgesi azalan trendi, → simgesi ise trendin olmadığını simgelemektedir

Çizelge 4. İstasyonlara ait yağış verilerinin S-R Testi sonuçları

İstasyon numarası/adı	Rho test istatistiği (r_s)	Hesaplanan Z değeri	H ₀ hipotezi	Eğilim durumu
17810/Ahlat	-0,45	-3,15	Red	↓
17880/Başkale	-0,2	-1,38	Kabul	→
17720/Doğubayazıt	0,11	0,8	Kabul	→
17784/Erciş	-0,31	-2,22	Red	↓
17780/Malazgirt	0	-0,1	Kabul	→
17786/Muradiye	-0,16	-1,14	Kabul	→
17812/Özalp	-0,2	-0,11	Kabul	→
17205/Tatvan	-0,14	-0,98	Kabul	→
17172/Van	0,2	1,38	Kabul	→

* ↓ simgesi azalan trendi, → simgesi ise trendin olmadığını simgelemektedir.

Çizelge 5. İstasyonlara ait sıcaklık verilerinin M-K Testi sonuçları

İstasyon numarası/adı	Test istatistiği (S)	Hesaplanan Z değeri	Z _{α/2} kritik olasılık değeri (α=0,05)	H ₀ hipotezi	Eğilim durumu
17810/Ahlat	213	1,77	1,96	Kabul	→
17880/Başkale	481	4,2	1,96	Red	↑
17720/Doğubayazıt	359	2,99	1,96	Red	↑
17784/Erciş	-83	-0,69	1,96	Kabul	→
17780/Malazgirt	491	0,4	1,96	Red	↑
17786/Muradiye	549	4,48	1,96	Red	↑
17812/Özalp	429	3,58	1,96	Red	↑
17205/Tatvan	445	3,71	1,96	Red	↑
17172/Van	651	5,44	1,96	Red	↑

* ↑ simgesi artan trendi, → simgesi ise trendin olmadığını simgelemektedir.

Çizelge 6: İstasyonlara ait sıcaklık verilerinin S-R Testi sonuçları

İstasyon numarası/adı	Rho test istatistiği (r_s)	Hesaplanan Z değeri	H ₀ hipotezi	Eğilim durumu
17810/Ahlat	0,26	1,83	Kabul	→
17880/Başkale	0,54	3,8	Red	↑
17720/Doğubayazıt	0,41	2,89	Red	↑
17784/Erciş	-0,13	-0,9	Kabul	→
17780/Malazgirt	0,57	3,98	Red	↑
17786/Muradiye	0,65	4,56	Red	↑
17812/Özalp	0,49	3,46	Red	↑
17205/Tatvan	0,52	3,67	Red	↑
17172/Van	0,72	5,30	Red	↑

* ↑ simgesi artan trendi, → simgesi ise trendin olmadığını simgelemektedir.

Yağış verilerine ait M-K ve S-R Testi sonuçlarına bakıldığında, bazı istasyonlarda azalan, bazılarında ise herhangi bir yönde eğilimin olmadığı sonucuna varılmıştır. Genel olarak istasyonların sonuçlarına bakıldığında Van Gölü havzası içerisinde %22.2 oranında yağış trendinde azalan eğilim olduğu, %77.8 oranında yağış trendinde herhangi bir eğilim olmadığı tespit edilmiştir. Ancak eğilim olmayan istasyonlarda Van istasyonu hariç, diğer istasyonların sifıra yakın negatif bir sonuç verdiği görülmektedir. Bu sebepten dolayı Van Gölü Havzası üzerinde azalan yönde bir eğilimin olduğu söylenebilir.

Sıcaklık verilerine ait M-K ve S-R Testi sonuçlarına bakıldığında, bazı istasyonlarda artan eğilim olduğu ve bazılarında ise herhangi bir yönde eğilimin olmadığı sonucuna varılmıştır. Genel olarak sıcaklık verilerinin sonuçlarına bakıldığında ise %77.8 oranında sıcaklığın artan eğilime sahip olduğu, geriye kalan kısımda ise herhangi bir yönde eğilimin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak eğilim olmayan istasyonlarında sifıra yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu nedenden dolayı Van Gölü Havzası üzerinde artan yönde bir eğilimin olduğu söylenebilir. Ayrıca M-K ile S-R testlerinin tüm istasyonlarda yağış ve sıcaklık verileri için aynı sonucu verdiği görülmüştür.

3.3. Eğilim Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması

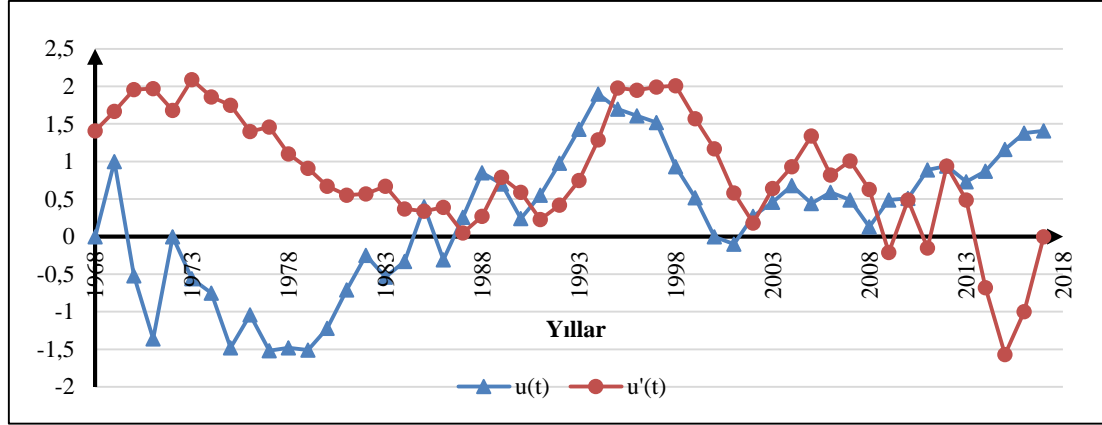
Tüm istasyonlara ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verilerine uygulanan Şen-YEÇ Yöntemi, M-K testi ve S-R testleri sonuçları karşılaştırılmıştır. 9 meteorolojik istasyona ait yağış verileri için yapılan eğilim analizi sonuçlarında M-K ve S-R testlerinin aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Ayrıca tüm yağış verileri için yapılan eğilim analizi sonuçlarına bakıldığında Ahlat ve Erciş istasyonlarında azalan yönde eğilim olduğu tespit edilmiştir. Şen-YEÇ yöntemine göre alınan sonuçlarda Özalp ve Van istasyonlarında

artan eğilim olduğu, diğer istasyonlarda ise azalan yönde eğilim olduğu tespit edilmiştir. Bu üç eğilim analizi yöntemi ile yapılan hesaplamalara göre Van Gölü Havzasının yağış verilerinde S-R ve M-K testi sonuçlarına göre herhangi bir yönde eğilim olmaması durumu havza genelinde baskın durum iken, Şen-YEÇ yöntemine göre hafif oranda azalan bir eğilimin hakim olduğunu ve bu eğilimin önemsiz düzeyde olduğunu söylemek mümkündür. Sıcaklık verileri için yapılan eğilim analizi sonuçlarına bakıldığında M-K ve S-R testi sonuçlarına göre Ahlat ve Erciş istasyonlarında eğilim olmadığı ancak bu istasyonlar haricinde diğer tüm istasyonların artan eğilime sahip olduğu görülmüştür. Buna karşın Şen-YEÇ yöntemine göre tüm istasyonlarda artan yönde eğilimin olduğu görülmüştür. Bu analizler sonucunda Van Gölü havzasının genelinde sıcaklık verilerinde artan yönde bir eğilim olduğu söylenebilir. Yağış verilerindeki azalış ve sıcaklık verilerindeki artış eğiliminin ilerleyen yıllarda bölge için kuraklık tehlikesi oluşturacağını söyleyebilmek mümkündür.

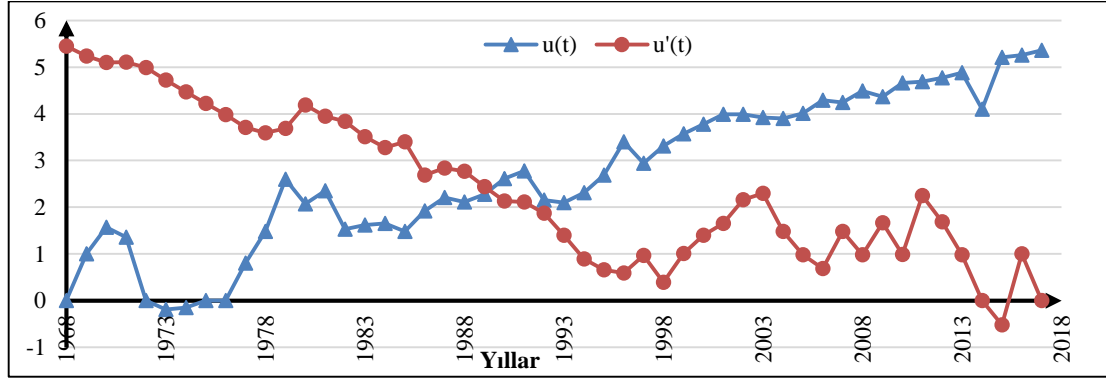
3.4. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi Uygulama Sonuçları

Bu test, bizlere eğilimin ne zaman başladığı ile ilgili bilgi vermektedir. Örnek olarak seçilen Van istasyonunun yağış ve sıcaklık verileri için bu test uygulanacaktır. Her bir verinin kendinden önceki veriler içerisinde kaçının kendinden büyük olduğu hesaplanarak n değeri bulunur. Daha sonra t değerleri, Eşitlik 8, bunların ortalaması Eşitlik 9, varyansı Eşitlik 10 ve son olarak $u(t)$ fonksiyonu Eşitlik 11 ile hesaplanır.

Elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ test istatistiklerinin grafiksel olarak gösterilmesi sonucunda verilerin birkaç yerde çakıştıkları görülmüştür ve bu sebepten dolayı herhangi bir yönde eğilim olmadığı sonucuna varılmaktadır. Şekil 12-13'de elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ test istatistikleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 12. Van istasyonuna ait yağış verileri için $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği



Şekil 13. Van istasyonuna ait sıcaklık verileri için $u(t)$ - $u'(t)$ grafiği

Elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ test istatistiklerinin grafiksel olarak gösterilmesi sonucunda verilerin 1989 yılında çakıştıkları görülür ve eğilim başlangıç yılı olarak alınır. Diğer istasyonlara ait

yağış ve sıcaklık verilerinin M-K mertebeye korelasyon sonuçlarına göre eğilim başlangıç yılları Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Tüm istasyonlara ait yağış ve sıcaklık verilerinin eğilim başlangıç yılları

Veri tipi	Yağış		Sıcaklık	
	Eğilim durumu	Eğilimin başlangıç yılı	Eğilimin durumu	Eğilimin başlangıç yılı
Ahlat	↓	1998	→	-
Başkale	→	-	↑	1998
Doğubayazıt	→	-	↑	1980
Erciş	↓	1974	→	-
Malazgirt	→	-	↑	1998
Muradiye	→	-	↑	1993
Özalp	→	-	↑	1986
Tatvan	→	-	↑	1996
Van	→	-	↑	1989

*↑ artan trendi, ↓ simgesi, azalan trendi, → trendin olmadığını temsil etmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye'nin su potansiyeli açısından önemli ve kuraklık açısından riskli olduğu düşünülen havzalarından biri olan Van Gölü Havzasında literatürde yaygın olarak kullanılan Şen-YEÇ, M-K ve S-R eğilim analizi yöntemleri kullanılarak yağış ve sıcaklık verilerinin eğilimlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada havzayı konumsal olarak en iyi temsil edecek istasyonlar seçilmiştir. Bu ölçütlere uyan toplamda 9 istasyona ait 1968-2017 (50 yıllık) yılları arası yağış ve sıcaklık verileri incelenmiştir. İlk olarak Van Gölü Havzasındaki 9 gözlem istasyonunda 1968-2017 dönemine ait yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verilerinin eğilim analizi Şen-YEÇ, M-K ve S-R yöntemleri uygulanarak belirlenmiş ve yöntemlerin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Uygulama bölümünde detayları verildiği gibi her bir sınaama hemen hemen benzer sonuçlar vermiştir. Bu ufak farklılıkların temelinde hesap usulleri arasında bulunan kabuller gösterilebilir.

Yapılan analizler sonucunda ele alınan 9 istasyona ait yağış değerleri incelendiğinde uygulanan üç yöntemle göre Ahlat ve Erciş istasyonlarında istatistiki olarak anlamlı kabul edilebilecek düzeyde bir azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Diğer istasyonlar için M-K ve S-R testlerine göre herhangi bir eğilim tespit edilmezken Şen-YEÇ yöntemine göre bazı istasyonlarda artış eğilimi olduğu ancak bu artış eğiliminin istatistiki olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

Sıcaklık verileri için yapılan analizler neticesinde Şen-YEÇ yöntemine göre sadece Erciş istasyonunda eğilim olmadığı tespit edilmiş, M-K ve S-R testlerine göre ise Ahlat ve Erciş istasyonlarında eğilim olmadığı ve geriye kalan diğer tüm istasyonlarda her üç yöntemle göre istatistiki olarak anlamlı bir artış eğiliminin olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak havzanın genelinde yağış verileri için herhangi yönde bir eğilimin olmaması ile birlikte az bir kısmında azalan bir eğilimin olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklık verileri için

havzanın büyük kısmında artan yönde bir eğilimin olduğu tespit edilmiştir. Bu artan eğilim nedeni ile havza genelinde görülmesi muhtemel kuraklığın ilerleyen yıllarda kendini daha çok hissettireceği söylenebilir.

Türkiye genelinde farklı bölgelerde yapılan akademik çalışmalardan elde edilen, yağış ve sıcaklık verilerinin eğilim sonuçlarının yapmış olduğumuz çalışma ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca yağış verilerinde yıllar içerisinde az miktarda azalış görüldüğü ve bu azalışın sıcaklık artışı ile birlikte gelecek yıllarda ciddi derecede su yetersizliğine neden olacağı öngörülmektedir.

Bu sebepten dolayı sıcaklık değerlerindeki artışın havza üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması ve yağışlardan daha etkili bir şekilde yararlanmak amacı ile iklim değişikliği çalışmalarına ağırlık verilmesi ve gerekli önlemlerin planlanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra bu değişikliklerin çevreye olan etkilerinin de detaylı bir şekilde incelenmesi büyük önem arz etmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M.M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., (eds.) (2014). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, 996.
2. Emek, F.M., 2014. Doğu Anadolu Bölgesi Yıllık ve Aylık Toplam Yağışların Trend Analizi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 127.
3. Ercan, B., Yüce, M.İ., 2017. Kızılırmak Havzasının Hidrometeorolojik Verilerinin Trend Analizi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 333-340.
4. Soydan, N.G., Gümüş V., Şimşek, O., Gerger, R., Ağun, B., 2016. Seyhan Havzası Aylık Ortalama Akım ve Yağış Verilerinin Trend Analizi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(2), 319-327.

5. Tokgöz, S., Partal, T., 2020. Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 1107-1118.
6. Öztürk, Ö., Cebeci, İ., 2021. Büyük Menderes Havzasında Bazı Hidroklimatolojik Değişkenlerin Eğilim Analizi, Toprak Su Dergisi, 10(1), 43-50.
7. Gümüş, V., Soydan, N.G., Şimşek, O., Algin, H.M., Aköz M.S., Yenigün, K., 2017. Seasonal and Annual Trend Analysis of Meteorological Data in Sanliurfa, Turkey, European Water, 59, 131-136.
8. Çoşkun, S., 2020. Van Gölü Kapalı Havzasında Yağışların Trend Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 521-532.
9. Şen, Z., 2010. Fuzzy Logic and Hydrological Modeling, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 340.
10. Şen, Z., 2012. Innovative Trend Analysis Methodology, J. Hydrol. Eng., 17(9), 1042-1046.
11. Sonali, P., Kumar, N.D., 2013. Review of Trend Detection Methods and Their Application to Detect Temperature Changes in India, Journal of Hydrology, 476, 212-217.
12. Timbadiya, P., Mirajkar, A., Patel, P., Porey, P., 2013. Identification of Trend and Probability Distribution for Time Series of Annual Peak Flow in Tapi Basin, India. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 19(1), 11-20.
13. Haktanir, T., Citakoglu, H., 2014. Trend, Independence, Stationarity, and Homogeneity Tests on Maximum Rainfall Series of Standard Durations Recorded in Turkey, Journal of Hydrologic Engineering, Doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000973.
14. Dabanlı, İ., 2017. Türkiye’de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarcay Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 198.
15. Aydın, M., Yaltay, N., Öz, A., 2019. Evaluation of Elazığ Province Precipitation Data by Innovative Trend Analysis, Academic Perspective Procedia, 2(2), 162-171.
16. Mann, H.B., 1945. Non-parametric Tests Against Trend. Econometrica, 13, 245-259.
17. Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London, 135.
18. Bayazıt, M., 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 245.
19. Yu, S., Zou, S., Whitemore, D., 1993. Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas. Journal of Hydrology, 150, 61-80.
20. Kahya, E., Kalaycı, S., 2004. Trend Analysis of Streamflow in Turkey, Int. J. Climatol., 17, 511-520.
21. İçağa, Y., 1994. Analysis of Trends in Water Quality Using Nonparametric Methods, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 143.
22. Sneyers, R., 1990. On Statistical Analysis of Series of Observations, W.M.O., No:415, Geneva.
23. Şen, Z., 2002. İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji), Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 243.

L ve T Tesisat Bağlantı Elemanlarında Nanoakışkan Kullanımında Akış Karakteristiklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Nehir TOKGÖZ^{*1}, Mürüvvet AVCI¹, Mehmet Tahir ERDİNÇ², Önder KAŞKA³

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 15.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Yapılan bu çalışmada endüstriyel sistemlerde en çok kullanılan 2 farklı tesisat bağlantı parçasının (L, T) içerisinde nanoakışkan geçirilip, bu bağlantı parçalarının basınç düşüşleri ve basınç kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkan, temel akışkan su alınarak içerisine farklı konsantrasyonlarda alüminyum, bakır ve titanyum esaslı nanoparçacıkların eklenmesiyle elde edilmiştir. Artan konsantrasyonun basınç kaybı ve akış yapısı üzerinde etkisini incelemek için farklı konsantrasyonlarda farklı nanoakışkanlar incelenmiştir ((A₂O₃, %0,3, %0,5, %1, %2, %3) ve CuO (%1, %2, %4). Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri daha önce yapılmış olan çalışmalardan alınmıştır. Hesaplama sonuçları, literatürdeki sonuçlar ile doğrulanmıştır. Sayısal çözümlerinde yaygın olarak tercih edilen standart k-ε ve standart k-ω türbülans modeli olmak üzere 2 farklı model kullanılmıştır. Elde edilen hesaplar sonucunda incelenen her akışkanda, konsantrasyon arttıkça viskozitenin artışı ile yerel kayıpların da arttığı ortaya konulmuştur. En uygun modelin her iki bağlantı parçası için de standart k-ε olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bağlantı elamanı, Nanoakışkan, Yerel kayıp

Numerical Investigation of Flow Characteristics of Nanofluid Usage in L and T Fittings

Abstract

In this study, for two different most commonly used fittings (L, T) in industrial systems, effect of the nanofluid usage on the pressure drop and pressure loss coefficient were numerically analysed. Taking the water as base fluid, the nanofluid is obtained by adding different concentrations of aluminium, copper and titanium-based nanoparticles. In order to examine the effect of the concentration on pressure loss and flow structure, different nanofluids which are at different concentrations were studied ((A₂O₃, 0.3%, 0.5%, 1%, 2%, 3%) and CuO (1%, 2%, 4%). The thermophysical properties of nanofluids were taken from previous studies. The results have been verified with the results to be given in the literature. Two different turbulent models were used for numerical analysis, the standard k-ε and the standard k-ω turbulence model, which are widely preferred. The result of the computations for each nanofluid showed that as the concentration increases, the local losses increase with the increase of viscosity. It has been determined that the most suitable model is the standard k-ε for both fittings.

Keywords: Fittings, Nanofluid, Local loss

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nehir TOKGÖZ, nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstrinin her alanında ısı transferine yönelik yapılan araştırmaların temel amacı; enerjinin etkin ve verimli şekilde kullanılmasına yöneliktir. Enerji tüketen cihazların verimliliğini artırarak, mevcut enerjinin en iyi şekilde kullanılması araştırmacıların birinci hedefi haline gelmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde ısıyı transfer etmek için tasarlanan ısı değiştiricilerinin verimlilik açısından daha etkili, maliyet açısından daha uygun olması amaçlanmıştır. Enerjiyi etkin şekilde kullanıp ısı transferini artırmaya yönelik çalışmalar aktif, pasif ve karma yöntemler olarak bilinmektedir. Pasif yöntemler, genişletilmiş yüzeyler, kanatçıklar gibi dış güç kullanılmamasını gerektirmeyen yöntemlerken, aktif yöntemler de bir dış güç kaynağına ihtiyaç duyulur. Karma yöntemlerde ise aktif ve pasif yöntemlerden ikisi ya da daha fazlası birlikte kullanılır [1]. Isı transfer etkinliğini arttırmak için, iş yapan akışkanın (temel akışkan) içerisine mikro veya nano boyuttaki katı parçacıklar eklenerek yeni akışkan elde edilmesi günümüzde çok tercih edilen pasif yöntemlerden biridir. Burada amaç ısı transferini artırmaya yönelik olsa da özellikle boru sistemlerindeki akışkanlarda çökeltme, tortulaşma gibi birçok dezavantajı da beraberinde getirmiştir. Bu gibi durumlar da, performansı düşürüp ısı değiştiricilerinin boyutunu ve maliyetini arttırmıştır [2].

Malzeme bilimi ve endüstrinin gelişmesiyle su, etilen, motor yağı gibi yaygın olarak kullanılan temel akışkanların içerisine ilave edilen partiküller mikro boyuttayken (1 μm =10⁻⁶ m) yerini nano boyutlara (1 nm=10⁻⁹ m) bırakmıştır. Temel akışkan içerisine; boyutu 100 nm'den daha düşük, ısıl iletkenliği yüksek metalik ve metalik olmayan parçacıklar ilave edilerek nanoakışkan adı verilen yeni akışkanlar elde edilmiştir. Nanoakışkan kavramı ilk kez Choi ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuştur. Nanoakışkanların tercih edilme nedenlerinin başında ısı iletim katsayılarını geleneksel akışkanlara göre çok yüksek olması ve basınç düşümünü çok fazla arttırmamalarıdır. Böylece yüksek ısı transfer performansı ile daha küçük boyutlarda ısı değiştiricisi yapma imkanı sunmaktadır [3]. Nano parçacıkların aynı hacimsel

konsantrasyonda mikro parçacıklara kıyasla daha fazla yüzey alanına sahiptir. Mikro boyuttaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonların kanallarda tıkanmalara sebep olurken [4] nanoparçacıkların boru içerisinde çökeltme ve tortulaşma meydana getirmediği ve akış boyunca kanalı aşındırmadığı görülmüştür. Ayrıca nanoakışkan kullanımı mikro kanal yüzey ile akışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltıp, ısıl direncin azalmasına yol açmıştır. Bütün bunların sonucunda araştırmacılar nano boyutlu katı parçacıkların kullanılmasında ısı transferinin büyük ölçüde iyileştirilebileceğini görmüşlerdir. Bu olumlu sonuçlar neticesinde de güneş kolektörleri, ısı boruları, nükleer reaktörler, elektronik soğutma sistemleri, otomobil radyatörleri vb. uygulamalar için muhtemel çalışma sınırları olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür [5-7]. Son yıllarda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar nanoakışkanlardaki nanoparçacıkların boyut, konsantrasyon, yoğunluk, viskozite, ısıl iletkenlik gibi özelliklerinin ısı transferi üzerine etkilerini incelemeye yöneliktir. Ahmed ve arkadaşları ısıtılan oluklu kanal üzerinden bakır-su nanoakışkanının ısı transferi ve basınç düşüşü sayısal olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre ısı transferinin, Reynolds sayısı ve nano parçacık hacim fonksiyonu arttıkça arttığı ancak basınç düşüşünde de hafif bir artış olduğunu görmüşlerdir [8]. Sasmito ve arkadaşları, yaptıkları çalışma da helezon şeklinde sarılmış kare kesitli bir tüpün içerisinden nanoakışkan geçirerek ısı transferini arttırmayı amaçlamışlardır. Nanoparçacık olarak Al₂O₃ ve CuO kullandıkları çalışmalarının sonuçlarını düz tüp akış davranışlarıyla karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre %1'e kadar olan nano parçacık ilavesinin ısı transfer performansını önemli ölçüde artırdığını daha fazlasının ise ısı transfer performansını bozma eğiliminde olduğunu iddia etmişlerdir [9]. Nanoakışkanların ısı transferini artırıp geliştirdiğini Brownian hareketi ve termofiziksel özelliklere değinerek açıklayan Godson ve arkadaşları, mühendislerin son derece kompakt ve etkili ısı transfer ekipmanları geliştirmeleri için bir fırsat sunabileceğini vurgulamışlardır. Nanoakışkanların ısı transfer katsayısının, temel bazlı akışkanın ısı transfer katsayısından çok daha yüksek olduğunu ve çok az basınç düşüşüne sebep olduğunu görmüşlerdir.

Taşınım ısı transferinin, parçacık konsantrasyonu ve Reynolds sayısı ile arttığını ifade etmişlerdir [10]. Mikro veya makro boyuttaki ısı değiştiriciler üzerine çalışmalar yapan Manay vd. mikro kanallı yüzeylerde daha çok ısı transferi yapılabildiğini savunmuşlardır. Fakat partiküllerin varlığının kanallar içerisinde basınç düşümüne neden olabileceğini söylemişlerdir [11]. Helisel kıvrımlı bir boruda farklı konsantrasyonlarda CuO nanoakışkanının ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşünü değerlendiren Hashemi ve arkadaşları., elde ettikleri sonuçlara göre; düz boru yerine kıvrımlı boru kullanmanın ısı transferini arttırdığı, ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşünün baz sıvısı yerine nanoakışkan kullanılarak arttığını savunmuşlardır [12]. Ahmed ve arkadaşları, iki boyutlu dalgalı bir kanaldaki laminar akışta bakır-su nanoakışkanının ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Dalgalı kanalın genliği arttıkça sürtünme katsayısının ve Nusselt sayısının da arttığını görmüşlerdir. Buna ek olarak, ısı transferindeki artışın ağırlıklı olarak dalga boyundan ziyade nano partikül hacim konsantrasyonuna, dalgalı duvarın genliğine ve Reynolds sayısına bağlı olduğunu bulmuşlardır [13]. Oluklu plakalardan oluşan bir ısı değiştiricisinde su- Al_2O_3 nanoakışkanı geçirilmesi durumunda ısı transfer katsayısını ve basınç düşüşünü inceleyen Kabeel vd. elde ettikleri sonuçları teorik bir modelle karşılaştırıp doğrulamışlardır.

Konsantrasyonunun arttırılmasıyla hem ısı transfer katsayısında hem de aktarılan güçte belirgin bir artış gözlemişlerdir. Ayrıca basınç düşüşüne bağlı olarak gerekli pompalama gücünün ise konsantrasyon ve Reynolds sayının artmasıyla arttığı sonucuna ulaşmışlardır [14]. Chavda ve arkadaşları, farklı tip bağlantı parçalarındaki yerel kayıp katsayısını ve sürtünme faktörünü incelemek için suya farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ekleyerek deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bağlantı parçalarında nanoakışkan kullanılması durumunda ulaştıkları sonuçları su ile kıyaslamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları deneysel verilerden elde ettikleri bulgulara göre; suya kıyasla Al_2O_3 'in hacim konsantrasyonu arttıkça farklı bağlantı parçalarının sürtünme faktörü ve yerel kayıp katsayısının arttığını savunmuşlardır [15]. Barik ve arkadaşları, 90° dirsek bağlantı parçasından Al_2O_3 , Ti_2O ve CuO

nanoakışkanlarını geçirip sonlu hacimler yöntemi kullanarak ısı transferinin değişimini incelemişlerdir. Sayısal çalışmalar sonucunda nanoakışkanların hacim konsantrasyonlarının değişiminin ısı transferini önemli ölçüde arttığını görmüşlerdir ve ısı transferindeki en fazla artışın CuO nanoakışkanında olduğunu görmüşlerdir [16]. Vasa ve arkadaşları, 180° üçgen kesitli bir U bağlantı parçasında Al_2O_3 nanoakışkanın farklı konsantrasyonlarında ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre Reynolds sayısının ve nanoakışkanın hacim konsantrasyonu arttıkça bağlantı parçasının ısı transferinde de önemli bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir [17].

Yapılan çalışmaların birçoğunun sonucunda nanoakışkanların ısı transferini arttırdığı vurgulansa da yapılan deneylerle birlikte incelenen sonuçlar her zaman bunu doğrulamamaktadır. Mohamad yaptığı çalışmada temel akışkana nanoparçacıkların eklenmesiyle etkin viskozitenin artacağını bunun sonucunda da basınç düşüşünün olumsuz etkileneceğini ve bu parçacıkların yüzeye çarparak erozyonları artabileceğini belirtmiştir [18].

Sunulan bu çalışmada tesisatlarda en çok kullanılan L ve T bağlantı parçalarının içerisinden nanoakışkan geçirilmesiyle oluşan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı sayısal olarak hesaplanmış, basınç ve hız dağılımları görselleştirilmiştir. Tesisat projeleri düşünüldüğünde; sistemin doğru ve ekonomik açıdan uygun tasarlanabilmesi için bu sistemlerdeki yerel kayıplar ve sürtünme kayıpları doğrudan pompa gücüne etki edeceğinden oldukça önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı transferinin nanoakışkanların hacim konsantrasyonları ile arttığı fakat sürtünme kayıplarını da beraberinde getirdiği göz önünde bulundurularak, tesisat bağlantı malzemelerini içinden farklı hacim konsantrasyonlarında alüminyum, titanyum ve bakır esaslı nano parçacıklar ilavesiyle elde edilen nanoakışkanlar geçirilmiştir. Elde edilen basınç düşüşleri suyla kıyaslanıp bağlı yerel kayıp katsayıları sayısal çalışma sonucunda elde edilmiştir. Al_2O_3 için beş, CuO için üç, Ti_2O için ise dört farklı hacim konsantrasyonu seçilmiştir. Seçilen nanoakışkanların termodinamik özellikleri

literatürdeki çalışmalardan alınmıştır. Yapılan çalışma akışkan olarak su seçilip literatürde yaygın olarak kullanılan sonuçlarla [19] mukayese edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Modelin Tanımlanması

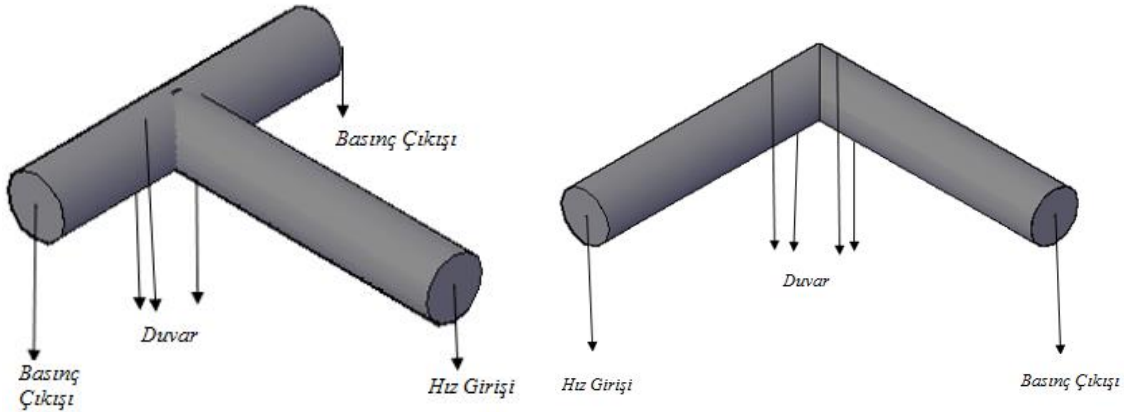
İncelenen bağlantı malzemeleri ANSYS- Fluent paket programında üç boyutlu modellenerek çözülmüştür. L ve T bağlantı parçası olmak üzere 2 farklı bağlantı parçası incelenmiştir. Modellenen parçaların boyutları giriş çapı, d ile boyutsuzlaştırılarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Akışın tam gelişmiş olması için hidrodinamik giriş uzunlukları, $L_h=10d$ olarak alınmıştır. Bu çalışmada, Reynolds sayısı 5000 olarak belirlenmiştir. Reynolds sayısı Eşitlik 1'de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır;

$$Reynolds = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (1)$$

Burada ρ , V , d ve μ sırasıyla akışkanın yoğunluğu (kg/m^3), ortalama akış hızı (m/s), çap (m) ve μ dinamik viskozitedir ($kg/m*s$). Kullanılan bağlantı malzemelerinin 3 boyutlu şematik gösterimi ve uygulanan sınır şartları aşağıdaki Şekil 1'de boyutları ise Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan bağlantı parçalarının boyutları

Parça	Giriş çapı (m)	Çıkış çapı (m)	Uzunluğu (m)	
			x	x
L	d	d	25d	25d
T	d	d	25d	25d



T bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları

L bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları

Şekil 1. Bağlantı malzemelerinin 3 boyutlu şematik gösterimi ve uygulanan sınır şartları

2.2. Modellerin Sınır Şartları

Tüm bağlantı parçalarında akışkanın girişi için üniform hız sınır şartı, çıkışı için ise basınç çıkışı sınır şartı ile tanımlanmıştır. Akışın hidrodinamik olarak gelişmesini sağlamak ve çıkış etkilerini azaltmak için giriş bölgesi uzunluğu (L_g) ve çıkış bölgesi uzunluğu (L_c) inceleme bölgesinde 10 d uzakta alınmıştır. Bağlantı parçalarının girişlerine 'hız girişi', çıkışlarına 'basınç çıkışı' ve boru cidarlarına 'duvar' sınır şartları tanımlanmıştır.

2.3. Sayısal Metot ve Denge Denklemleri

Üç boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri ayrık kapalı çözücü kullanılarak (segregated implicit solver) çözümlenmiştir. Denklem çözümlerinden basınç için Standart, momentum ve enerji denklemleri için ikinci derece upwind ayrıklaştırma algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri tüm denklemler için 10^{-6} olarak belirlenmiştir.

Süreklilik denklemi (Eşitlik 2):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Momentum denklemi (Eşitlik 3):

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u_i u_j} \right] \quad (3)$$

2.3.1. Türbülans Modelleri

Özellikle endüstriyel uygulamalarda seçilen türbülans modeli çok önemlidir. Türbülanslı akışların hız alanları çalkantılarla belirlenir. Kütle, momentum, enerji gibi büyüklükler akışta dönen bu girdaplar sayesinde taşınırlar. Mühendislik hesaplamalarında bu çalkantıların hesaplanması çok önemli olmasına rağmen doğrudan analiz etmek oldukça zordur. Türbülans modelinin seçiminde akışın fiziği, seçilen modelin sınırları ve daha önce yapılan çalışmaların sonuçları önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada modeller arasındaki farklılıkları ortaya koyabilmek için k-ε ve k-ω türbülans modelleri kullanılmıştır. Standart k-ε türbülans modeli iki denklemlilik türbülans modelleri arasında ekonomikliği ve pek çok akış probleminde kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Dirseklerde, bükümlü borularda hem tek fazlı hem de iki fazlı akışlarda yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir [20-22]. Bu modelde türbülans kinetik enerji, k ve türbülans dağılım hızı, ε aşağıda verilen denklemlerle çözülür (Eşitlik 4-5).

$$\frac{\partial(u_j k)}{\partial t} = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(u_j \epsilon)}{\partial t} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) - \rho C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

Burada k, ε, σ_k sırasıyla; türbülans kinetik enerjisi, enerjinin yayılımı ve türbülanslı Prandtl sayısıdır. Türbülans Eddy viskozitesi ise (Eşitlik 6):

$$\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

Burada C_μ, C_{ε1}, C_{ε2} model katsayılarıdır ve şu şekilde ifade edilir (Eşitlik 7-8):

$$C_\mu = \left(\frac{u_*^2}{k} \right)^2 \quad (7)$$

$$C_{\epsilon 1} = C_{\epsilon 2} - \frac{\kappa}{\sqrt{C_\mu} \sigma_\epsilon} \quad (8)$$

u*: Sürtünme hızı, Çözümlemede kullanılan model sabitleri ise:

$$C_{\epsilon 1} = 1,44, C_{\epsilon 2} = 1,92, C_\mu = 0,09, \sigma_k = 1,0, \sigma_\epsilon = 1,3$$

Endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir diğer türbülans modeli de k-ε türbülans modeline benzeyen standart k-ω türbülans modelidir. Sınır tabaka akışlarında, serbest kayma tabakalı akışlarda ve düşük Reynolds sayılı akışlarda k-ε türbülans modellerine göre daha üstündür. Ters basınç gradyanı altındaki ve büyük akış ayrılmalarının olduğu sınır tabaka akışlarında (dış akış aerodinamik ve turbomakine uygulamalarında) kullanılmaktadır. Yine benzer şekilde k türbülans kinetik enerjisi, ω ise enerjinin yayılımının aşağıdaki şekilde yazılabilir [23].

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^* k \omega \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \sigma^* v_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (9)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \sigma v_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (10)$$

Burada kinematik Eddy viskozitesi şu şekilde ifade edilir:

$$v_T = \frac{k}{\omega} \quad (11)$$

$\alpha, \beta, \beta^*, \sigma$ ve σ^* model katsayılarıdır ve sırayla 5/9, 3/40, 9/100, 1/2 ve 1/2 değerlerine eşittir.

2.4. Yerel Kayıplar ve Kayıp Katsayısı

Akış problemlerinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli etken, borudaki akışın rejimi, borunun fiziksel boyutları, boru malzemesi, akışkanın yön değiştirmesini sağlayan veya boruları birleştirmek için kullanılan bağlantı malzemelerinde meydana gelen enerji kayıplarıdır. Akışkanı bir yerden başka bir yere taşımak için kullanılan pompalar oluşan bu enerji kayıplarını karşılayacak şekilde seçilirler. Bu sebeple meydana gelen kayıplar ne kadar küçük olursa seçilen pompa da o kadar küçük boyutlarda olacak böylece enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. Bir boru akışında sürtünmeden kaynaklanan kayıplar sürekli yük kayıpları diye adlandırılırken bağlantı malzemelerinin neden olduğu kayıplar yerel kayıplar olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlantı elemanlarına örnek olarak; sürekli daralıp, genişleyen borularda geçişi kolaylaştıran difüzörler, giriş ve çıkış çaplarındaki ani genişleme ve ani daralmalar, T geçişi, akışı kontrol edip yönlendiren vanalar sayılabilir. Bu bağlantı elemanlarında yerel yük kayıpları (m) aşağıda verilen ifade ile hesaplanabilir;

$$H_k = \frac{\Delta P}{\rho g} = K_k \frac{V^2}{2g} \quad (12)$$

H_k : yerel yük kaybı(m), ΔP : iki nokta arasındaki basınç farkı (Pa), ρ : suyun yoğunluğu (kg/m^3), g : yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$), K_k : yerel kayıp katsayısı, V : ortalama akış hızıdır (m/s)

2.5. Pompa Gücü

Pompalar dışarıdan aldıkları enerjiyi akış enerjisine dönüştürüp, akışkanı bulunduğu noktadan istenilen noktaya taşır, boru içinden geçen akışkanı basınçlandırarak yukarıda bahsedilen kayıpları karşılayan enerjiyi sağlarlar. Bir pompanın gücü, aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$W = \dot{w} \Delta P \quad (13)$$

Burada W , \dot{w} , ΔP sırasıyla; akışkana aktarılan faydalı güç (Watt), hesaplanan hacimsel debi (m^3/s) ve pompa giriş ve çıkışı arasında ölçülen basınç farkıdır.

2.6. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Temel akışkan su alınarak içerisine farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve CuO esaslı nano parçacık ilave edilerek homojen nanoakışkanlar elde edildiği kabul edilmiştir. Beş farklı konsantrasyonda Al_2O_3 (%0,3, %0,5, %1, %2, %3), üç farklı konsantrasyonda CuO (%1, %2, %4) ve Ti_2O (%0,05, %0,1, %0,3, %0,5) kullanılmıştır. Her bir konsantrasyon için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri daha önce literatürde yapılan deneysel çalışmalardan alınarak aşağıdaki Çizelge 2-4'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. 20°C'de alüminyum oksidin, Al_2O_3 fiziksel özellikleri [24]

Akışkanlar	Fiziksel özellikler			
	Yoğunluk, ρ (kg/m^3)	Özgül ısı, C_p (j/kg K)	Dinamik viskozite, μ (kg/ms)	Isı iletim katsayısı, K (W/m K)
Su	998,2	4182,0	0,001003	0,6
Su+%0,3 Al_2O_3	1005,80	4145,20	0,0010862	0,608334
Su+%0,5 Al_2O_3	1011,87	4110,86	0,00117021	0,619223
Su+%1,0 Al_2O_3	1028,20	4036,67	0,00139827	0,644465
Su+%2,0 Al_2O_3	1055,48	3925,80	0,0019319	0,685893
Su+%3,0 Al_2O_3	1083,60	3810,77	0,0025689	0,728339

Çizelge 3. 20°C’de bakır oksidin, CuO fiziksel özellikleri [25]

Akışkanlar	Fiziksel özellikler			
	Yoğunluk, P (kg/m ³)	Özgül ısı, C_p (j/kg K)	Dinamik viskozite, μ (kg /ms)	Isı iletim katsayısı, k (W/m K)
Su+% 1 CuO	1051,418	4145,615	0,001387	0,645
Su+% 2 CuO	1104,636	4109,150	0,001545	0,657
Su+% 4 CuO	1211,072	4036,221	0,001762	0,694

Çizelge 4. 20°C’de titanyum oksidion, Ti₂O fiziksel özellikleri [26]

Akışkanlar	Fiziksel özellikler			
	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	Özgül ısı, C_p (j/kg K)	Dinamik viskozite, μ (kg /ms)	Isı iletim katsayısı, k (W/m K)
Su+% 0,05 Ti ₂ O	1077,3	3858,3	0,000845	0,6569
Su+% 0,1 Ti ₂ O	1154,6	3573,7	0,000892	0,6953
Su+% 0,3 Ti ₂ O	1463,6	2736,8	0,001082	0,8656
Su+% 0,5 Ti ₂ O	1771,9	2192,8	0,001271	1,068

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde farklı hacim konsantrasyonlarında incelenen Al₂O₃, CuO ve Ti₂O nanoakışkanların simülasyonlardan elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Sayısal sonuçlardan hesaplanan yerel kayıp katsayısı literatürde türbülanslı akış için kabul görmüş [19] yerel kayıp katsayıları ile kıyaslanmıştır.

Çözümlemeler sonucunda hangi türbülans modelinin referans alınan kaynağa en yakın sonuçlar verdiği tespit edilerek uygun modele karar verilmiştir. Aradaki farkın büyüklüğünü ortaya koymak için kullanılan modellerin hepsi için sonuçlar ayrı ayrı çizelge ve grafikler halinde sunulmuştur. Kullanılan her nanoakışkan için elde edilen sonuçlar ayrı başlıklar halinde devam eden bölümlerde verilmiştir.

3.1. Sonuçların Doğrulanması

Literatürde yaygın olarak kullanılan Çengel ve arkadaşları [19] tarafından belirlenen kayıp

katsayıları, K_k ile iki farklı türbülans modeli kullanılarak yapılan sayısal çalışmadan hesaplanan değerler Çizelge 5’de mukayese edilmiştir. Sunulan bu çalışmada K_k hesaplanırken nanoakışkanlarda da suyun yoğunluğu referans yoğunluk olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre k - ϵ türbülans modeli ile elde edilen sonuçlar en yakın fark %0,8 ile T bağlantı parçasında, en büyük fark %5,5 ile L bağlantı parçasında hesaplanmıştır. Genel olarak bakıldığında sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılık bu modelde %0,4-%3,7 arasındadır. k - ω türbülans modeli ile elde edilen sonuçlarda ise en yakın fark %8 ile T bağlantı parçasında, bağlantı parçasında hesaplanmıştır. Bütün bağlantı parçalarının kayıp katsayıları literatürdeki yerel kayıp katsayısı [19] ile mukayese edildiğinde, k - ω Standart modelinin kullanılması durumunda yerel kayıp katsayısı değerlerinin oldukça fazla çıkması bu modelin çözümlere için uygun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5. Su için elde edilen sonuçların doğrulanması

Bağlantı parçası	$K_k(k-\epsilon)$	$K_k(k-\omega)$	K_k [19]
T	2,008	1,839	2
L	1,145	0,932	1,1

3.1.1. Su- Al₂O₃ Nanoakışkanı için Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge 6 ve 7’te değişen hacim konsantrasyonlarına göre her bir bağlantı parçası için hesaplanan kayıp katsayıları sırasıyla k-ε ve k-ω türbülans modeli için verilmiştir. Her iki çizelgeden de görüldüğü gibi konsantrasyonun artmasıyla yerel kayıp katsayıları artmıştır. Akışın türbülanslı bölgede oluşu, nanoakışkan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak hız, yoğunluk ve

viskozitedeki artışlar basınç farkında ve yerel kayıp katsayısında ciddi artışlar meydana getirmektedir. Standart k-ω türbülans modeli kullanılarak su için hesaplanan yerel kayıp katsayılarının literatürde kabul edilen [19] değerden daha fazla çıkması çözümlemeye kullanılan türbülans modelinin uygun olmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Buna rağmen bundan sonraki bölümlerde de türbülans modelleri arasındaki farkın görülebilmesi için yaygın olarak kullanılan her iki modelin sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 6. Bağlantı parçalarının kayıp katsayıları, K_k, k - ε modeli (Al₂O₃)

Akışkanlar	Kayıp katsayıları, K _k	
	L	T
Su	1,145	2,008
Su+%0,3 Al ₂ O ₃	1,153	2,024
Su+%0,5 Al ₂ O ₃	1,60	2,036
Su+% 1,0 Al ₂ O ₃	1,179	2,071
Su+%2,0 Al ₂ O ₃	1,210	2,124
Su+%3,0 Al ₂ O ₃	1,242	2,180

Çizelge 7. Bağlantı parçalarının kayıp katsayıları, K_k, k-ω Modeli (Al₂O₃)

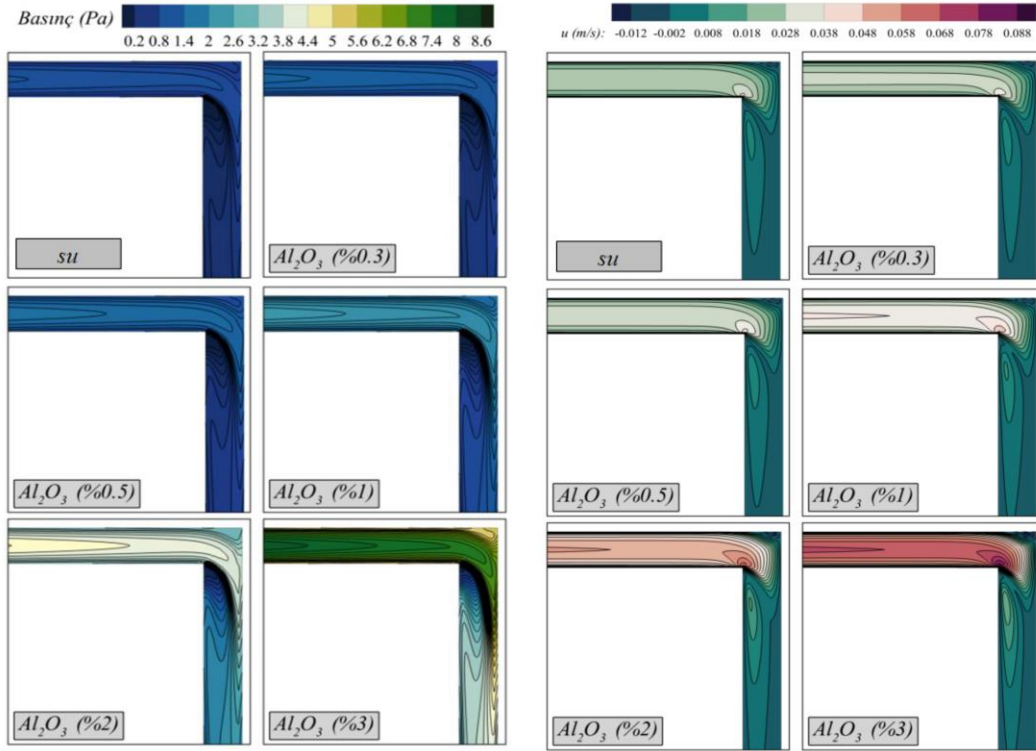
Akışkanlar	Kayıp katsayıları, K _k	
	L	T
Su	0,932	1,839
Su+%0,3 Al ₂ O ₃	0,939	1,925
Su+%0,5 Al ₂ O ₃	0,945	1,922
Su+% 1,0 Al ₂ O ₃	0,960	1,970
Su+%2,0 Al ₂ O ₃	0,985	2,104
Su+%3,0 Al ₂ O ₃	1,011	2,242

L bağlantı parçasında akış, keskin bir dönüş ile yönünü 90° değiştirmeye zorlanmaktadır. Akışta dönüş esnasında keskin köşelerde girdaplar meydana gelir. Bu durumda akışın enerjisi düşer ve bu da basınç kaybıyla sonuçlanır. Yerel kayıp katsayısındaki bu artış, viskozite ve yoğunluktaki artış ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Seçilen T

bağlantı parçasının, giriş ve çıkış çapı aynı seçilmiştir, böylece kesitte herhangi bir değişiklik yapmadan sadece akışın yönü değiştirilmiştir. Bu bağlantı parçasında meydana gelen enerji kayıpları, iç tarafta akışın ayrılmasından ve keskin dönüşlerin meydana getirdiği girdaplı akışlardan kaynaklanmaktadır.

Şekil 2’de L bağlantı parçasının artan hacim konsantrasyona bağlı basınç ve hız dağılımları görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 0,8 Pa mertebesinde olan maksimum basınç, konsantrasyon artışı ile 7, Pa mertebesine kadar çıkmıştır. L bağlantı parçasındaki bu basınç artışı akışın keskin köşelerde girdapların meydana

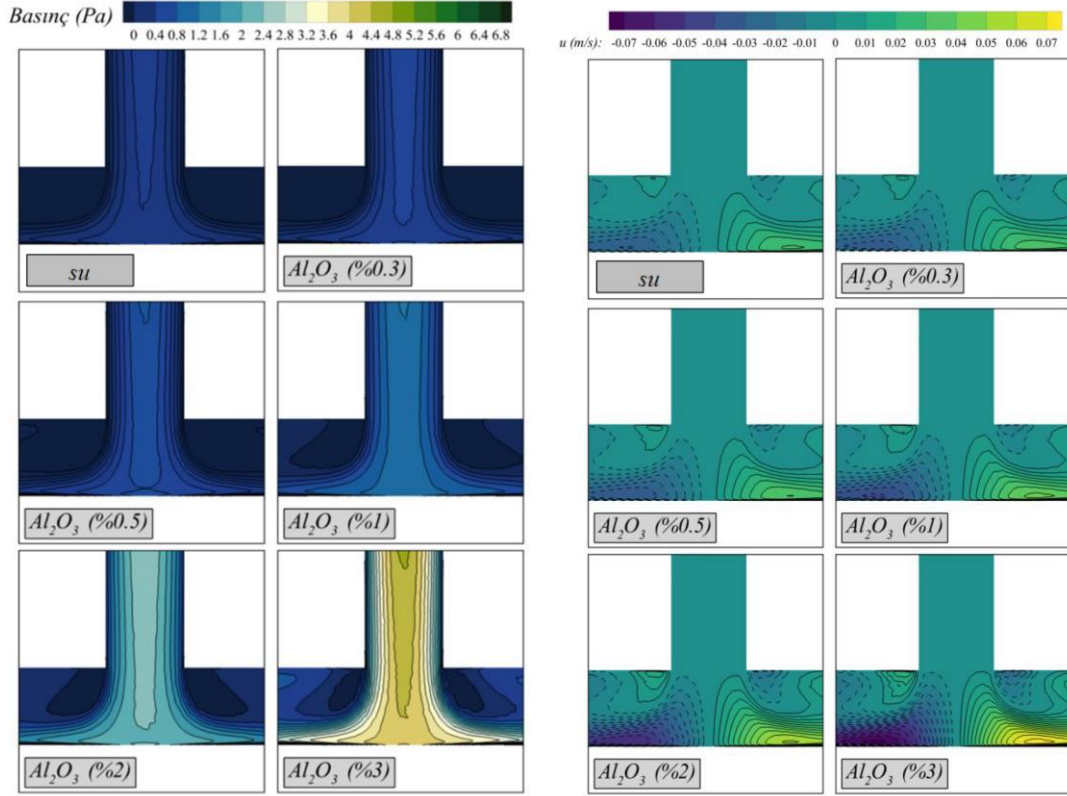
gelmesi ile ilişkilendirilebilir. Buralarda akış enerjisini kaybeder doğal olarak basınç kaybı artar. Çizelgelerde görüldüğü gibi bu durum da basınç farkının ve yerel kayıp katsayısının artışına sebep olmaktadır. Hız dağılımları göz önüne alındığında da Al_2O_3 konsantrasyonunun artışı ile hızın arttığı görülmektedir.



Şekil 2. L bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 3’te T bağlantı parçası için artan konsantrasyonun basınç ve hız dağılımı üzerine etkisi verilmiştir. Çizelgelerde de belirtildiği gibi, nanoakışkan konsantrasyonundaki artışla birlikte basınç dağılımı da değişmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 0,4 Pa mertebesinde olan basınç en yüksek konsantrasyonda 4,8 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Dağılım olarak bütün şekillerde geometrinin tamamının verilmediği, sadece akış için önemli olan yerlerin yakınlaştırılarak sunulduğu göz önünde

bulundurulmalıdır. T bağlantı parçasında da akışın kollara ayrıldığı keskin köşelerde, girdaplı akıştan dolayı ölü akış bölgesi meydana geldiği ve basıncın diğer bölgelere göre çok daha fazla düştüğü görülmektedir. Beklendiği gibi T bağlantı parçası için Al_2O_3 nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile hız artmıştır. T bağlantı parçasında akışın kollara ayrıldığı keskin köşelerde, akış yön değiştirir. Kesikli çizgilerle gösterilen negatif hızlar akışın yön değiştirdiğini göstermektedir.



Şekil 3. T bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımı (Al_2O_3)

Ele alınan nanoakışkan için hacim konsantrasyonunun artması ile basınç farkının arttığı görülmüştür. Çünkü basınç farkı konsantrasyonun bir fonksiyonudur. Konsantrasyon arttıkça basınç farkı da artar. Bunun nedeni ise viskozitenin konsantrasyonla artmasıdır. Partiküllerin yoğunluğunun artışı ile türbülans veya çalkantılar artarak moleküllerin hareketi zorlaşır, bu da basınç farkını artırır.

3.1.2. Su-CuO Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Su-CuO nanoakışkanı için farklı türbülans modellerinde hesaplanan yerel kayıp değerleri Çizelge 8 ve Çizelge 9'da özetlenmiştir. Her iki bağlantı parçasında da kayıp katsayısı artan konsantrasyonla artmaktadır. T bağlantı parçasında akışın ayrılması, keskin dönüşlerde girdap oluşması akış hızını ve yerel kayıp katsayısını arttırmıştır.

Şekil 4'te L bağlantı parçasında artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşı basınç ve hız dağılımları görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 1,9 Pa mertebesinde olan basıncın konsantrasyon arttıkça 3,3 Pa mertebesine kadar çıktığı görülmektedir. L bağlantı parçasında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinde de bir artış gözlenmiştir. Düşük konsantrasyonda 0,028 m/s olan hızın, yüksek konsantrasyonda 0,048 m/s'ye kadar çıkmıştır.

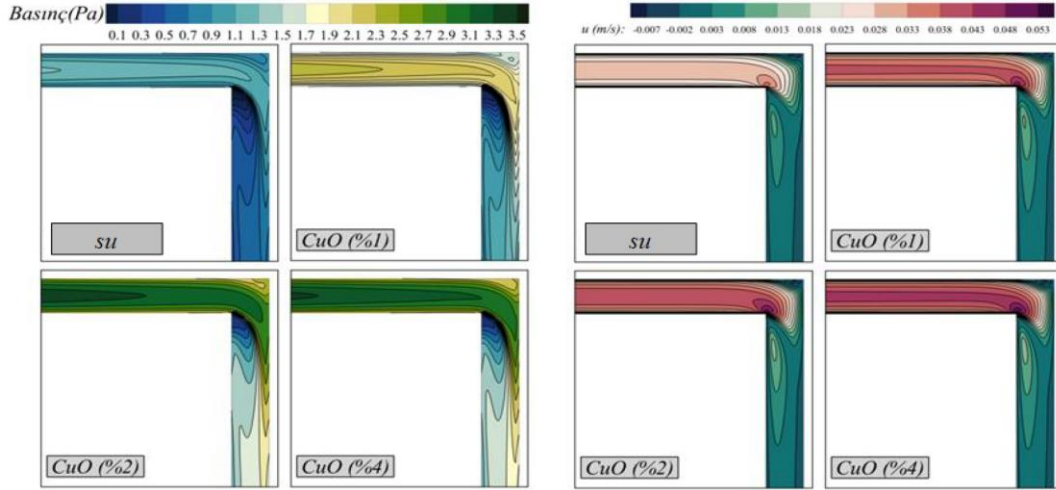
CuO nanoakışkanı kullanıldığı durumda artan konsantrasyona bağlı olarak değişen basınç ve dağılımları Şekil 5'de gösterilmektedir. T bağlantı parçası içinde düşük konsantrasyonlarda 0,15 Pa mertebesinde olan basınç konsantrasyon değerinin artışı ile 2,1 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Yine T bağlantı parçasında alttaki keskin köşelerde akış kollarına ayrılmış ve basınç diğer bölgelere göre çok fazla düşmüştür.

Çizelge 8. Bağlantı parçalarının kayıp katsayıları, K_k , k- ϵ modeli (CuO)

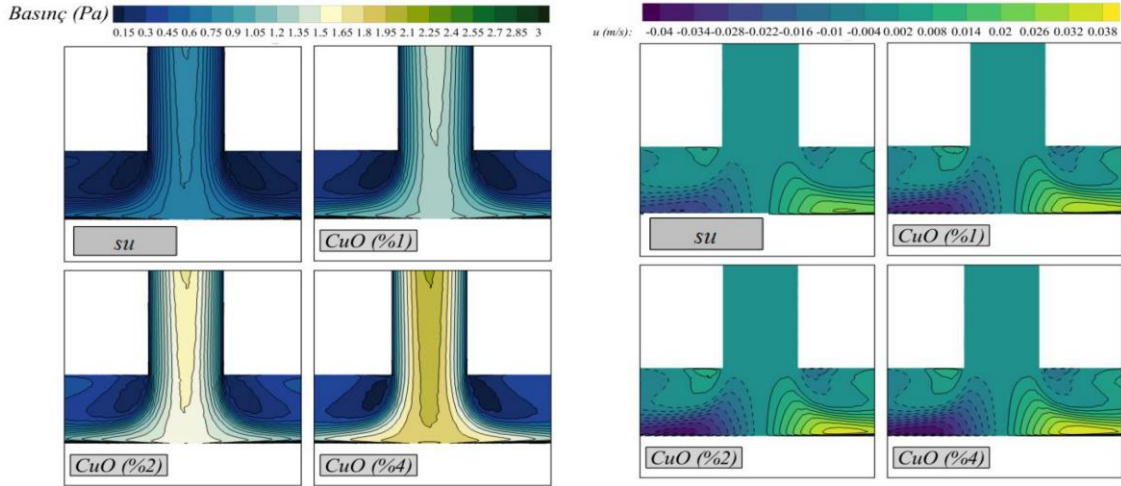
Akışkanlar	Kayıp katsayıları, K_k	
	L	T
Su+ %1 CuO	1,205	1,992
Su+ %2 CuO	1,265	2,093
Su+ %4 CuO	1,387	2,295

Çizelge 9. Bağlantı parçalarının kayıp katsayıları, K_k , k- ω modeli (CuO)

Akışkanlar	Kayıp katsayıları, K_k	
	L	T
Su+ %1 CuO	0,981	2,115
Su+ %2 CuO	1,032	2,280
Su+ %4 CuO	1,130	2,416



Şekil 4. L bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımları (CuO)



Şekil 5. T bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımları (CuO)

3.1.3. Su-TiO₂ Nanoakışkanı için Elde Edilen Sonuçlar

Su-TiO₂ nanoakışkanı için farklı türbülans modellerinde hesaplanan basınç ve yerel kayıp

katsayıları Çizelge 10 ve 11'de sunulmuştur. İncelenen diğer nanoakışkanlarda olduğu gibi su-TiO₂ nanoakışkanında da bütün bağlantı malzemelerindeki kayıp katsayıları artan konsantrasyonla birlikte artmıştır. Şekil 6'da L

bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımları artan konsantrasyonlara bağlı olarak sunulmuştur. En düşük konsantrasyonda okunan maksimum basınç 0,75 Pa mertebesinde iken konsantrasyon artışı ile 1,05 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Akış ayrılmalarının olduğu kısımlarda enerji kayıplarından dolayı basınç çok fazla azalmıştır. Hız dağılımlarının özellikle keskin köşelerde daha çok sıklaştığı, hız ise yine ayrılmaların olduğu yerlerde azaldığı görülmüştür.

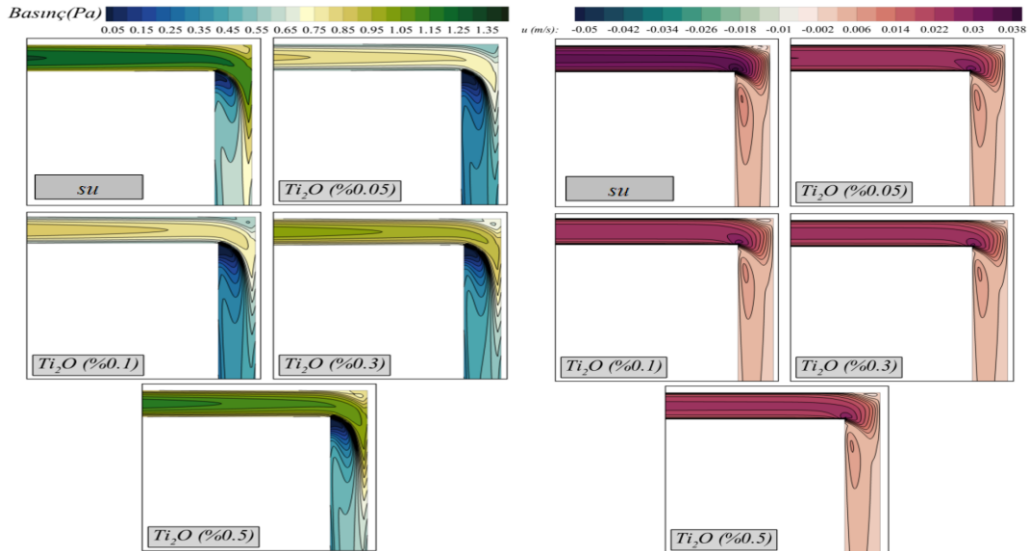
Şekil 7’de artan konsantrasyona bağlı olarak T bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımları gösterilmiştir. Akışın kollara ayrıldığı keskin bölgelerde basınç dağılımları sıklaşmıştır. T bağlantı parçası için akış ayrılmalarının olduğu yerlerde hız dağılımlarının sıklaştığı görülmektedir. Keskin dönüşlerin olduğu girdap kopmalarında akış ters yönde hareket etmektedir. Şekil 7’deki kesikli çizgiler, akışın yön değiştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 10. Bağlantı parçalarının kayıp katsayıları, K_k , k- ϵ modeli (TiO_2)

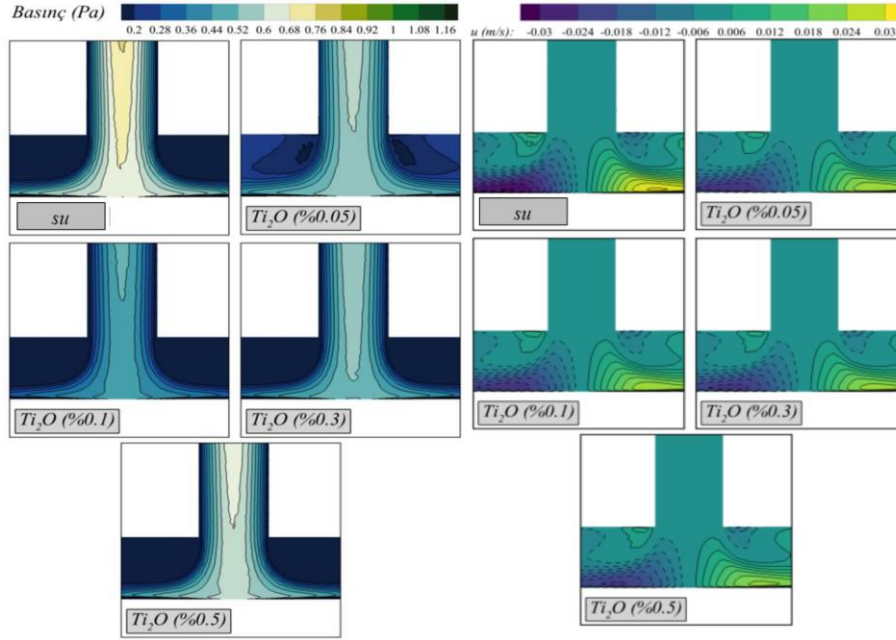
Akışkanlar	Kayıp katsayıları, K_k	
	L	T
Su+ %0,05 TiO_2	1,094	2,00
Su+ %0,1 TiO_2	1,172	2,138
Su+ %0,3 TiO_2	1,134	2,711
Su+ %0,5 TiO_2	1,369	3,282

Çizelge 11. Bağlantı parçalarının kayıp katsayıları, K_k , k- ω modeli (TiO_2)

Akışkanlar	Kayıp katsayıları, K_k	
	L	T
Su+%0,05 TiO_2	1,002	2,286
Su+%0,1 TiO_2	1,434	2,979
Su+%0,3 TiO_2	1,363	3,777
Su+%0,5 TiO_2	1,655	4,517



Şekil 6. L Bağlantı Parçası için basınç ve hız dağılımları (TiO_2)



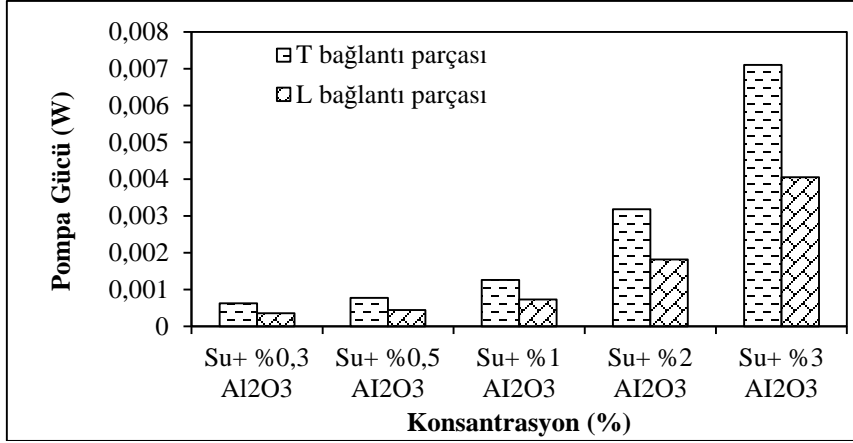
Şekil 7. T bağlantı parçası için basınç ve hız dağılımları (TiO₂)

TiO₂ nanoakışkanın 4 farklı hacim konsantrasyonu da ele alındığında konsantrasyonun artışı ile basınç farkının da arttığı görülmektedir. Basınç farklarıyla hesaplanan yerel kayıp katsayı değerinin de arttığı görülmüştür. Türbülans modellerin uygunluğu diğer nanoakışkanlarla aynıdır.

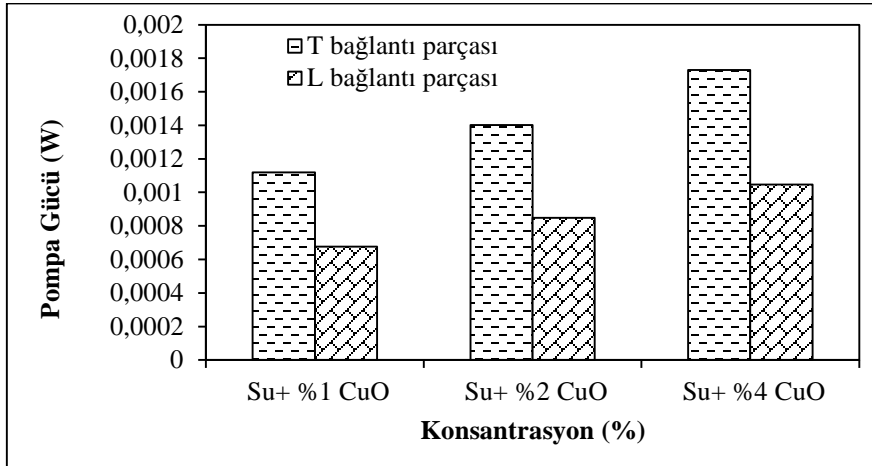
3.2. Farklı Nanoakışkanların Farklı Konsantrasyonlarında Pompa Gücü

Farklı hacim konsantrasyonlarında farklı nanoakışkanlar için eşitlik 13 yardımıyla elde edilmiş pompa gücü grafikleri Şekil 8, 9 ve 10'da verilmiştir. Bütün nanoakışkanlar ve bütün konsantrasyonlarda en yüksek basınç farkının T bağlantı parçasında meydana geldiği görülmüştür. Bunun sebebi, gerçek akış şartlarında, sürtünmenin sebep olduğu enerji kaybı nedeniyle, akışkan içinde ve akış istikametinde farklı iki nokta arasındaki enerji azalan bir eğilim gösterir. Bağlantı parçası girişindeki yük kaybı geometriye bağlıdır. Bağlantı parçaları için TiO₂ nanoakışkanının birçok farklı konsantrasyonu ele alınıp incelenmiş sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. Genel itibariye hacimsel konsantrasyon arttıkça nanoakışkan viskozitesi artmaktadır. Burada diğer nanoakışkanların aksine

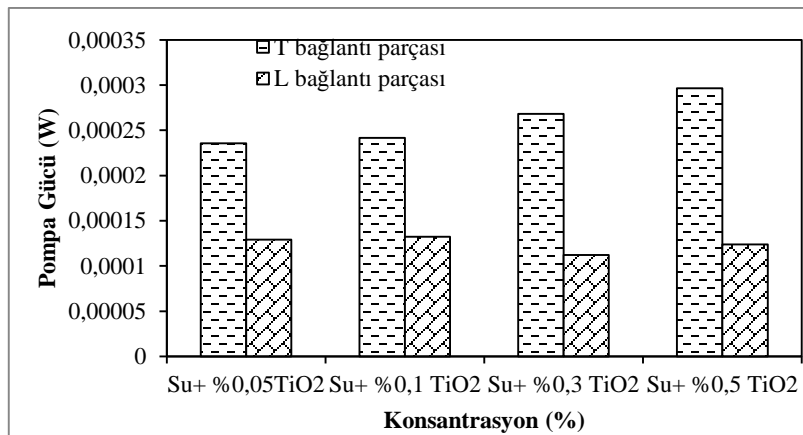
viskozitenin artmasıyla akış hızı azalmıştır. Çünkü TiO₂ nanoakışkanının dinamik viskozitedeki ve yoğunluk oranlarındaki artış oranı diğer nanoakışkanlar ile kıyaslandığında çok daha düşüktür. Konsantrasyon değeriyle birlikte yoğunluk ve dinamik viskozitedeki artmış olsa bile düşük artış oranı bunun önüne geçmiş ve hız azalmıştır. Buna ek olarak hacimsel konsantrasyonun ve Reynolds sayısının artışı da sonuç itibariyle basınç farkının artmasına neden olmuştur. Nanoakışkanların konsantrasyonu arttıkça gerekli duyulan pompa gücü de kayıpların artmasına bağlı olarak belirgin bir artış gözlenmiştir. Gerekli pompa gücü için Reynolds sayısı, giriş hızı, hacimsel debi, basınç farkı gibi faktörler büyük önem taşımaktadır. Tesisatlarda pompa seçimi bilindiği gibi; öncelikle enerji verimliliği ve maliyet açısından çok önem arz etmektedir. Buna ek olarak pompanın birlikte kullanılacağı akışkanın yoğunluğu, viskozitesi, pompanın tipi ve bağlanacağı tesisat da önemli kriterler arasındadır. Bunun için tesisatlarda temel akışkan yerine iletkenliği yüksek nanoakışkan kullanımının ısı transferini arttırdığı durumu ele alınmalı, nanoakışkanların yerel kayıpları ve basınç kayıplarını arttırması durumu göz ardı edilmelidir.



Şekil 8. Al₂O₃ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



Şekil 9. CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



Şekil 10. TiO₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı tipte tesisat bağlantı parçalarının içerisinde su yerine nanoakışkan geçirilmesi durumunda oluşan yerel kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. Tesisatlarda en çok kullanılan 2 farklı bağlantı parçası (L ve T) seçilip, bu bağlantı parçalarının içerisinde alüminyum, bakır ve titanyum esaslı nanopartiküllerin eklenmesiyle oluşan nanoakışkanlar geçirilmiş ve basınç düşüşleri sayısal olarak hesaplanmıştır.

Nanoakışkanların konsantrasyonu arttıkça yerel kayıp katsayısı değerinin ve basınç farkının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Nanoakışkan kullanılması durumunda basınç kaybının arttığı görülmüştür. Basınç kaybının artışı; Al_2O_3 , CuO ve Ti_2O nanoakışkanlarını oluşturan nanopartiküllerin sabit sıcaklık altındaki termofiziksel özellikleri, hacim konsantrasyonları, akışın türbülanslı ya da laminar şartlar altındaki karakteristik özelliğinin çok fazla etkili olduğu ortaya konulmuştur. Hacim konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak dinamik viskozitenin artışı ile basınç farkının da arttığı görülmüştür. Sayısal çözümlerinde Standart $k-\epsilon$, $k-\omega$ Standart türbülans modeli olmak üzere iki farklı model kullanılmıştır. Bütün bağlantı parçaları için en uygun modelin $k-\epsilon$ modelinin uygun sonuçları verdiği doğrulanmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Sunulan bu çalışma, Mürüvvet Avcı'nın Dr. Nehir TOKGÖZ danışmanlığında yürüttüğü yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Bergles, A., 1983. Augmentation of Heat Transfer, Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere Publishing, New York, secs, 2, 489-501.
2. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., 2006. Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi, Mühendis Makine, 559, 29-34.
3. Choi, S.U., Eastman, J.A., 1995. Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, in, Argonne National Lab., IL (United States).
4. Murshed, S., Leong, K., Yang, C., 2008. Thermophysical and Electrokinetic Properties of Nanofluids—a Critical Review, Applied Thermal Engineering, 28, 2109-2125.
5. Ganvir, R., Walke, P., Kriplani, V., 2017. Heat Transfer Characteristics in Nanofluid—a Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75, 451-460.
6. Hassanzadeh, R., Tokgoz, N., 2017. Thermal-hydraulic Characteristics of Nanofluid Flow in Corrugated Ducts., Journal of Engineering Thermophysics, 26, 498-513.
7. Tokgoz, N., 2018. The Numerical Study of Heat Transfer Enhancement Using Al_2O_3 -water Nanofluid in Corrugated Duct Application, Journal of Thermal Engineering, 4(3), 1984-1997. DOI: 10.18186/journal-of-thermal-engineering.409655
8. Ahmed, M., Shuaib, N., Yusoff, M.Z., Al-Falahi, A., 2011. Numerical Investigations of Flow and Heat Transfer Enhancement in a Corrugated Channel Using Nanofluid, International Communications in Heat and Mass Transfer, 38, 1368-1375.
9. Sasmito, A.P., Kurnia, J.C., Mujumdar, A.S., 2011. Numerical Evaluation of Laminar Heat Transfer Enhancement in Nanofluid Flow in Coiled Square Tubes. Nanoscale Research Letters, 6, 1-14.
10. Godson, L., Raja, B., Lal, D.M., Wongwises, S.E.A., 2010. Enhancement of Heat Transfer Using Nanofluids-an Overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 629-641.
11. Manay, E., Şahin, B., Akyürek, E.F., Çomaklı, Ö., 2012. Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı, TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, 53(627), 38-42
12. Hashemi, S., Akhavan-Behabadi, M., 2012. An Empirical Study on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of CuO -base Oil Nanofluid Flow in a Horizontal Helically Coiled Tube Under Constant Heat Flux, International Communications in Heat and Mass Transfer, 39, 144-151.
13. Ahmed, M., Shuaib, N., Yusoff, M.Z., 2012. Numerical Investigations on the Heat Transfer Enhancement in a Wavy Channel Using

- Nanofluid, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 5891-5898.
14. Kabeel, A., Abou El Maaty, T., El Samadony, Y., 2013. The Effect of Using Nano-particles on Corrugated Plate Heat Exchanger Performance. *Applied Thermal Engineering*, 52, 221-229.
 15. Chavda, N., Jani, J.P., Patel, A.K., Zala, K.P., Nimbark, N.G., 2014. Effect of Nanofluid on Friction Factor of Pipe and Pipe Fittings: Part I- Effect of Aluminum Oxide Nanofluid. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4, 4069-4074.
 16. Barik, A.K., Satapathy, P.K., Sahoo, S.S., 2016. CFD Study of Forced Convective Heat Transfer Enhancement in a 90° Bend Duct of Square Cross Section Using Nanofluid, *Sādhanā* 41, 795-804.
 17. Vasa, A., Barik, A.K., Nayak, B., 2017. Turbulent Convection Heat Transfer Enhancement in a 180-degree U-bend of Triangular Cross-section Using Nanofluid, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 012067.
 18. Mohamad, A., 2015. Myth About Nano-fluid Heat Transfer Enhancement, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 86, 397-403.
 19. Çengel, Y., Cimbala, J.M., Engin, T., 2008. *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*, Güven Kitabevi.
 20. Kim, J., Yadav, M., Kim, S., 2014. Characteristics of Secondary Flow Induced by 90-degree Elbow in Turbulent Pipe Flow, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 8, 229-239.
 21. Homicz, G.F., 2004. *Computational Fluid Dynamic Simulations of Pipe Elbow Flow*, in, Sandia National Laboratories.
 22. Rahimzadeh, H., Maghsoodi, R., Sarkardeh, H., Tavakkol, S., 2012. Simulating Flow Over Circular Spillways by Using Different Turbulence Models, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 6, 100-109.
 23. Wilcox, D.C., 1988. Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models, *AIAA Journal*, 26, 1299-1310.
 24. Özbey, M., 2016. Experimental Study on Pressure Drop of Aluminum-oxide/water Nanofluids. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 30, 342-349.
 25. Bedir, Ö., 2013. Sabit Isı Akılı Yatay Bir Boruda Zorlanmış Türbülanslı Akışta Nanoakışkanların Sayısal İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, 118.
 26. Gedik, E., Kayfeci, M., Keçebaş, A., Kurt, H., 2017. Dairesel Bir Boruda Al₂O₃/su ve TiO₂/su Nanoakışkanların Laminer Zorlanmış Isı Taşınımı, *TTMD Dergisi*, 48-53.

Aktif Tektonikte Uzaktan Algılama Uygulamaları: Doğu Anadolu Fay Zonu'ndan Bir Örnek

Elif AKGÜN^{*1}, Murat İNCEÖZ¹, Hatice Seval MANAP²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ
²Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

Geliş tarihi: 22.04.2021 Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Uzaktan algılama uygulamaları, aktif tektonik çalışmalarında yapısal unsurların belirlenmesi ve diri fay haritalarının hazırlanmasında saha çalışmalarına kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin en önemli aktif tektonik unsurlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) orta kısmı konu edilmiştir. SRTM, Landsat 8 OLI ve ASTER gibi açık erişimli uydu görüntüleri uzaktan algılama yöntemleriyle işlenerek aktif tektonik çalışmalarında önemli rol oynayan morfotektonik yapılar belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Landsat 8 uydu görüntüsünün yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip pankromatik 8. Band ve SRTM görüntülerinin birleştirilmesi ile ana tektonik hatlar daha belirgin hale gelmiştir. ASTER uydu görüntülerine uygulanan bant kombinasyonu, kenar gemesi, dekorelasyon gemesi ve temel bileşen analizi gibi zenginleştirme teknikleri, kontrastı artırarak görüntünün yorumlanmasını kolaylaştırmıştır. Tektonik hatların yanı sıra akarsu ötelenmeleri, basınç sırtları, çizgisel vadi gibi morfotektonik özelliklerin ve litolojik sınırların ayırt edilmesinde ASTER görüntüleri multispektral özelliği ile belirleyici olmuştur. Tüm bu çalışmaların sonucunda, DAFZ üzerindeki sol yanal atımlar ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SRTM, Landsat 8 OLI, ASTER, Doğu Anadolu fay zonu, Aktif tektonik

Remote Sensing Applications in Active Tectonics: An Example from the Eastern Anatolian Fault Zone

Abstract

Remote sensing applications facilitate field studies in the determination of structural elements in active tectonic studies and the preparation of active fault maps. In this study, the middle part of the East Anatolian Fault Zone (EAFZ), which is one of the most active tectonic elements of Turkey, was entreated. The morphotectonic structures that play a significant role in active tectonics were determined and interpreted by processing open-access satellite images such as SRTM, Landsat 8 OLI, and ASTER with remote sensing methods. With the combination of the SRTM images and the panchromatic 8th Band of Landsat 8 satellite images with high spatial resolution, main tectonic lines became more evident. Enhancement techniques such as band combination, edge stretching, decorrelation stretching, and principal component analysis applied to ASTER satellite images expedited the interpretation of the image by increasing the contrast. In addition to tectonic lines, ASTER images with their multispectral feature were determinant in distinguishing morphotectonic features such as stream displacements, pressure

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Elif AKGÜN, efiratligil@firat.edu.tr

ridges, linear valleys, and lithological boundaries. As a result of all these studies, sinistral offsets on the EAFZ were revealed.

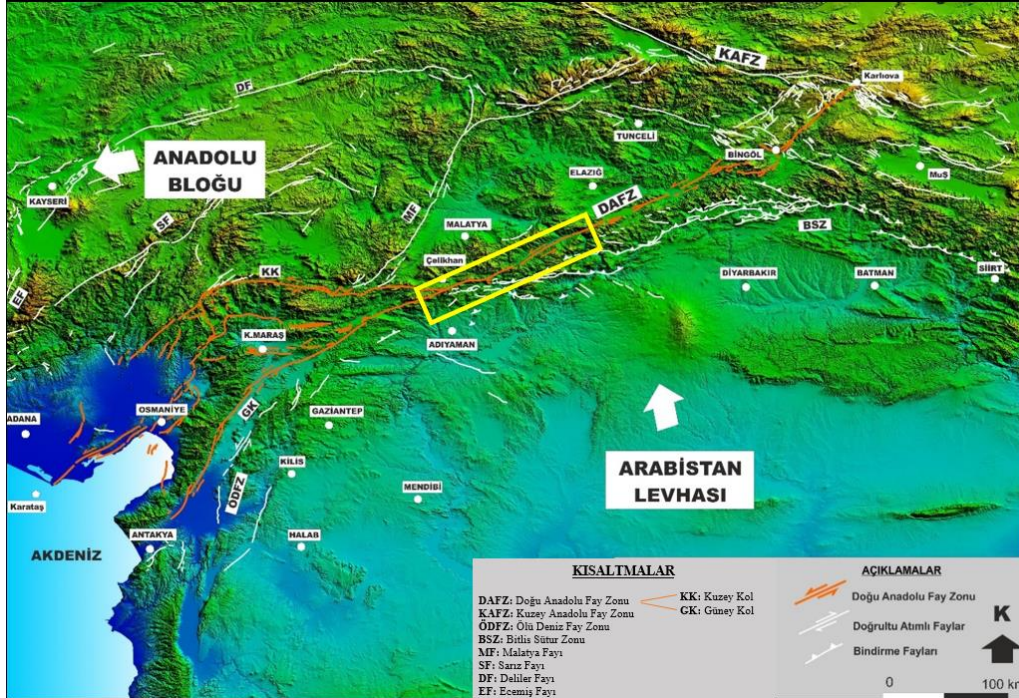
Keywords: SRTM, Landsat 8 OLI, ASTER, East Anatolian fault zone, Active tectonic

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama uygulamaları mekânsal ve spektral çözünürlüklere sahip uydu görüntülerinin, amaca uygun yöntemlerle işlenmesine ve yorumlanmasına dayanmaktadır [1]. Birçok disiplinde olduğu gibi yer bilimlerinde de oldukça yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmakta olup saha çalışması öncesi inceleme alanının uzaktan algılama yöntemleri ile incelenmesi, aktif tektonik çalışmalarında büyük kolaylık sağlamaktadır. Özellikle engebeli ve ulaşımı zor arazi koşullarına sahip bölgelerde gerçekleştirilen uzaktan algılama uygulamaları sahayı birçok yönden inceleyebilme konusunda oldukça avantajlıdır.

Aktif tektonik çalışmalar yeryüzünün kırılğan kısmı boyunca gelişmiş zayıflık zonları olarak

bilinen fayları ve çizgisellikleri incelemektedir. Tektonik hatların belirlenmesinin yanı sıra; çalışma alanındaki çizgiselliklerin saptanması ve yorumlanması çalışma alanının aktif tektoniğinin ve deformasyon mekanizmasının anlaşılmasına büyük katkı sağlamaktadır. Özellikle de doğrultu atımlı faylar çizgisellik analizi için çok sayıda yapısal çeşitlilik (ana yer değiştirme zonu, antitetik ve sentetik kırıklar, p kırıkları, genişlemeli ve sıkışmalı yapılar) sergilemektedir [2]. Bu kapsamda, Türkiye'nin en önemli fay zonlarından biri olan DAFZ'nin aktif tektonik özellikleri, uydu görüntülerini zenginleştirme ve işlemeye dayalı uzaktan algılama çalışmaları ile incelenmiştir. Çalışma, Arabistan ile Avrasya levhaları arasındaki yakınsamaya bağlı gelişmiş kıta içi doğrultu atım karakteri sergileyen DAFZ'nin orta kısmını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. SRTM görüntüsü üzerinde Doğu Türkiye'deki ana tektonik unsurlar [3] ve çalışma alanının lokasyonu (Büyük beyaz oklar levhaların hareket yönünü göstermektedir)

24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ)-Doğanyol (Malatya) depreminin (Mw: 6,8, AFAD) de geliştiği inceleme alanındaki aktif tektoniğin birçok disiplinle araştırılması sismik risk analizleri için önem arz etmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak jeolojik ve tektonik özellikleri belirlemek amacı ile çalışmalar [2,4-7] gerçekleştirilmiştir.

Çizgisellikler jeolojik, morfolojik, ton farklılıkları ve insan yapımı olmak üzere dört grupta toplanabilir. Fay, kırık, eklem setleri ve zayıflık zonlarını kapsayan jeolojik çizgisellikler analiz için en önemli veriyi oluşturmaktadır. Morfolojik çizgisellikleri ise sırtlar, çizgisel vadiler, akarsular ve taraçalar oluşturmaktadır. Jeolojik ve tektonik süreçler sonucu gelişmiş olan bu morfolojik özellikler çizgisellik analizi için bir diğer veri kaynağını oluşturmaktadır. Ton farklılıklarına bağlı oluşan çizgisellikler ise birimlerin litolojik farklılığına, topraktaki nemlilik oranına ve bitki örtüsüne bağlı olarak gelişmektedir. Özellikle doğrudan atımlı fayların farklı birimleri karşı karşıya getirdiği ve birimlerde atıma neden olduğu düşünüldüğünde, uydu görüntülerinde farklı spektral özelliklere sahip litolojik farklılıkların [8] belirlenmesi aktif tektonik çalışmalar için öneme sahiptir. Jeolojik süreçlere bağlı oluşmayan yol, ekili alanlar, binalar, maden ocakları gibi insan yapımı çizgiselliklerin analizlerde değerlendirilmesini engellemek için, bu üç çizgisellik türünün tektonik kökenli olup olmadığı arazi gözlemleri ile kesinlikle denetlenmelidir. Bu üç çizgisellik türünün tektonik kökenli olup olmadığı arazi gözlemleri ile kesinlikle denetlenmelidir. Bu çalışma için, inceleme alanına ait 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 8 OLI (Yörünge 173, Sıra 33-34) ile 1 ARC saniye (30x30m) çözünürlüğündeki SRTM (Koordinat: 37N-38E, 37N-39E, 38N-38E, 38N-39E) uydu görüntülerine Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Kurumu (USGS) üzerinden açık erişim ile sağlanmıştır. 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip ASTER uydu görüntüleri de USGS üzerinden ücretsiz olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, mekânsal ve spektral farklılıklara sahip uydu

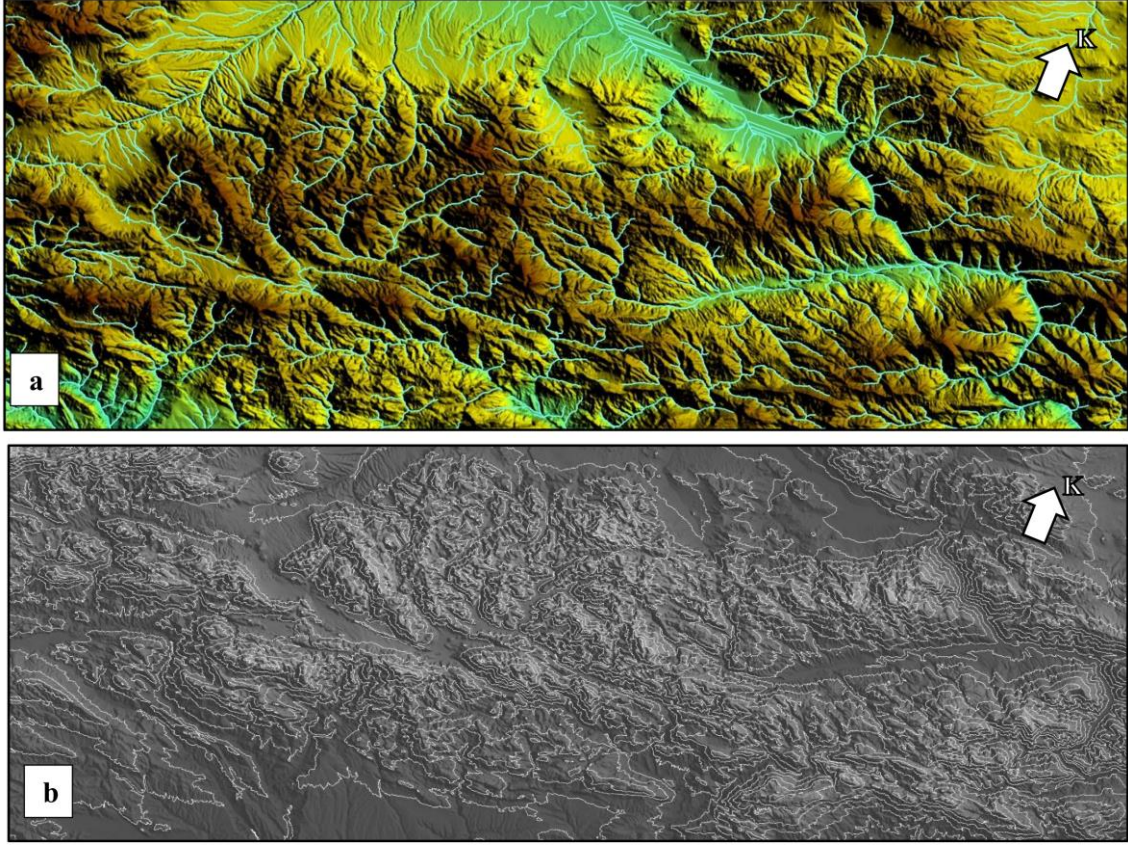
görüntülerinin uzaktan algılama yöntemleri ile iyileştirilerek, aktif tektonik yapıların belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Aktif tektoniğin ana araştırma konusu olan faylar ve morfolojik yapılar arazi çalışmalarına ek olarak uzaktan algılama yöntemleri ile de belirlenebilir. Bu yöntemler arazi çalışmaları öncesi ve sonrası, alandaki morfolojik yapıların belirlenmesi ve yorumlanmasında büyük katkı sağlamaktadır. Bu amaçla SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) görüntüleri arazinin topoğrafyasını yansıtarak, ana tektonik hatların belirlenmesinde büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca SRTM görüntülerinden sayısal yükseklik modeli (SYM- DEM) elde edilerek drenaj ağları (Şekil 2a) ve istenilen aralıklarda eş yükselti (Şekil 2b) eğrileri üretilebilmektedir. Drenaj ağlarının desenleri ve ötelenmeleri tektonik çalışmalar için anahtar unsurlardır. SYM'den üretilen eş yükselti eğrileri ise morfoloji ve tektonik unsurlar hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Landsat 8 uydusu; 30 m mekânsal çözünürlüklü 3 görünür, 1 yakın kızılötesi ve 2 kısa dalga kızılötesi bantları, 100 m mekânsal çözünürlüklü termal bantları, yine 30 m mekânsal çözünürlüklü olan bulutları (circus) algılayan bandı ve bunlardan ayrı 15 m mekânsal çözünürlüklü pankromatik bandı olmak üzere 11 banda sahiptir. Landsat 8 görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi görüntülerinde 8 bit ve termal görüntülerde 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahiptir. Zamansal çözünürlüğü 16 gün olan uydu 185 km tarama genişliği ile geniş bir alanı taramaktadır.

En yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olan 8. pankromatik bant üzerine uygulanan Gram-Schmidt (G-S) Pan-sharpening zenginleştirme metodu ile mekânsal ve spektral çözünürlüğü yüksek daha kaliteli bir görüntü elde edilmiştir [9]. Ayrıca doğal arazi görünümünü elde etmek için bant kombinasyonu uygulanmıştır.



Şekil 2. SRTM görüntülerinden elde edilen Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM-DEM), a) SYM'den üretilen drenaj ağı haritası, b) SYM'den üretilen eş yükselti eğrileri

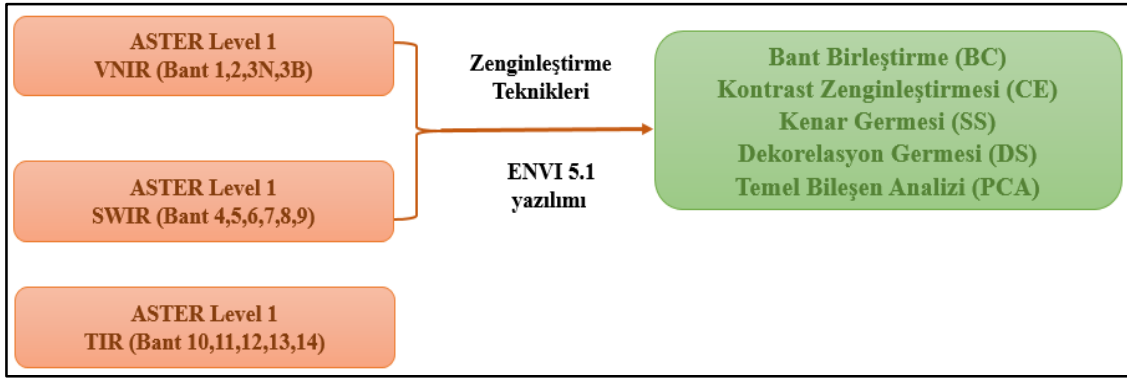
ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) NASA tarafından TERRA uzay aracı üzerine yerleştirilmiş multispektral görüntüleri kayıt eden gelişmiş bir modüldür. ASTER modülü üç farklı algılayıcıdan oluşmaktadır: Görünür ve Yakın-Kızılötesi (VNIR) 15 m'lik mekânsal çözünürlüğe sahip 3 bant (Bant 1, 2 ve 3N) ve bir bant stereo görüş için geri bakış teleskopu (3B); Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 30 m'lik mekânsal çözünürlüğe sahip 6 bant ve Termal Kızılötesi (TIR) 90 m'lik mekânsal çözünürlüğe sahip 5 bantta sahiptir. VNIR ve SWIR görüntüleri 8 bit, TIR görüntüleri 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahiptir. Zamansal çözünürlüğü 16 gün olan uydunun tarama genişliği de 60 km'dir. ASTER uydu görüntüleri, Landsat'a göre yüksek spektral çözünürlüğe sahip olması nedeniyle tektonik ana hatların yanı sıra morfolojik

unsurların ve litolojik farklılıkların tespit edilmesini sağlamaktadır. ASTER uydu görüntülerinin yüksek spektral çözünürlüğünden faydalanılarak çok sayıda mineral dağılımına dayalı tematik jeoloji haritaları üretilebilmektedir [10-12].

Uydu görüntüleri indirilirken görüntünün alındığı zamana dikkat edilmiştir. Bunun nedeni uydu görüntülerinde yağışlı aylarda bulut, kış aylarında havanın puslu ve yaz aylarının çok sıcak günlerinde ise buharlaşmanın olmasına bağlı olarak görüntü kalitesinin bozulmasıdır. Görüntüler ön işleme, çeşitli zenginleştirme ve yorumlama teknikleri kullanılarak ENVI 5.1 yazılımı ile işlenmiştir. Düzenli ve düzensiz bilgiler içeren uydu görüntülerinden esas verilerin doğru bir şekilde elde edilebilmesi için

radyometrik ve geometrik düzeltmeler uygulanarak uydu görüntüleri ön işlemden geçirilir. Görüntüyü yorumlama ve analiz için etkili hale getiren zenginleştirme teknikleri renk ve ton farklılıkları sağlayarak görüntü iyileştirilir. Elde edilmesi planlanan uydu görüntülerini yorumlama tekniklerini bant birleştirme, kontrast zenginleştirme (CE), dekorelasyon gemesi (DS), kenar gemesi (SS) ve temel bileşen analizi (PCA) oluşturmaktadır. Bu teknik işlemler uydu görüntüsünün yorumlanmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Şekil 3). ASTER uydu görüntüleri

üzerine uygulanan zenginleştirme ve işleme teknikleri, tektonik hatları daha belirgin hale getirmektedir. Morfolojik çeşitlilik sergileyen doğrultu atımlı faylarda net bir şekilde görülen drenaj ötelenmeleri, aktif tektonik hatların belirlenmesinde kullanılan en güvenilir ölçüttür. [13]. Ayrıca fotojeoloji ve uzaktan algılama çalışmalarında drenaj desenlerindeki değişim jeolojik birimlerin sınırlarını [14] dolayısıyla yapısal unsurları da ortaya çıkarabilir.



Şekil 3. ASTER uydu görüntülerine uygulanan zenginleştirme yöntemlerinin akış şeması

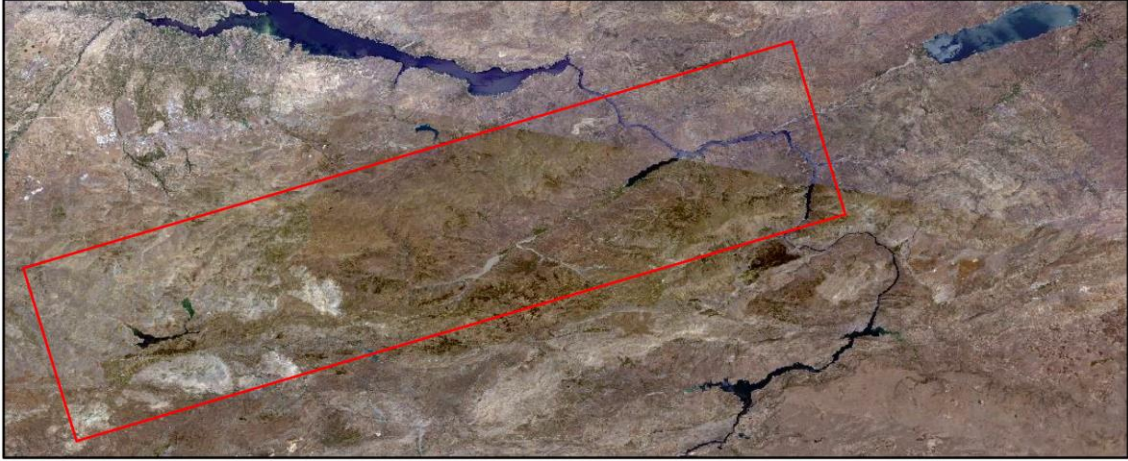
Bant kombinasyonu uzaktan algılama çalışmalarının en yaygın tekniği olup, görüntüdeki renk kontrastını artırarak uydu görüntüsü üzerindeki verilerin yorumlanmasını sağlamaktadır. Esası temel bileşenler analizi olan dekorelasyon gemesi (DS), korelasyonu yüksek olan çok bantlı görüntüler için bir renk zenginleştirme tekniğidir [15]. Dekorelasyon gemesinin amacı, bant içerisindeki korelasyonu azaltmak ve gerdirmiş işlemi ile renk değişimini geliştirmek ve böylelikle görsel yorumlamayı güçlendirmektir. Yeni bir koordinat sistemi hesaplayarak çoklu spektral veri setlerini sıkıştırarak bir teknik [16] olan temel bileşen analizi (PCA) gürültüyü filtrelemede ve sistemlerin gruplandırılmasında kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu teknik, birden fazla bant üzerine uygulanabilir. Bantlar genellikle birbirleriyle görsel ve sayısal olarak oldukça ilişkilidir. Bu nedenle çok boyutlu veri içerisindeki cisimleri tanımak ve birbirinden ayırmak zorlaşabilir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada aktif tektonik hatların belirlenebilmesi için SRTM, Landsat 8 ve ASTER uydu görüntülerine çeşitli görüntü işleme ve zenginleştirme teknikleri uygulanmıştır. Çalışma alanına ait Landsat 8 görüntülerinin 15 m mekânsal çözünürlüğe ve pankromatik özelliğe sahip 8. bant özelliğinden faydalanarak da uydu görüntüsünden maksimum fayda sağlanmıştır. Arazi görünümü elde edebilmek için uydu görüntüsüne RGB:432 doğal bant kombinasyonu uygulanmıştır. Tektonik yapıları maksimize etmek için SRTM görüntüsü üzerine Landsat 8 OLI doğal renk kombinasyonu eklenerek, yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu arazi görünümü elde edilmiştir (Şekil 4). Çalışma alanının Doğan Yol (Malatya) kesiminde yaklaşık 13 km'lik atıma sahip Fırat Nehri boyunca fay zonuna ait segmentler net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca fay zonuna paralel gelişmiş uzamış sırtlar ve

çizgisellikler RGB: 521 renk kombinasyonu ve kenar gemesi yöntemleri ile daha belirgin hale getirilirken, Fırat Nehri'ni besleyen yan kollardaki ötelenmeler fayın sol yönlü karakterini açıkça

göstermektedir (Şekil 5). Segmentin geometrisinin iyi belirlenmesi sismik risk açısından büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4. SRTM görüntüsü ve RGB: 432 doğal bant kombinasyonu uygulanmış Landsat 8 uydu görüntüsünün katmanlı görünümü (kırmızı çerçeve incelenen alanı göstermektedir)



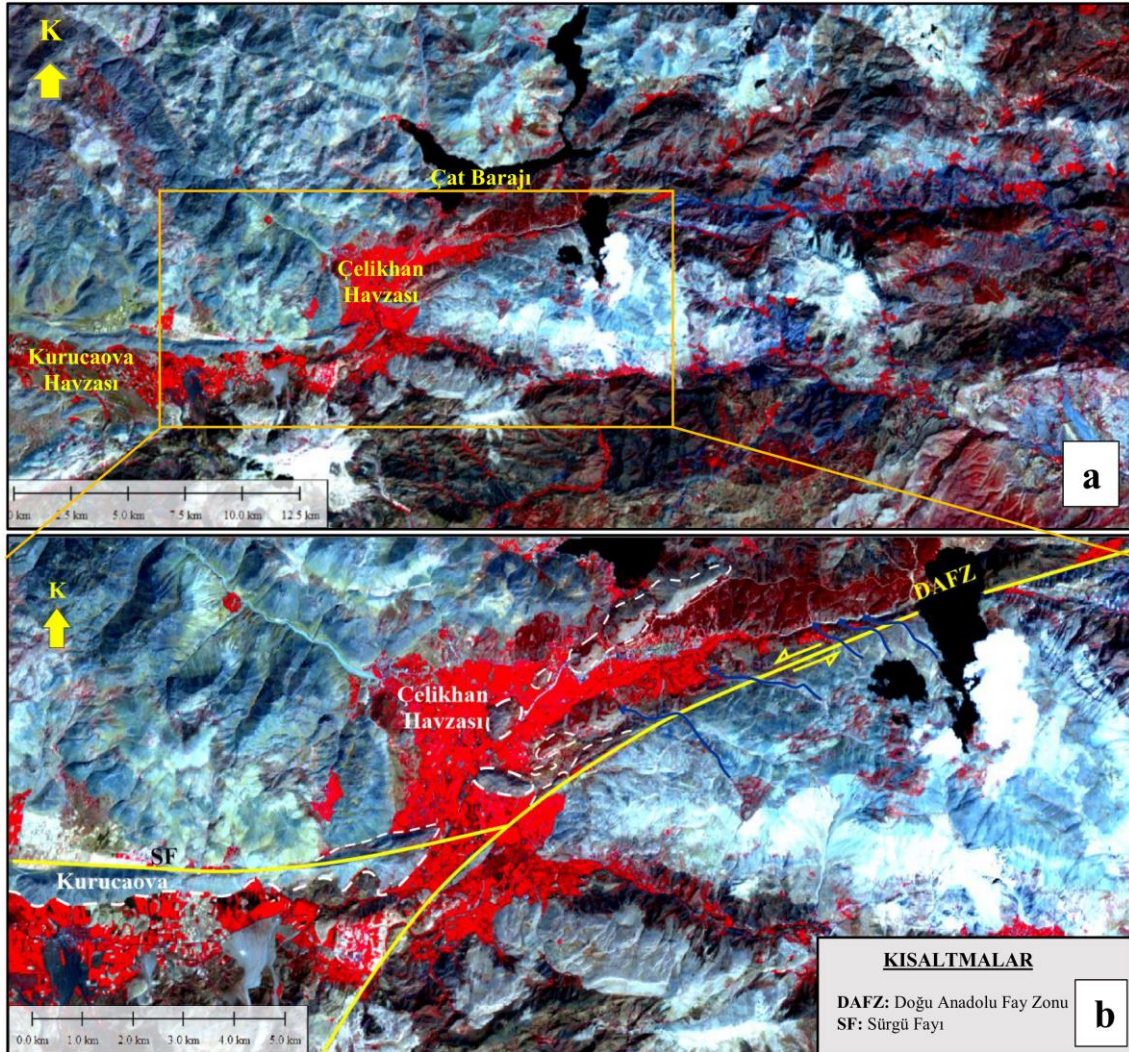
Şekil 5. RGB: 521 bant kombinasyonu ve kenar gemesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü, yorumlanmış görünümü (DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, sarı çizgiler ana fay zonunu, kırmızı çizgiler faya paralel gelişmiş basınç sırtlarının eksenlerini, mavi çizgiler ise ötelenmiş akarsuları göstermektedir)

Çalışma alanının güneybatı kesimine ait ASTER uydu görüntüsüne uygulanan RGB:321 bant kombinasyonu ile yapay renk bileşimi oluşturulmuştur (Şekil 6a). Ek olarak kenar

gemesi uygulanarak, görüntü daha net hale getirilmiştir. Elde edilen görüntüde kırmızı renkli alanlar havzaları ve tarım arazilerini temsil ederken, diğer alanlar ise bölgedeki dayanımlı

kayaçların oluşturduğu yükseltilerdir. Çelikhan'ın (Adıyaman) hemen doğusunda vadi içerisindeki akarsu ötelenmeleri yaklaşık 100 m ile 400 m arasında sol yanal atıma karşılık gelmektedir. DAFZ Çelikhan'ın güneyinde doğrultusunu bir

yay gibi değiştirerek Çelikhan havzasının güneydoğusunu sınırlamaktadır. Bu alanda faya paralel gelişmiş basınç sırtları dikkat çekmektedir (Şekil 6b).



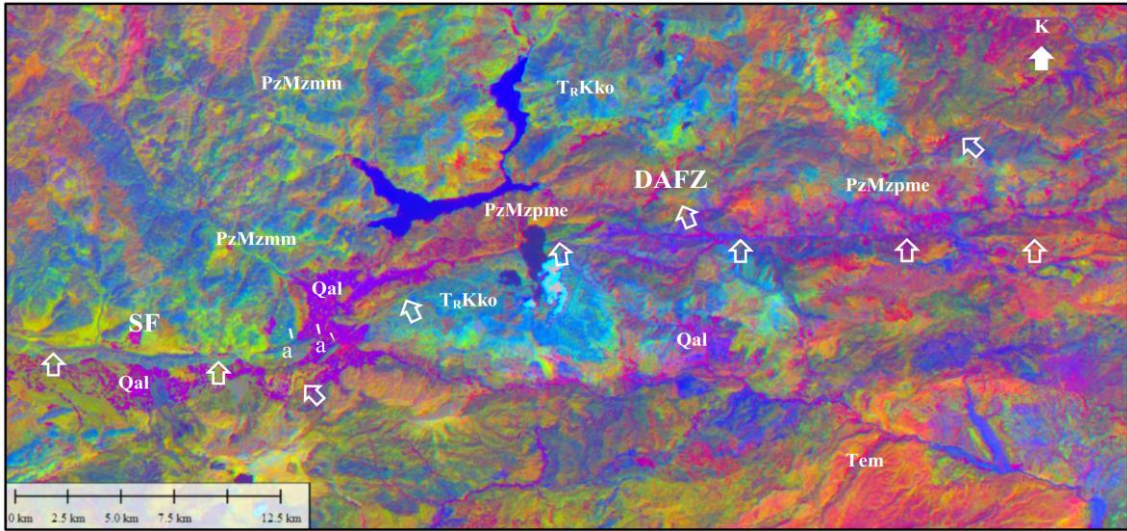
Şekil 6. a) RGB: 321 bant kombinasyonu ve kenar germesi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü, b) Çelikhan havzası ve çevresine ait uydu görüntüsünün yorumlanmış hali (sarı çizgiler ana fay zonunu, beyaz kesikli çizgiler faya paralel gelişmiş basınç sırtlarını, mavi çizgiler ise ötelenmiş akarsuları göstermektedir)

Ayrıca bu alanda RGB: 421 bant kombinasyonu ile işlenmiş görüntü üzerine dekorelasyon germesi uygulanarak, alandaki litolojik farklılıkları ortaya

çıkartılmıştır. Mavi renkli alanlar Malatya Metamorfitleri'ne ait mermerleri, mor alanlar alüvyonları, Turuncu alanlar Maden Karmaşığı'na

ait birimleri, sarı-kahverengi karışımı alacalı alanlar ise Pütürge Metamorfitleri'ne ait kayaları göstermekte olup, birim sınırları hakkında kabaca da olsa bilgi vermektedir. Birimlerin petrografik, mineralojik ve reolojik farklılıklarından kaynaklı DAFZ ve Sürgü Fayı'nın uzanımı renk kontrastı ile net olarak ayırt edilmektedir (Şekil 7). Ayrıca yaklaşık KD-GB doğrultusundaki baraj gölünün güneyinde mor renkle ayırt edilen Çelikhan Havzası'nda yaklaşık 1 km'lik sol yanal litolojik atım (a-a') söz konusudur. Pliyo-Kuvaterner yaşlı bu havza dolgusunun fay tarafından sol yanal olarak ötelenmesi fayın yaşının oldukça genç

olduğunun önemli bir göstergesidir. Bu filtreleme ile litolojik atım net bir şekilde izlenmekte olup, bu alandaki saha çalışmaları sırasında birimin faylı yüzlemleri gözlemlenmiştir. Bir önceki filtrelemede olduğu gibi (Şekil 6), bu filtrelemede de (Şekil 7) dayanımı düşük kayalar (alüvyonlar-mor renkli alanlar) ile dayanımı yüksek kayalar (Malatya Metamorfitlerine ait mermerler-mavi renkli alanlar) keskin sınırlarla diğer birimlerden ayırt edilmektedir. Bu anlamda birimin türü ve dayanımı da litolojik ayrımın seçiciliğinde önem taşımaktadır.



Şekil 7. Çelikhan ve çevresinin RGB: 421 bant kombinasyonu ve dekorelasyon germeşi uygulanmış ASTER uydu görüntüsü (PzMzmme: Malatya Metamorfitleri, PzMzpm: Pütürge Metamorfitleri, TRKko: Koçalı Ofiyoliti, Tem: Maden Karmaşığı, Qal: Alüvyon, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, SF: Sürgü Fayı, beyaz oklar belirgin fay izini, a-a': 1 km'lik litolojik atımı göstermektedir)

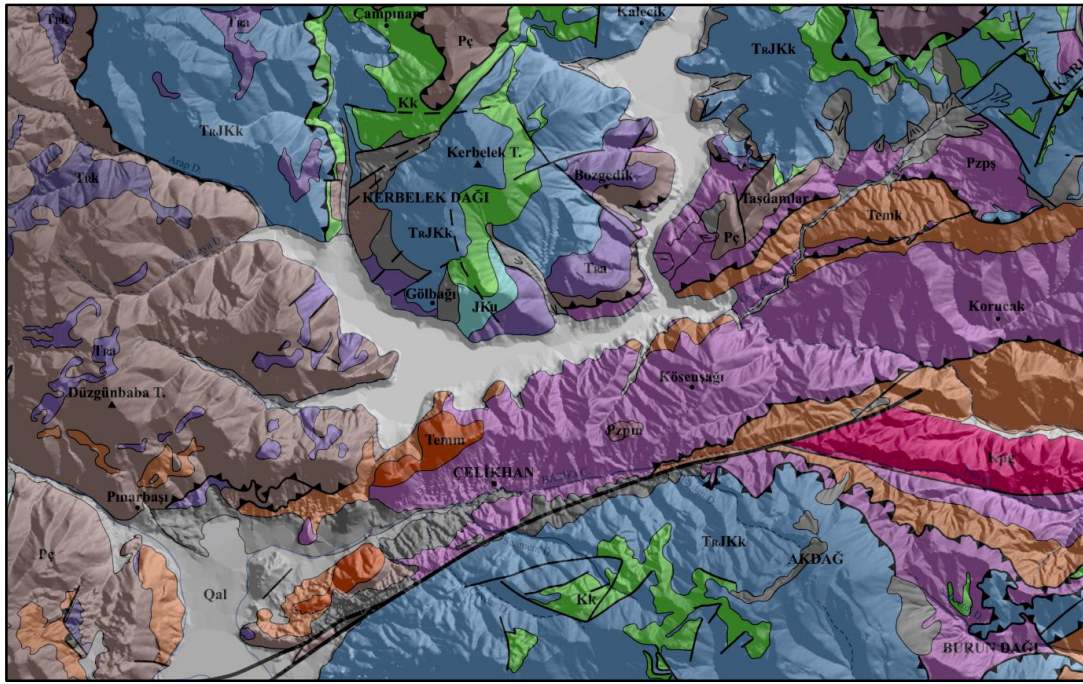
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Aktif fay zonlarında segmentlerin geometrisi ve faylara bağlı gelişen morfolojik yapıların iyi belirlenmesi olası sismik risk alanlarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Uzaktan algılama çalışmaları her ne kadar saha çalışmaları öncesi arazi hakkında önemli veriler elde edilmesini sağlasa da, uydu görüntülerinden elde edilen bulgular saha çalışmaları ile denetlenmeden yorumlanmamalıdır.

Bu çalışmada tektonik hatların yanı sıra aktif tektonik yorumlama için oldukça önemli olan morfolojik yapılar da belirlenmiştir. SRTM ve Landsat 8 uydu görüntülerinde tektonik ana hatların ve çizgiselliklerin oldukça belirgin olmasına karşılık; işlenmiş ASTER uydu görüntüleri ise tektonik hatları göstermenin yanı sıra, morfolojik yapıların yorumlanmasında büyük kolaylık sağlamıştır. Ayrıca ASTER uydu görüntülerinin multispektral bant özelliği litolojik birim sınırlarının ayırımında Landsat 8 uydu

görüntülerine göre daha belirleyici olmuştur. ASTER görüntüsü üzerine uygulanan zenginleştirme teknikleri ile su kütleleri, ekili alanlar kolaylıkla ayırt edilmiştir. Reolojik olarak dayanımlı litolojik birimlerin rölyefi ve tonu diğer birimlerden farklılık göstermektedir. Özellikle Çelikhhan Havza'sını dolduran çökelleri oluşturan

genç birimlerin fay tarafından sol yanal ötelenmesinin açıkça görülmesi, fayın yaşının yorumlanmasına imkân vermiştir. Bu alandaki litolojik birimlerin sınırları Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca gerçekleştirilen jeolojik harita çalışmalarındaki [17] birim sınırları ile uyumludur (Şekil 8).



Şekil 8. Çelikhhan ve çevresinin jeoloji haritası [17]

Özellikle su kütlesi ve Çelikhhan havzası içerisindeki genç dolgunun sınırları her iki uydu görüntüsünde de keskin hatlarla belirgindir. Ancak ASTER görüntülerine uygulanan zenginleştirme teknikleri (Şekil 7) saha çalışmalarına dayalı jeolojik harita (Şekil 8) ile karşılaştırıldığında, litolojik sınırların ayırt edilmesinde, multispektral özelliğin litolojik sınırlardaki belirleyici özelliği açıkça görülmüştür.

Çeşitli uydu görüntülerinin (ASTER, Landsat 8 OLI, Sentinel-2A MSI) işlenmesine dayalı gerçekleştirilen bant kombinasyonu ve bant oranlama teknikleri [6,7] litolojik birimleri etkileyen faylı bölgelerde litolojik birimlerin yanı sıra bu birimlerin sınırlarındaki ötelenmelerin belirlenmesinde de önemli rol oynamıştır.

Çalışmadaki en fazla veri ASTER uydu görüntüleri üzerine uygulanan zenginleştirme teknikleri ile elde edilmiştir. Landsat 8 OLI uydu görüntüleri işlenerek çalışma alanında daha önce çizgisellik analizi gerçekleştirilmiştir [4]. Özel ve yönlü filtreleme teknikleri uygulanarak manuel olarak çıkarılan çizgisellikler, DAFZ'nin KD-GB doğrultusunu ve yaklaşık D-B doğrultulu bindirme kuşağını açıkça yansıtmıştır. Landsat 8 uydu görüntüsündeki 15 m mekânsal çözünürlüğe ve pankromatik özelliğe sahip 8. bant, çizgiselliklerin belirginleşmesini ve görsel yorumlamayı kolaylaştırmıştır. Bu çalışmada belirlenen morfotektonik özellikler, [4] tarafından gerçekleştirilmiş çizgisellik analizinin sonucu ile uyumlu olup, DAFZ'nin KD-GB uzanımını ve sol yanal karakterini açıkça yansıtmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Kaymakçı, N., İnceöz, M., Ertepinar, P., 2006. 3D Architecture and Neogene Evolution of the Malatya Basin: Inferences for the Kinematics of the Malatya and Ovacik Fault Zones, Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 123-154.
2. Koç, A., Kaymakçı, N., 2013. Kinematics of Sürğü Fault Zone (Malatya, Turkey): A Remote Sensing Study, Journal of Geodynamics, 65, 292-307.
3. Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics, Geological Society London, Special Publications, 19.
4. Akgün, E., İnceöz, M., Manap, H.S., 2019. Geological Lineament Analyses Application to a Fault Segment on the East Anatolian Fault Zone, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria.
5. Köküm, M., 2019. Landsat TM görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 119-127.
6. Khalifa, A., Çakır, Z., Kaya, Ş., Gabr, S., 2020. ASTER Spectral Band Ratios for Lithological Mapping: a Case Study for Measuring Geological Offset Along the Erkenek Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, Arabian Journal of Geosciences, 13, 832.
7. Zabcı, C., 2021. Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI Uydu Görüntülerinin Karşılaştırmalı Jeoloji Uygulaması: Örnek Çalışma Alanı Olarak Doğu Anadolu Fayı Boyunca Palu-Hazar Gölü Bölgesi (Elazığ, Türkiye), Geomatik, 6(3), 238-246.
8. Nguyen, P.T., Ho, D., 1988. Multiple Source Data Processing in Remote Sensing, Digital Image Processing in Remote Sensing, 153-176.
9. Doski, J.A.H., 2019. Tectonic Analysis of Lineaments in the Gara Anticline, Northern Iraq, Journal of Indian Society of Remote Sensing.
10. Vander Meer, F., 1997. What Does Multisensor Image Fusion add in Terms of Information Content for Visual Interpretation?, International Journal of Remote Sensing, 18, 445-452.
11. Rowan, L.C., Mars, J.C., 2003. Lithologic Mapping in the Mountain Pass, California Area Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data, Remote Sensing of Environment, 84, 350-366.
12. Manap, H.S., San, B.T., 2018. Lithological Mapping Using Different Classification Algorithms in Western Antalya, Turkey, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria.
13. Akgün, E., 2020. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 116.
14. Brockmann, C.E., Fernandez, A., Ballon, R., Claire, I.L., 1977. Analysis of Geological Structures Based on Landsat-1 Images, Remote Sensing Applications for Mineral Exploration, 292-317.
15. Sümer, E.Ö., San, B.T., Gürçay, B., Pekesin, B.F., Avcı, M.K., Koruyucu, M., Dağlıyar, A., Teoman, Ş., Topçu, T., Özgüner, C., 2006. ASTER Uydu Verisi Uygulamaları; Türkiye'den Örnekler, MTA Özel Yayın Serisi, 5, 71.
16. Sabins, F.F., 1987. Remote Sensing Principles and Interpretation, 2nd ed., W.H. Freeman and Company, New York, 481.
17. Herece, E., 2008. Atlas of East Anatolian Fault. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series 13, 359.

Havaalanlarında Bagaj Sıralama İstasyonu Atama Probleminin Tampon Süre Açısından İncelenmesi

Fatma Şeyma YÜKSEL*¹, Figen ANTMEN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 10.02.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Havaalanı performanslarının sıralanmasındaki anahtar göstergelerden biri yanlış işlenen bagaj sayısıdır. Geciken, hasar gören veya çalınan bagaj gibi hatalı işlenen bagajlar para ve itibar kaybına ve yolcu memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Verimli bir bagaj işleme sistemi havaalanı performansını artıracak, yolcu şikayetlerini azaltacaktır. Bagaj işlemlerinden biri olan bagaj sıralama istasyonu atama problemi, çeşitli kısıtların göz önünde bulundurularak bagajların uçağa ulaştırılması işlemidir. Bagaj sıralama istasyonu atama probleminin amacı tüm uçuşları, kısıtları göz önünde bulundurarak sıralama istasyonlarına atamaktır. Çalışmada, bagaj sıralama istasyonu atama problemi üzerine çalışılmış ve tampon süreyle ilgili analizler yapılarak önerilerde bulunulmuştur. Ortaya konulan çözüm yaklaşımı gerçek verilerle problem üzerinde test edilmiştir. Elde edilen bulgular, bagaj atama probleminde tampon süre üzerinde etkili sonuçlar ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Havaalanı optimizasyonu, Atama problemi, Karışık tamsayılı programlama

Examining the Baggage Sorting Station Assignment Problem at the Airport in Terms of Buffer Time

Abstract

One of the key indicators in sorting airport performances is the number of baggage that is handled incorrectly. Improperly processed baggage, such as delayed, damaged or stolen baggage, causes loss of money and reputation, passenger dissatisfaction. An efficient baggage handling system will improve airport performance, reduce passenger complaints. The problem of assigning a baggage sorting station, which is one of the baggage operations, is the process of transporting baggage to the aircraft, taking into account various restrictions. The purpose of the baggage sorting station assignment problem is to assign all flights to sorting stations, taking into account constraints. In the study, baggage sorting station assignment problem was studied and recommendations were made by analyzing buffer duration. The results show effective results on buffer time in the baggage assignment problem.

Keywords: Airport optimization, Assignment problem, Mixed integer programming

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatma Şeyma YÜKSEL, fdonmez@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

20. yy'nin ikinci yarısından itibaren, hizmet sektörünün ekonomideki yeri dikkatleri üzerine çekecek derecede ilerleme göstermiştir. Hizmet işletmeleri, bireysel ihtiyaçları karşıladığı gibi, endüstriyel ihtiyaçları da karşılamak amacıyla ulaşım, finansal ve iletişim hizmetleri de sunmaktadırlar. Ulaşım hizmetlerinden biri de havayolu taşımacılığıdır. Havayolu taşımacılığının değeri her geçen gün gelişen ağ yapısıyla artmaktadır. Kaynaklarının anlamlı kullanılması havaalanı hizmet kalitesi için önemli bir konudur. Uluslararası bir havaalanı olmak için bu kaynakların yönetilmesi çok önemlidir [1].

Globalleşen yeni pazar yapısında, yolcuların hizmet kalitesine yönelik beklentileri değişmekte, bu değişim yolcuların beklentilerinden doğan hizmet kalitesini de etkilemektedir. Yolcuların değişen beklentileri havayolu işletmelerinin müşteri memnuniyetini sağlayarak rekabetin hâkim olduğu piyasada üstünlük sağlamasını zorlaştırmaktadır. Rekabetin oldukça yoğun hissedildiği havayolu ulaştırma sektöründe firmaların başarılı olmaları için müşterilerinin globalleşen pazarda değişen beklenti ve isteklerini anlaması ve bunlara cevap bulması önem arz etmektedir. Bu nedenle havacılıkta sunulan hizmetlerde başarı sağlamanın ölçütü müşteri memnuniyetidir. Pazarda kalabilme çabalarının sonucu olan sürekli yenilenme, havayollarına bilinçli adımlar atmaları durumunda büyük ölçüde rekabet avantajı kazandıracaktır. Ancak bu durum; zamanında, hatasız, etkin maliyetli çözümler gerektirmektedir.

Havayolu işletmeciliği sektöründe müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen, önem arz eden kısımlar ise yolcuların uçağa biniş ve inişleri sırasında gerçekleşen işlemlerdir. Bir uçağın kalkış zamanı ve varış zamanı arasında birçok işlem meydana gelmektedir. Uçaktan yolcuları çıkışa aktarmak en belirgin işlemlerden biridir. Bagajlarının sirküle olması, uçağın yakıt ihtiyacının giderilmesi, yeni yolcuların giriş işlemleri (check-in) ve uçağa bindirilmesi, yeni malzemelerin uçağa konulması (boarding), uçağın temizlenmesi bu işlemlere ek olarak sayılabilir. Bu

işlemler uçak kapıda beklerken veya ayrılmasından sonra gerçekleştirilecektir. Gerçekleştirilen her işlemde havaalanının en önemli beklentisi müşteri memnuniyeti olacaktır. Kapı atama ve bagajların uçağa ve müşterilere ulaştırılması da memnuniyeti doğrudan etkileyen işlemlerdendir. 2019'daki uluslararası hava yolculuğu tüketici raporunda 2. sıraya kadar ilerleyen bagaj teslim şikayetleri 2020'deki raporda 6. sıraya gerilemiştir [2]. Bu şikayetlerin azalmış olması bagaj sorunlarının çözülmesinin müşteri memnuniyeti açısından önemini göstermektedir.

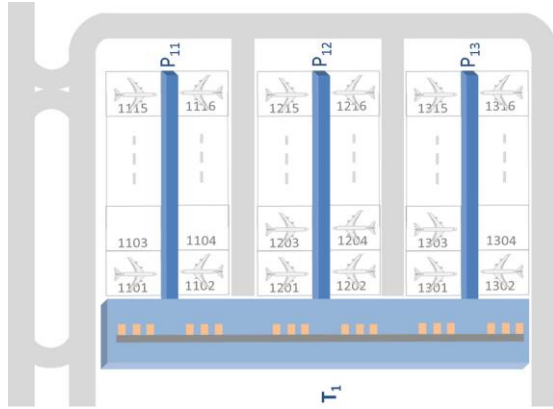
Bagaj işlemlerinin havaalanlarında işletme maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturduğu düşünülmektedir [2]. Bu nedenle her geçen gün artan yolcu sayıları nedeniyle bagaj işlemlerini verimli hale getirecek bir sistem zorunlu hale gelmektedir. Verimli bir bagaj işleme sisteminin havalimanı performansını arttırıp, yolcu şikayetlerini azaltacağı düşünülmektedir. Havalimanlarındaki bu bagaj işleme sistemi, yolcu bagajlarının giriş işlemlerinde toplanmasından geri teslim edilmesine kadar olan işlemleri kapsamaktadır.

Havaalanı bagaj işleme sisteminin iyileştirilmesinde, bagaj sıralama istasyonu problemi de dahil olmak üzere kaynak kullanım işlemlerinin daha iyi modellenmesi ve çözümü önemlidir. Uçakların geri dönüş sürecinde yer alan belirsizlikler nedeniyle dönüş sürelerini önceden doğru bir şekilde tahmin etmek genellikle kolay değildir. Ortak karar verme, bu durumu iyileştirmek ve büyük faydalar elde etmek için anahtardır. Bagajın yanlış yerde olması veya diğer uçuş bagajlarıyla karıştırılma olasılığını azaltmak ve sıralama istasyonundan uçağa bagaj alma mesafesini azaltmak söz konusu durumu çözümlenmede daha etkili olacaktır. Bu belirsizliklerin azaltılması sağlanarak gecikmelerin önemli ölçüde önüne geçilebilecektir [3].

1.1. Problemin Tanımı ve Amacı

Havaalanları içerisinde uçakların park ettiği stant adı verilen alanlar vardır. Stantların olduğu alan da iskele olarak adlandırılır. Havaalanlarında kapı sayısını arttırmak amacıyla iskelelerin iki tarafına

da çıkıntı yapılabilir (Şekil 1). Kapı ise yolcuların havaalanından uçağa geçtikleri çıkışlardır. Stantlar trafik sıkışıklığına göre kapıya bağlı olabilir veya uzakta olabilir ve yolcular uçağa otobüs aracılığıyla aktarılır.



Şekil 1. Havaalanı iskelelerinde uçak stantlarının yerleşimine örnek [4]

Yolcu bagajlarının uçağa aktarılması uçak kalkışı gerçekleşmeden yapılması gereken bir diğer işlemdir. Geçici depolanan bagajlar seyahat için bagaj sistemlerine yüklenir. Sıralama istasyonlarında bagajlar sıralanır. Bagaj arabalarıyla veya doğrudan uçağa gönderilir. Bu istasyonlar genelde her kapıda bulunmaz, bu nedenle kapıları istasyonlara eşlemek önemlidir. Bagajlar geldiğinde uçak kapıya gelmemiş olabilir ve sıralama istasyonunda bekletilir. Bu istasyonlar ve stantlar arasında birebir uygunluk ve ideal yer garanti edilemez. Bu nedenle sıralama istasyonuna kapıdan daha çok ihtiyaç duyulur. Asco ve arkadaşlarının [4]'da belirttiği gibi bu olay her zaman pratik olmaz; çünkü geri dönüş zamanlarında belirsizlikler de mevcuttur. Bagaj sıralama istasyonlarının en iyi şekilde uçuşlara/kapılara atanması; bagajın yanlış uçuşa gitme olasılığını azaltmaya ve bagaj yolculuğunu kısaltmaya yardımcı olur.

Bu çalışma ile bagaj sıralama istasyonu atama problemi tampon süre açısından farklı bakış açısıyla değerlendirilip, çözüm sunulmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada sıralama istasyonları atanırken uçak kalkış saati sınırlarında tüm bagajların ilgili uçaklara gitmiş olması amaçlanmaktadır. Eğer kalkış süresine kadar bu işlem gerçekleşmemiş olursa bagajlar inişte yolculara ulaştırılmamış olacaktır. Sıralama istasyonlarında çakışma olmamasını sağlamak diğer amaçlardan biridir. Aynı zamanda, gerçek zamanlı veriler kullanılarak çıkan atama sonuçlarının gerçeğe yakın olması amaçlanmıştır.

Çalışmada söz konusu problem aşağıdaki kapsamda ele alınmıştır:

- Ataması gerçekleştirilecek bagajlar iç hatlar giden yolcu uçaklarına ait bagajlar olarak ele alınmıştır.
- Modelde incelenen kaynaklar; uçağın havaalanına geliş ve kalkış saatleri, bagajların uçağa ulaşma ortalama süreleri, spesifik bagaj miktarları ve istasyonlar ve uçaklar arasındaki mesafe olarak sınırlandırılmıştır.
- Model çalıştırılırken mevsimler ve olağanüstü nedenlerden kaynaklı ertelenen veya geciken uçuşlar göz ardı edilmiştir.

Bagaj sıralama istasyonu atama problemi, bu çalışmada daha önce yapılmış olan araştırmalar ve kurulan modeller incelenip, bagajların uçağa ulaştırılma süresi için oluşturulan kısıtlar tekrardan revize edilerek ele alınmıştır [3-5]. Böylece gerçek zamana daha uygun sonuçlar elde etmek istenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümünde bagaj sıralama istasyonlarıyla alakalı yapılan daha önceki çalışmalar incelenmiş, özetlenmiştir.

Rijsenbrij ve Ottjes [6], uçaklardan bagajların taşınması üzerine çalışma yapmışlardır. Güncel bagaj taşıma yöntemlerinin yorucu ve zaman alıcı olmasından dolayı alternatif ulaşım ve yeniden zamanlanmış plan önermişlerdir. Önerilen çözümün prototip simülasyonunu kurarak test etmişlerdir.

Abdelghany ve arkadaşları [7], sıkışık havaalanlarında bagaj sıralama istasyonu için zamanlama modeli kurmuşlardır. Mevcut iskelelerdeki uçuşlara bagaj sıralama istasyonu atamışlardır ve farklı iskelelere atanan bagaj miktarının, eşdeğer yükü garanti edeceğinden, karşılaştırılabilir olması gerektiğini savunmuşlardır. Ayrıca aynı anda operasyonda olan istasyon sayısının az olması gerektiğini, çünkü az olması durumunda aynı anda daha az insan gücü gerekeceğini savunmuşlardır. Son olarak ise bir bagaj sıralama istasyonu birden çok iskeleye ayrılıyorsa bu iskelelerin birbirine yakın olması gerektiğinden bu koşula göre atama yapılması gerektiği durumunu incelemiştir. Kurdukları model yukarıdaki farklı operasyonel gereksinimleri tatmin ederken mevcut iskelelerden kullanımı optimize etmeye çalışmıştır. Modellerinde Greedy algoritmasından faydalanmışlardır.

Asco ve arkadaşları [3-5] yapmış oldukları bagaj sıralama istasyonlarıyla ilgili 2011'deki [4] çalışmalarında birden fazla hedefle istasyon atama problemi için yapıcı algoritmalar sunup etkilerini ortaya çıkarmış, mevcut sıralamaların farklılıklarını karşılamışlardır. Uygun algoritmayı istasyon sayısına ve hizmet süresinde kısaltma olup olmamasına göre seçmişlerdir. Hizmet süresindeki kısaltmayı her uçuşun bagajları için verilen tampon süreye uygulamışlardır. 2014'teki çalışmalarında bir önceki çalışmalarının genişletilmiş analizini sunmuşlardır [5]. Kabul edilen sabit işlem süresine, diğer uçuşla bagaj karışıklığı olmaması için verilen tampon süreden yapılabilecek maksimum kısaltmayı hesaplama üzerine model kurmuşlardır. Kabul edilir ve yararlı çözümler sunmaya çalışmışlardır.

Alsyouf ve arkadaşları [8], çalışmalarında yanlış işlenen bagajların nedenlerini belirleyip etkili çözümler önermeyi amaçlamıştır. Çalışmada altı sigma metodolojisine dayanan beş aşamadan oluşan bir prosedür kullanmışlardır. Önerilen prosedür, karar vericinin belirlenen hedefe göre bagaj taşıma sisteminin performansını ölçmeyi sağlamıştır.

Shih ve arkadaşları [9], bagaj boşaltma alanlarının iki uçuşun bagajlarını aynı anda dağıtabileceğini göz önünde bulunduran bir model oluşturmuşlardır. Önerilen modelin amacı, boşaltma sürecindeki iş yükünü azaltmaktır.

Huang ve arkadaşları [10], çalışmalarında giden uçuş bagajlarının depolama alanlarına atama problemini iki aşamalı stokastik vektör atama problemi olarak modellemişlerdir. Toplam maliyetleri en aza indirmek için modele ek kısıtlar eklenerek oluşturulan modeli Asya'daki büyük bir havaalanına uygulamışlardır.

Frey ve arkadaşları [11], gelen uçuşlardan bagajları boşaltma alanlarına atama problemini incelemiştir. Amacı iş yükünü en aza indirecek olan modeli çözmek için bir ayrıştırma prosedürü oluşturmuşlardır.

Huang ve arkadaşları [2], çalışmalarında giden uçuş bagajlarının depolama alanlarına atama problemi için bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Model iki aşamalı programlama kullanılarak oluşturulmuştur. Eklenmesi düşünülen kısıtların modeli çözülmesi zor hale getirdiğinden hesaplama hızını arttırmak için önerilerde bulunmuşlardır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Havalimanlarında yolcular iç hatlar giden, iç hatlar gelen, dış hatlar giden, dış hatlar gelen ve aktarmalı olarak 5 kısma ayrılır. Bu kısımların hepsini birden ele almak problemi karmaşıklaştıracağından dolayı, bu çalışmada sadece iç hatlar giden yolcularının uçuşları ele alınarak atama yapılmıştır. İç hatlar giden yolcuları için havaalanındaki ilk aşama, biletlerinin giriş işlemlerini yapmaları ve varsa uçak bagajlarını teslim etmeleridir. İkinci aşama, güvenlik kontrolüdür. Üçüncü aşama ise çağrı yapıldığında ilgili kapıdan uçağa geçmeleridir.

Yolcular haricinde uçuşla ilgili bagaj sisteminde de farklı işlemler olmaktadır. İlki giriş işleminde alınan bagajların bekleyeceği sıralama

istasyonlarına yönlendirilmesi, ikincisi ise kalkış zamanı yaklaşan uçuş bagajlarının sıralama istasyonundan uçağa yönlendirilmesidir. Yolcular uçaklarına geçtiklerinde bagajların da hareket saatinden önce uçağa yüklenmiş olması gerekmektedir.

Bu çalışmada bir havaalanında iç hat uçuşlarının kalkış zamanları, bagajların uçağa yüklenme süreleri ve havaalanının mevcut kapı ve istasyon sayıları kullanılarak, daha iyi sonuçlar elde etmek üzere belirli kısıtlar altında test edilmiştir.

3.2. Metot

Havaalanı işletmeciliğinin faaliyet alanlarından biri de bagaj sistemleridir. Müşteri memnuniyetinde ikinci sıraya yükselen bagaj işleminin üç ana fonksiyonu bulunmaktadır [7];

- Giriş işlemleri alanından kalkış kapısına bagajları taşıma,
- Bagajları bir kapıdan başka bir kapıya taşıma,
- Geliş kapılarından bagaj teslim alanına bagaj getirme.

Bu üç ana fonksiyonun da belirli kısıtlar altında gerçekleştirilmesi istenmektedir. En büyük kısıt zamandır. Giden uçuş bagajlarının uçuş saatinden önce uçağa varması, gelen uçuş bagajlarının en kısa sürede yolculara ulaştırılması ve transfer yolcu bagajlarının bir sonraki uçuş bagajlarına eklenmesi önemli zaman kısıtlarındandır. Bu üç fonksiyon arasından çalışmaya konu olan giriş işlemleri alanından kalkış kapısına bagaj taşıma problemi için optimizasyon model oluşturulmuştur.

Bir optimizasyon problemi olan bagaj sıralama istasyonu atama probleminde çok sayıda amaç fonksiyonu kullanılabilir. Bunların bazıları mesafeyi azaltma, tüm uçuşların istasyona atanması, boş kalma zamanlarının azaltılması olarak ifade edilebilir. Tek bir amaç fonksiyonun hedeflenmesi gibi, amaç olarak birden fazla fonksiyonun ele alındığı problemler de bulunmaktadır [3,4,7,8]. Bu çalışmada yararlanılan ve daha önce kurulmuş olan modelde birden fazla amaç fonksiyonu bulunmaktadır [5].

Çalışma kapsamında problem için model doğrusal programlama tekniklerinden olan ulaştırma ve atama problemleri yöntemine dayalı olarak kurulmuştur. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda probleme uygun görülen daha önce kurulmuş modellerden, yeni kısıtlar eklenerek yararlanılmıştır [3-5]. Yeni oluşturulan kısıtlar daha sonraki başlıklarda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Asco ve arkadaşları [5] bagaj sıralama istasyonu atama problemi için geliştirdikleri modelde aşağıdaki notasyonları kullanmışlardır:

N : Dikkate alınacak bagaj sıralama istasyon sayısı

M : Sıralama istasyonu tahsis edilmesi gereken uçuş sayısı

e_i : Uçuş j için hizmet bitiş zamanı

t_j : Uçuş j için hizmet başlangıç zamanı

C_j : Uçuş j için kabul edilen spesifik bagaj miktarı

D_{ij} : i . Bagaj ayırma istasyonu ile j . uçuş arasındaki mesafe

R : Uçuş hizmet süresi için belirlenen tampon süre (dk)

A : En kısa hizmet süresi (dk)

M : Ortalama hizmet süresi (dk)

B : En uzun hizmet süresi (dk)

Yukarıdaki notasyonlardan R bu çalışmada literatürden farklı olarak ele alınmıştır. Asco ve arkadaşları [5] izin verilen hizmet süresinin maksimum azaltılacağı süreyi hesaplatmış ve ona göre probleme çözüm sunmuşlardır. Bu çalışmada ise geçmiş veriler kullanılarak belirlenen, tampon süre kullanılmıştır.

Probleme ilişkin modelleme aşağıdaki varsayımlar dikkate alınarak oluşturulmuştur.

- Sadece iç hatlar giden yolcu bagajları ele alınmıştır.
- Herhangi bir hava muhalefeti veya olağanüstü bir durum olmadığı, tüm uçakların saatinde havaalanına indiği ve kalktığı varsayılmıştır.
- Model bir gün 24 saat olarak çalıştırılmıştır.

Bu bağlamda ele alınan problemin modeli aşağıdaki gibidir (Eşitlik 1-9):

$$\max \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij} \quad (1)$$

$$\min \sum_{j=1}^M (C_j \cdot \sum_{i=1}^N (y_{ij} \cdot D_{ij})) \quad (2)$$

$$\min \sum_i \left| \sum_{j=1}^M y_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij}}{N} \right| \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij} = 1 \quad (4)$$

$$(e_j - t_i) > R \quad \text{ise} \quad y_{ij} + y_{il} \leq 1 \quad (5)$$

$$(e_j - t_i) \leq R \quad \text{ise} \quad (y_{ij} + y_{il} - 1)(e_j - t_i) \leq R \quad (6)$$

$$\mu_j = \frac{a_j + 4m_j + b_j}{6} \quad (7)$$

$$\sigma_j = \frac{b_j - a_j}{6} \quad (8)$$

$$t_j = e_j - (\mu_j + \sigma_j) \quad (9)$$

Eşitlik 1’de verilen çalışmanın amaç fonksiyonlarından ilkinin maksimum atama oluşturmaktadır. Maksimum atama uçuşların maksimum sayıda istasyonlara atanmasını, açıkta kalan uçuş sayısının minimum olmasını ifade etmektedir. Bu amaç, atama problemleri için ortak amaçtır ve atanacak olan kümenin hepsinin atanması hedeflenir, kısıtlar dahilinde maksimum atama gerçekleşir. Kullanılan amaç fonksiyonu; Asco ve arkadaşları’nın [5] çalışmalarında kullandığı amaç fonksiyonundan değiştirilmeden alınmıştır.

Eşitlik 2’de diğer amaç olan minimum mesafe için sıralama istasyonu ve uçuş kapısı arasındaki mesafe dikkate alınmıştır. İstasyon ile uçuş kapısı arasındaki mesafenin minimum olması hem zaman açısından hem de harcanan enerji açısından önemlidir.

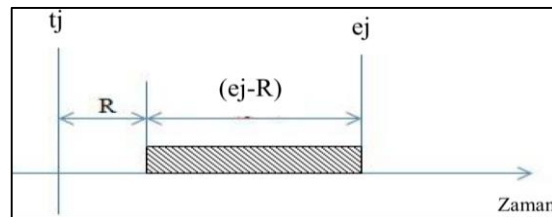
Eşitlik 3’te verilen amaç fonksiyonu ise; adil atama fonksiyonudur. Bu amaç, atamalar arasında daha adil bir dağılım için gereklidir. Çünkü bir istasyon tam dolu olarak çalışırken bir diğerinin boş olması istenmez. Her istasyona eşit olmasa da eşite en yakın dağılım olması istenir. Abdelghany ve arkadaşları’nın [7] çalışmalarında oluşturdukları

adil atama fonksiyonu, bagaj sıralama istasyonlarına toplam atanan uçuş bagaj işlem sürelerinin toplamı arasındaki farkın minimum olmasını hedefler. Bu çalışmada, Abdelghany ve arkadaşları’nın [7] fonksiyonundan farklı olarak sürenin değil atama sayıları arasındaki farkın minimum olması hedeflenmiştir.

Modelde kullanılan kısıtlar ise; atama limiti (4) ve hizmet kısıtı (5), (6) olarak adlandırılmıştır.

Atama limiti: Her uçuş bir istasyona atanabilir. Eşitlik 4’te bu kısıtın göz ardı edilmesi durumunda uçuşlar birden fazla istasyona atanacak ve doğru bir atama gerçekleştirilemeyeceği belirtilmiştir. Bazı özel durumlarda, gelen uçuş yolcularının bir kısmının aktarma yolcusu olması gibi, birden çok istasyona atama gerçekleşebilir. Çalışmada karmaşıklığı azaltmak amacıyla aktarma yolcular göz ardı edilmiştir. Asco ve arkadaşları [5] bu kısıtı en fazla bir istasyona atanmalı olarak kullanmışlardır. Uygulama yaptıkları verilerde istasyona atanmadan bagaj otobüsleriyle uçağa alınan bagajlar olduğundan dolayı böyle bir kullanım tercih etmişlerdir.

Hizmet kısıtı: Bir bagaj sıralama istasyonu aynı anda sadece bir uçuş tarafından kullanılabilir. Çakışma olması durumunda uçuş bagajlarında karışıklık olabilir. Bu karışıklığı önlemek için yakın kalkış saatli uçuşların farklı istasyonlara atanması gerektiği Eşitlik 5 ve Eşitlik 6’da verilmiştir. Eğer tampon süre iki yakın saatli uçuşun bagaj işlemlerini karşılamaya yetiyorsa aynı istasyona atanabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Uçuş hizmet süresi için tampon süre kullanımı

Bu kısıtı oluştururken j uçuşuyla aynı olmayan bir l uçuşu ele alınır ($j \neq l$), ve $t_l \leq e_j \leq e_l$ durumunu sağlayan uçuşlarda uygulanır.

Asco ve arkadaşları [5] bu kısıtı oluştururken tampon süreyi sabit almayı tampon süreden de kesinti yapmak için bir karar değişkeni oluşturmuşlardır. Bu çalışmada ise tampon süre sabit kabul edilip hesaplanması PERT (Program Evaluation and Review Technique) mantığıyla elde edilmiştir.

Bagaj Yükleme Zamanı ve Tampon Süre Hesapları:

Eğer faaliyetlerin süreleri kesin olarak bilinmiyorsa proje için belirlenmiş bir teslim zamanında bitirme olasılığını bulmak için PERT yöntemi kullanılabilir. PERT yönteminde eylem için üç zaman tahmini yapılır.

M değerinin $(a+b)/2$ ile çakışması gerekmez, altında veya üstünde bir değer olabilir. a,b,m eylem süreleri benzer projelerden veya deneyimli kişilerin ölçümleriyle elde edilir. Bu zaman tahminleri kullanılarak Eşitlik 7,8 ve 9'da yapılan matematiksel ve istatistiksel işlemler sonucunda, her eylemin ve olayın tahmin edilen süre içinde gerçekleşme olasılıkları hesaplanır.

Bu çalışmada da bagaj yükleme zamanları bilinmediğinden, zamanlar bu yöntem kullanılarak modelde test edilmiştir. Tampon süre ise hesaplanan ortalama süreyle en uzun hizmet süresi arasındaki fark olarak kabul edilmiştir. Oluşan standart sapmayla çeşitli tampon süreler hesaplanarak model çalıştırılıp test edilmiştir.

Uygulanan çözüm yaklaşımının genel amacı, uçuş bagajlarını çakışma olmadan sıralama istasyonlarına atamaktır. Kurulan model GAMS programlama dilinde kodlanıp çalıştırılmıştır.

Modelde kullanılan hizmet zamanları modele dışarıdan girilmiştir. Bolat, çalışmasında, birim zamanı 5 dakika olarak kabul etmiş ve zamanları ona göre modeline aktarmıştır [12]. Birçok kapı atama problemi bu zaman birimini kullanarak çalıştırılmıştır [13,14]. Bu çalışmada ise zamanlar aradaki tampon süreler 5 dakikalık birimlerde net sonuç veremeyeceğinden dolayı; 60 dakika 100'e çevrilerek yazılmıştır. Yazılan yeni e_j 'ler

denkleminde yerine koyularak t_j 'ler hesaplanmıştır.

Tampon Sürenin Hesaplanması:

Bir uçuşun hizmet başlama ve bitiş süresi arasında başka bir uçuşun hizmet başlama zamanı denk geliyorsa; bu iki uçuşun aynı sıralama istasyonuna atanıp atanmayacağına tampon süreye bakılarak karar verilir. Eğer verilen tampon süre bu farktan büyükse, iki uçuşun aynı istasyona atanmasında bir sakınca yoktur. Tampon süre farktan küçükse, istasyon iki uçuşu aynı anda gerçekleştiremeyeceğinden, uçuşların farklı istasyonlara atanmaları gerekecektir. Tampon süre, hesaplanan ort_j ile en kısa hizmet süresi (A) arasındaki fark olarak alınmaktadır.

Modelin çalıştırılacağı programa uçuşların hizmete başlama, hizmeti bitirme zamanları ve tampon süre dışarıdan girilmektedir. Tampon süre, zaman aralıkları tam sayı olma durumuna göre üst ve alt limitlerine göre revize edilmiştir.

Oluşturulan model karışık tam sayılı programlamaya uygun olduğundan; optimizasyon programında model MIP (Mix Integer Programming) olarak çalıştırılmıştır. Amaç fonksiyonu değeri uçuş sayısına eşit bulunup tüm uçuşlar istasyonlara atanmıştır. Model, ayrıca, programda değişen tampon sürelerine göre de test edilmiştir. Elde edilen çıktılar aşağıdaki bölümde verilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

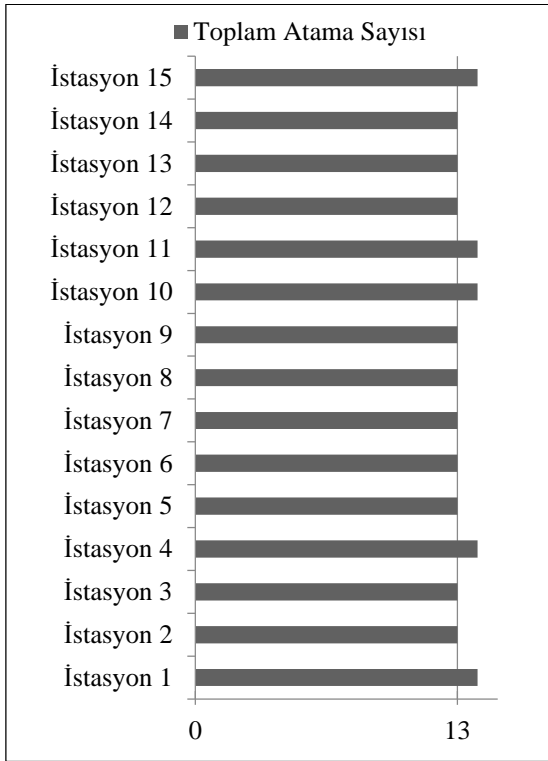
Modelde uygulanmak üzere alınan verilere göre 198 uçuş ve uçuşların atanabileceği 15 sıralama istasyonu bulunmaktadır. Kabul edilen tampon süre (R), hesaplanan standart sapma değerine göre alt ve üst değerleri alınarak modele girilip programda çalıştırılmıştır.

R=24 (dk) Değeri İçin Program Çıktıları:

R=24 tampon süresi için ilk hesaplanan değer bir standart sapma üst değeridir. Program bu değer için (R=24) optimal çözümü 456 iterasyonda, 198

bularak tüm uçuşları sıralama istasyonlarına atamıştır. Çakışma ihtimali olan uçuşlar aynı istasyona atanmadığından atanan uçuşların dağılımı mantıklıdır. R=24 değeri için program tarafından yapılan atama sonuçları R=20 değeri için üretilen atama sonuçlarından farklıdır. Yani bu değerden sonra yapılan atamalar değişmiştir. Modelin kısıtlarından olan adil atama kısıtının sağlandığı görülmektedir. Bu kısıta göre istasyonlara dağıtılan uçuşların dağılımı Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere istasyon 1, 4, 10, 11 ve 15’e 14 tane uçuş atanmıştır. Geri kalan istasyonlara 13’er uçuş atanmıştır.

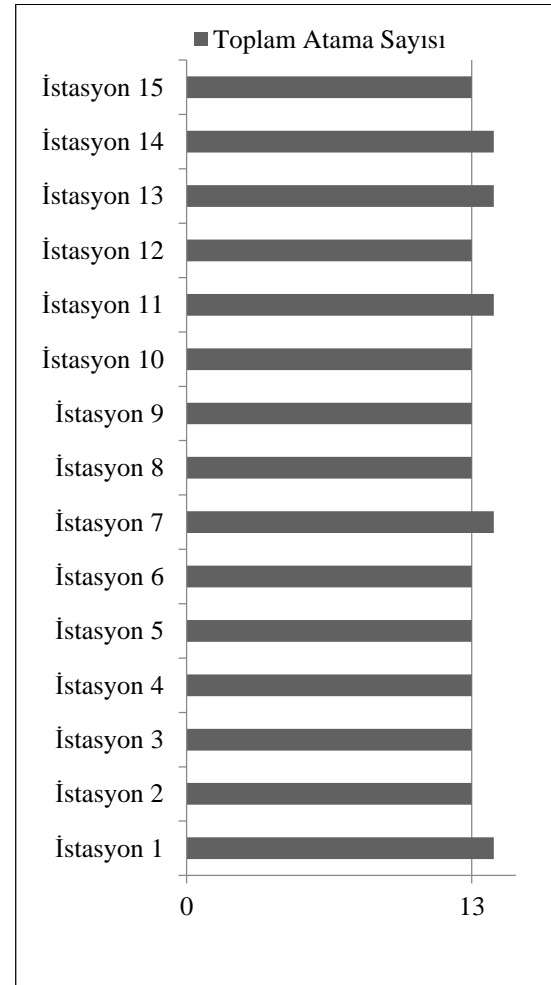
için optimal çözüme 483 iterasyonda ulaşmıştır. 198 uçuş ataması yaparak tüm uçuşları sıralama istasyonlarına atanıp, hiçbir uçuş açıkta kalmamıştır. Çakışma ihtimali olan uçuşlar aynı istasyona atanmadığından, atanan uçuşların dağılımı mantıklıdır. Atamalar incelendiğinde, modelin kısıtlarından olan adil atama kısıtının sağlandığı görülmektedir. Bu değerlere göre istasyonlara dağıtılan uçuşların dağılımı Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere istasyon 1, 7, 11, 13 ve 14’e 14 tane uçuş atanmıştır. Geri kalan istasyonlara 13’er uçuş atanmıştır.



Şekil 3. R=24 değeri için yapılan atamaların istasyonlara dağılımları

R=20, R=19, R=18, R=17 (dk) Değerleri İçin Program Çıktıları:

R=20 tampon süresi için ilk hesaplanan değerdir. R=19, R=18 ve R=17 değerleri ise tampon süre için ilk hesaplanan değerlerin standart sapmasına kadar olan alt değerleridir. Program bu değerler

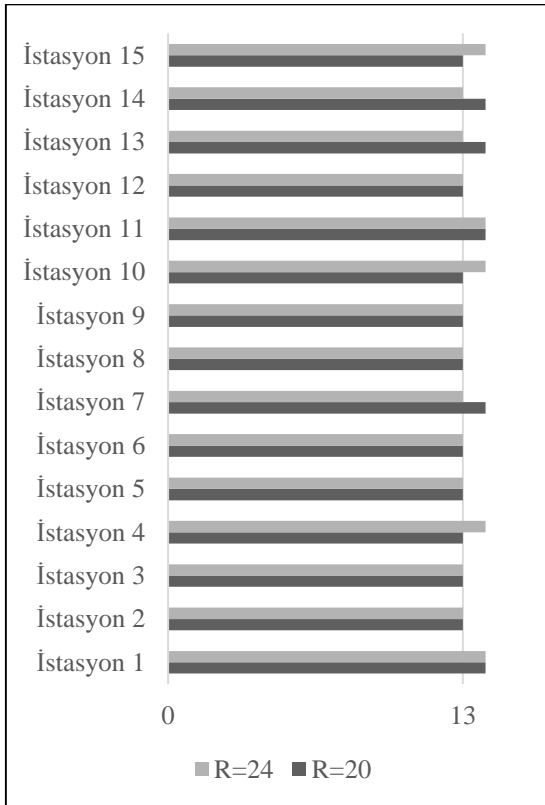


Şekil 4. R=20, R=19, R=18, R=17 değerleri için yapılan atamaların istasyonlara dağılımları

R=16 (dk) Değeri İçin Program Çıktıları:

R=16 tampon süre için ilk hesaplanan değerin bir standart sapma kadar alt değeridir. Program bu değer için (R=16) optimal çözüm bulamamaktadır. Çakışan uçuşları atamak için gerekli olan tampon süre bu değer ve altında yetersiz kaldığından dolayı program mantıklı atama sonucu verememektedir.

Farklı sonuçlar veren R=20 ve R=24 değerlerinin atama dağılımlarının karşılaştırılması Şekil 5'te daha iyi şekilde görülmektedir.



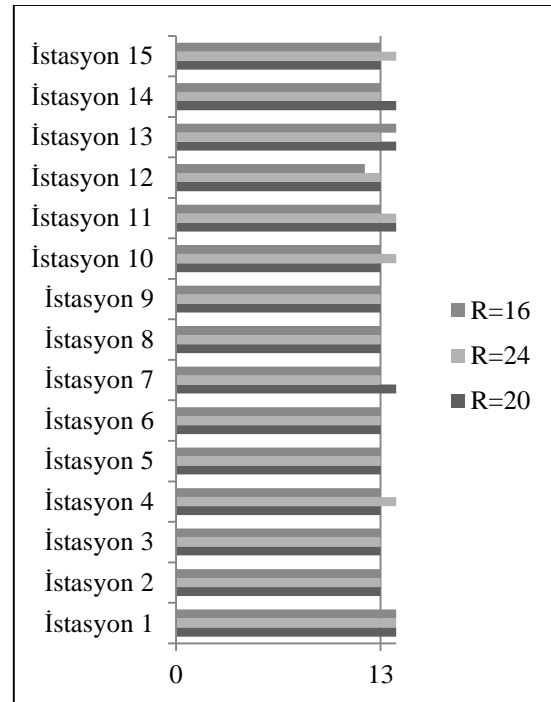
Şekil 5. R=20 ve R=24 değerleri için toplam atama sayısı karşılaştırması

Şekil 5'te görüldüğü üzere İstasyon 4, 7, 10, 13, 14 ve 15'e atamalarda farklı sayılarda uçuş atanmıştır. Örneğin istasyon 4'e R=20 için yapılan atamada 13 uçuş atanırken, R=24 için yapılan atamada 14 uçuş atanmıştır. Geri kalan istasyonlara iki atama sonuçlarında da aynı sayıda uçuş atanmıştır.

5. SONUÇ

Yapılan analizler sonucu değişen R (tampon süre) değerleri için bir istasyonun aynı zaman aralığında iki işi yapıp yapamayacağına bakılmış ve farklı dağılımların olduğu tespit edilmiştir. Tüm uçuşların atandığı çözüm önerilerinin optimal çözüme en yakın değerler olacağı saptanmıştır. Bununla birlikte atanan uçuşları transfer araçlarıyla uçağa yerleştirmenin ekstra maliyet oluşturacak olmasıdır.

Şekil 6'da 3 farklı tampon süre için çalıştırılan modelin atama dağılımları gösterilmiştir. Üç farklı tampon süre için yapılan atama sonuçlarında R=16 için istasyon 12'ye 12 uçuş atanmışken, diğer tampon sürelerde 13'er uçuş atandığı gözlenmektedir. R=16 tampon süresinde tüm uçuşlar istasyonlara atanamamıştır. R=16 için istasyonlara atama sayılarının Şekil 6'da optimal çözüm sağlayan R=20 ve R=24 tampon sürelerine göre atama sayılarının altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 6. R=16, R=20 ve R=24 değerleri için toplam atama sayısı karşılaştırılması

Bu çalışmada incelenen problem üzerine tampon süreyle ilgili analizler yapıp, önerilerde bulunulmuştur. Ortaya konulan çözüm yaklaşımı gerçek verilerle problem üzerinde test edilmiştir. Model test edilmek için optimizasyon programında açık şekilde kodlanmış, veriler dışardan girilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, bagaj atama probleminde yapılan daha önceki çalışmalar üzerine tampon sürede değişikliğe gidilip, ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışmadaki modelde, iç hatlar terminaline giden yolcu bagajları transfer yolcular göz ardı edilerek sıralama istasyonlarına atanmıştır. İleride yapılabilecek çalışmalarda transfer yolcularda dahil edilerek bir model kurulabilir ve model çözümlenebilir.

Ayrıca modelde bagaj sıralama istasyonlarının birbiriyle mesafesi eşit olduğu için minimum mesafe amacı kullanım dışı kalmıştır. Bu durum amaca uygun veriler seçilerek farklılaştırılabilir.

Son olarak bir günlük çalıştırılan bu model daha uzun süreli çalıştırılarak havaalanının karakteristik özellikleri ortaya çıkarılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Asco, A., 2019. An Evolutionary Algorithm and Operators for the Airport Baggage Sorting Station Problem, *Soft Computing*, 23, 10055–10083.
2. Huang, E., Liu, I., Lin, J.T., 2018. Robust Model for the Assignment of Outgoing Flights on Airport Baggage Unloading Areas, *Transportation Research Part E*, 110–125.
3. Asco, A., Atkin, J.A.D., Burke, E.K., 2012. An Evolutionary Algorithm For the Over-constrained Airport Baggage Sorting Station Assignment Problem, 9th International Conference on Simulated Evolution and Learning, Hanoi, Vietnam.
4. Asco, A., Atkin, J.A.D., Burke, E.K., 2011. The Airport Baggage Sorting Station Allocation Problem. 5th Multidisciplinary International Conference, Phoenix, USA.
5. Asco, A., Atkin, J.A.D., Burke, E.K., 2014. An Analysis of Constructive Algorithms for the Airport Baggage Sorting Station Assignment Problem, *Journal of Scheduling*, 17, 601-619.
6. Rijsenbrij, J.C., Ottjes, J.A., 2007. New Developments in Airport Baggage Handling Systems, *Transportation Planning and Technology*, 30(4), 417-430.
7. Abdelghany, A., Abdelghany, K., Narasimhan, R., 2006. Scheduling Baggage-handling Facilities in Congested Airports. *Journal of Air Transport Management*, 12(2), 76-81.
8. Alsyouf, I., Humaid, F., Al Kamali, S., 2014. Mishandled Baggage Problem: Causes and Improvement Suggestions, *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Bandar Sunway, Malaysia.
9. Shih, P.H., 2015. Airport Baggage Handling System Unloading area Allocation, Master Thesis, *Industrial Engineering and Engineering Management*, National Tsing Hua University in Hsinchu.
10. Huang, E., Mital, P., Goetschalckx, M., Wu, K., 2016. Optimal Assignment of Airport Baggage Unloading Areas to Outgoing Flights, *Transport. Res. E-Log*, 94, 110–122.
11. Frey, M., Kolisch, R., Artigues, C., 2017. Column Generation for Outbound Baggage Handling at Airports, *Transp. Sci.* 51(4), 1226–1241.
12. Bolat, A., 1999. Assigning Arriving Flights at an Airport to the Available Gates, *Journal of the Operational Research Society*, 50, 23–34.
13. Ding, H, Rodrigues Z.Y., 2005. The Over-constrained Airport Gate Assignment Problem, *Computers and Operations Research*, 32(7), 1867-1880.
14. Yüksel, F.Ş., 2016. Büyük Ölçekli Havaalanlarında Bagaj Sıralama İstasyonu Atama Problemi ve Uygulaması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 76.

Akış Kontrolü Uygulanan Açık Bir Kavitede Akış Karakteristikleri ve Isı Geçişinin Sayısal Olarak İncelenmesi

İrem DALGIÇ*¹, Nehir TOKGÖZ¹, Coşkun ÖZALP¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 06.05.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Kavite akışı, geometrik olarak basit bir yapıya sahip olmasına rağmen farklı akış özelliklerini içerisinde bulunduran bir akış tipidir. Bu akış yapısındaki değişimler, kavite içerisinde ısı transferinin iyileştirilmesini sağlayabilmektedir. Sunulan bu çalışmada, iki boyutlu, açık kavite içerisinde 7 farklı konuma (C1, C2, C3, C4, C7, C9 ve C11 silindir konumları) yerleştirilen silindirin akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Silindir çapı 0,025 m, kavitenin uzunluk ve derinlik oranı (D/L) 2 ve silindir çapı ile tanımlanan Reynolds sayısı 10000 olarak belirlenmiştir. Isı transfer analizi için kavite duvarlarına sabit ısı akısı ($\dot{q}=10000 \text{ W/m}^2$) uygulanmıştır. Sayısal analizlerde akışkan olarak su seçilip, çözümlemeler sonlu hacimler yöntemini ile yapılmıştır. Akış yapısı ve ısı transfer sonuçları kavite içerisinde silindirin bulunmadığı durum ile mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlar silindirin kullanılmadığı boş kavite akışına kıyasla kavite içerisinde farklı konumlara yerleştirilen dairesel bir silindir kullanılmasının akış yapısını değiştirdiğini ve Nusselt sayısında artış meydana getirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Akış kontrolü, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Kavite akışı, Sabit silindir

Numerical Investigation of Flow Characteristics and Heat Transfer in an Open Cavity with Flow Control

Abstract

The cavity flow, despite its geometrically simple structure, contains various fluid flow properties. The flow structure change inside the cavity provides to enhance the heat transfer. In this study, the flow structure of 7 different cylinders located in different positions (C1, C2, C3, C4, C7, C9 and C11 cylinder locations) in an open cavity and its heat transfer effects are investigated in two dimensional. The diameter of the cylinder is 0.025 m, the ratio of the depth and the length is $D/L=2$ and the Reynolds number is 10000 based on the cylinder diameter. For the heat transfer analysis, a constant heat flux is applied to the cavity walls ($\dot{q}=10000 \text{ W/m}^2$). Water is the chosen liquid, and finite volume method is used for the numerical analysis. Flow structure and heat transfer results are compared with the cavity which has no embedded cylinders inside. The obtained results reveal that using a circular cylinder located in different locations inside the cavity changes the flow structure and increases the Nusselt number compared to the empty cavity case.

Keywords: Flow control, CFD, Cavity flow, Constant cylinder

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İrem DALGIÇ, irem.dlgc@outlook.com

1. GİRİŞ

Kavite akışları katı yüzeylerdeki boşluklar üzerinden geçen akışı aerodinamik ve aeroakustik olarak inceleyen, akışkanlar mekaniğinin temel konularından biridir. Günümüzde gerek askeri gerekse de endüstriyel uygulamalarda kavite yapılarına rastlamak mümkündür. Bunlara örnek olarak elektronik soğutma, solar kolektörler, uçak iniş takımları ve savaş uçaklarının füze yuvaları gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında verilebilir. Bugüne kadar yapılan pek çok çalışmada kavite akışının doğası, Reynolds sayısına, akışın sınır tabaka özelliklerine (Laminar veya türbülanslı sınır tabaka) ve kavite geometrisine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

Kavitenin geometrik özellikleri olan uzunluk (L), derinlik (D) ve genişlik (W) olarak ifade edilen karakteristik boyutların oranları (L/D ve L/W) kavite geometrisinin sınıflandırılmasındaki temel parametrelerdir. Genel olarak kavite uzunluk ve derinlik oranlarına göre (L/D) “Açık” ve “Kapalı” kavite türlerinde sınıflandırılmaktadır [1]. Kayma tabakasının kavite ön ve arka duvarları arasında oluşturduğu akış yapısı sınıflandırmanın yapılmasında önemli bir rol oynamıştır Charwat ve arkadaşları [2]. Kavitenin geometrik özelliklerine bağlı olarak oluşan bir diğer parametre iki boyutlu ve üç boyutlu kavite akışlarıdır. İki boyutlu kavite akışında, akış üniform ve tüm kavite genişliği boyunca tutarlı bir kayma tabakası oluşturmaktadır. Ancak üç boyutlu kavite akışlarında kavite genişliği azaldıkça kavite duvarlarının ve köşelerinin giderek baskın hale gelmesi sonucunda kayma tabakası tutarlılığını koruyamamaktadır. Bu yüzden $L/W < 1$ olduğunda akışın kavite genişliğinin büyük bir kısmında iki boyutlu görüldüğü, $L/W > 1$ olduğunda ise, akışın gittikçe daha fazla üç boyutlu hale geldiği belirlenmiştir Ahuja ve Mendoza [3]. Akışın kavite içerisinde gösterdiği kararsız yapı ile beraberinde oluşan salınımlar kavite akışının sınıflandırılması haricinde yoğun periyodik salınımlara, kayma tabakası kararsızlıklarına ve ısı transfer çalışmaları açısından oldukça dikkat çekici sonuçlar ortaya koymaktadır.

Kanal içerisine yerleştirdikleri değişken uzunluk ve derinlik oranına sahip kavitede meydana gelen ısı

transferini Haugen ve Dhanak [4] deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Kavite duvarına ayrı ayrı sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı uygulamış ve her iki durum için sonuçları kıyaslamışlardır. Sıcaklık gradyanlarının kayma tabakası bölgeleri. Kavite duvarına uygulanan sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı için elde edilen sonuçlar arasında pek bir fark olmadığını ortaya koymuşlardır. Benzer bir çalışma olarak Yamamoto ve arkadaşları [5] sabit ısı akısı ile alt duvarı ısıtılmış olan kavite uzunluğu sabit tutulurken değişen uzunluk ve derinlik oranlarının ısı transferleri üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çok sığ kavite uzunluğunun üst yüzeyindeki akışın alt yüzeylerdeki akışa yeniden bağlanmasının derin kavitelere nispeten ısı transferini daha fazla etkilediğini gözlemlenmiştir. Pereira ve Sousa [6] tek bir uzunluk ve derinlik oranı için sığ ve açık bir kavite ele almışlardır. Çalışmalarının sonucunda kavite üzerinde belirlenen farklı konumlardaki ortalama hız değerleri ile deneysel verilerden elde edilen hız değerlerinin birbirleriyle uyum içerisinde olduğu sonucuna varmışlardır. Güneş kolektörlerinin etrafına yerleştirilen dik rüzgâr bariyerlerinin konveksiyon etkisi üzerinden yola çıkarak kolektör ile bariyer arasında oluşan kaviteyi, geniş uzunluk ve derinlik oranına sahip sığ kavite olarak inceleyen Zdanski ve arkadaşları [7], akış dinamiği ile konveksiyona etki eden parametreleri belirlemişlerdir. Konveksiyona etkisi açısından baktıklarında dış akışın kavite içerisinde oluşturduğu girdapların konveksiyonu inhibe ettiğini ve bu durumun laminar akışta ve türbülanslı akışın düşük Reynolds sayılarında meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Ashcroft ve Zhang [8] açık kavitenin kayma tabakasındaki türbülanslı akış yapılarının zaman ortalamasına ve anlık gelişimi üzerinde akış hızının ve geometri yapısının etkilerini araştırmışlardır. Kavitenin zaman ortalamalı akış yapısında kayma tabakasının, geometri şekline ve hızdan etkilenmediği sonucuna varmışlardır. Santrifüj fan ile hava akışının sağlandığı bir rüzgâr tüneli içerisine yerleştirdikleri açık kavite üzerinden geçen akışı inceleyen Faure ve arkadaşları [9] kavite yüksekliği sabit kalacak şekilde kavite uzunluğunu kademeli olarak değiştirerek akışı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) ile görüntülemişlerdir. Türbülanslı kavite akışları ile kendi kendine devam

eden salınımlardan sorumlu büyük ölçekli girdap yapılarının nicel özelliklerini Sung ve Kang [10] PIV ve Uygun Ortogonal Ayırıştırma analizi (POD) kullanarak araştırmışlardır. Aynı Reynolds sayısı için kavitenin uzunluk ve derinlik oranındaki artışın kavite ön duvarına yakın konumda ikincil bir girdap yapısı oluşturduğunu belirlemişlerdir. Özalp ve arkadaşları [11] uzunluk ve derinlik oranı sabit üçgen, dikdörtgen ve yarı dairesel kavitelere geçen akışı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Artan Reynolds sayılarında girdap merkezlerinin dikdörtgen kavitede kavite merkezine doğru, üçgen ve yarı dairesel kavitelere sağa doğru genişleyerek ilerleme meydana getirdiğini göstermişlerdir. Kavitenin kapak bölümünde maksimum Reynolds gerilmeleri ve türbülans şiddeti değerlerini gözlemlemiş olup, dikdörtgen ve üçgen kavite yarı dairesel kavite şekline göre çok daha büyük türbülansa neden olduğu sonuca varmışlardır. Özsoy ve Aslan [12] kavite içerisinde oluşan çevrinti (girdap) yapılarının akış ayrılmasından itibaren kavite uzunluğu boyunca artarak, kavite arka duvarında yüksek seviyelere ulaştığını gözlemlemişlerdir. Dikdörtgen bir kavitenin sığ ve derin olduğu durumları sayısal simülasyon kullanarak girdap yapılarını inceleyen Wahba [13] çalışmasında, üst duvarı hareketli olan sığ ve derin kavite için değişen uzunluk ve derinlik oranlarının ve Reynolds sayılarının akış yapısına etkisini incelemiştir. Sığ kavitede Reynolds sayısı arttıkça simetrik girdap yapısının kaybolduğunu, kavitenin sol alt köşesindeki köşe girdabının, asimetrik olarak büyüyen ikincil bir girdap yapısı oluşturduğu sonucuna varmıştır. DanXun ve arkadaşları [14] açık bir kaviteden geçen akışın Reynolds sayısı ile arasındaki ilişkinin sayısal olarak incelemişlerdir. Düşük Reynolds sayısında kavite içerisinde saat yönünde dönen birincil girdap ve saat yönünün tersine dönen ikincil girdap yapısı gözlemlemişlerdir. Artan Reynolds sayısı ile birincil girdap yapısı genişleyerek yukarı akışa taşınırken, ikincil girdap yapısının yukarı akış bölgesine doğru daha yerel hale geldiğini ve belirli bir Reynolds sayısı değerinden sonra girdap yapılarında değişikliğin ihmal edilebilir olduğunu belirlemişlerdir. Birincil girdap yapısı ile Reynolds geriliminin benzer korelasyonlar gösterdiğini ve yüksek seviyelerde Reynolds gerilmesinin arka

duvarın önünde yoğun momentum değişimi meydana getirdiği sonucuna varmışlardır. Selimefendigil ve Öztöp [15] nanoakışkan ile dolu olan kapalı kare kavite içerisine yerleştirdikleri bir silindirin akış ve ısı transferi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Richardson sayısı, Hartmann sayısı, silindirin dönme hızı ve nanopartikülün hacim konsantrasyonunun ısı transfer üzerindeki etkisini incelemiştir. Richardson sayısının ve konsantrasyonunun artmasının ısı transferinde artış meydana getirdiğini fakat Hartmann sayısının artışının ısı transferini olumsuz etkileyerek azalmasına sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Silindirin sabit kaldığı duruma kıyasla saat yönünün tersine dönmelerinin oluşturduğu kayma tabakası kararsızlıklarından dolayı ısı transferinde artış sağladığını belirlemişlerdir. Madi [16] sığ bir kavite üzerindeki sınır tabaka akışının Reynolds sayısı ve türbülans yoğunluğundaki değişimin ve duvar jeti akışındaki nozul yüksekliğinin ısı transferine etkisini sayısal olarak incelenmiştir. Akış, sınır tabaka akışı için gözlemlendiğinde yeniden bağlanma uzunluğunun ve sıcak akışkan tabaka kalınlığının Reynolds sayısındaki artıştan çok türbülans yoğunluğundaki artıştan etkilendiği sonucuna varmışlardır. Reynolds sayısı ve türbülans yoğunluğu hızından Nusselt sayısındaki artışı değerlendirdiğinde durumun tam tersi olduğunu Reynolds sayısındaki artışın sonuçlara daha fazla etki ettiğini belirlemiştir. Maksimum ısı transferinin, yeniden bağlanma bölgesinin önünde, ana devridaim bölgesinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Kavite derinliğinin nozul yüksekliğine oranının artmasıyla birlikte Nusselt sayısının arttığını ve ısı transferinin kavite zemininde artış gösterdiği sonucuna varmıştır.

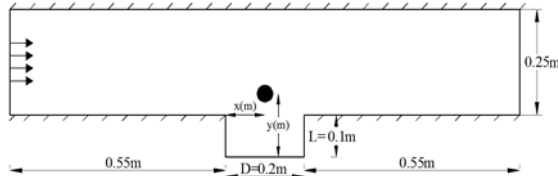
Literatürde açık kavite akışlarının, akış yapısı ve ısı transfer analizleri üzerine sayısal ve deneysel pek çok çalışma bulunmaktadır. Fakat açık kavitenin mevcut akış yapısını değiştiren ve bu değişimin ısı transfer üzerindeki etkisini inceleyen sayısal çalışmalara pek rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı açık bir kavite içerisinde 7 farklı konuma yerleştirilen silindirin akış yapısında meydana getirdiği değişimlerin, ısı transfer üzerinde yapmış olduğu etkiyi incelemektir. Sonuçların doğrulanmasından sonra silindirin kavite içerisinde farklı konumlarda olmasının akış yapısına ve ısı

transferine etkilerinin sayısal çalışması gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Modelin Tanımlanması

Çalışmada incelenen kavite geometrisi ANSYS Desing Moduler programında iki boyutlu olarak tasarlanmıştır. Çalışma boyunca sabit kavite ölçüleri içerisinde 7 farklı konuma silindir yerleştirilerek ve silindirin bulunmadığı boş kavite akışı olarak tanımlanan durum için sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi kavitenin uzunluğu (D) 0,2 m, derinliği (L) 0,1 m ve silindirin çapı 0,025 m’dir. Kanal girişi ile kavite ön duvarı arasındaki ve kanal çıkışı ile kavite arka duvarı arasındaki mesafeler 0,55 m uzunluğundadır. Kanalın üst duvarı ile kavite tabanı arasındaki mesafe 0,25 m olarak belirlenmiştir. Kavite geometrisi x eksenini doğrultusunda 0,55 m, y eksenini doğrultusunda 0,1 m uzaklıkta tanımlanmıştır ve kavite içerisindeki sıcaklık, hız, akım çizgisi ve girdap dağılımları x eksenini doğrultusunda 0,55 m ile 0,75 m, y eksenini doğrultusunda -0,1 m ile +0,05 m aralıklarında incelenmiştir.



Şekil 1. Kavitenin şematik gösterimi ve model ölçüleri

Silindir, kavite içerisine merkezi olarak yerleştirilmiştir ve bulunduğu konumlar, silindir merkezinin kavite duvarlarına olan mesafesine göre C1, C2, C3, C4, C7, C9 ve C11 konumları şeklinde adlandırılmıştır. Çizelge 1’de bu konumlara ait silindir merkezinin bulunduğu koordinatlar (x (m), y (m)) verilmiştir. C1, C2 ve C3 konumlarında silindir, kavite ön ve arka duvarlarına eşit uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Silindir merkezi C1 konumundan C3 konumuna kadar yatay doğrultuda $x(m)=0,65$ m’de dikey doğrultuda ise 0,05 m aralıklarla kavite tabanına doğru yerleştirilmiştir. C4 ve C7 konumları kavite ön duvarına 0,05 m mesafe

olacak şekilde y eksenini doğrultusunda 0,05 m aralıklarla konumlandırılmışlardır. C9 ve C11 konumları kavite arka duvarına 0,025 m ve 0,05 m uzaklık olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Çizelge 1. Yerleştirilen silindirin koordinatları

Konumlar	x (m)	y (m)
C1 Konumu	0,65	0,05
C2 Konumu	0,65	0
C3 Konumu	0,65	-0,05
C4 Konumu	0,6	-0,05
C7 Konumu	0,6	0
C9 Konumu	0,7	-0,05
C11 Konumu	0,725	0

2.2. Modelin Sınır Şartları

- Akışkanın hesaplama bölgesine girişine “hız girişi” ve çıkışına “basınç çıkışı” sınır şartları tanımlanmıştır. Girişte hız girişte üniform 0,4 m/s, çıkışta ise basınç atmosfer basıncı 1 atm olarak belirlenmiştir. Silindirin açık bir kanal içerisine yerleştirilerek incelendiğini göstermek amacıyla kanalın üst duvarı akışkan hızı ve yönü ile aynı olacak şekilde hız girişi sınır şartı olarak tanımlanmıştır.
- Kavite yüzeyleri “sabit duvar (çeper)” sınır şartı ile tanımlanmışlardır. Kavite yüzeylerindeki duvar sınır şartlarına termal sınır koşulu olarak 10000 W/m^2 sabit ısı akısı uygulanmıştır.
- Silindir yüzeyine hiçbir termal sınır şartı tanımlanmamıştır.

2.3. Sayısal Metot ve Denge Denklemleri

Akış ve sıcaklık alanlarına ait zamana bağlı denklemlerin sayısal çözümlemesi ANSYS-Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada süreklilik denklemlerinin akış ve sıcaklık alanlarını oluşturulan sonsuz küçük kontrol hacimlerine kısmi diferansiyel denklemler şeklinde uygulanmasını sağlayan sonlu hacimler metodu kullanılmıştır. Navier Stokes Denklemleri, zamana bağlı, iki boyutlu, türbülanslı bir akış için sayısal olarak çözümlenmiştir. Momentum ve enerji denklemlerini ayrıştırmada ikinci mertebeden ileri gidişli şema (second order upwind scheme), basınç-hız bağıntısı için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Yakınsama

kriteri enerji için 10^{-8} , diğer tüm bağımlı değişkenler için ise 10^{-6} olarak uygulanmıştır. Kavite içerisindeki silindirin akış üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için Courant sayısı 5 alınarak en uygun zaman adımı 0,06 saniye olarak belirlenmiştir ve hesaplanan zaman adımı akış içerisindeki değişimlerin gözlemlenmesi için yeterli olmuştur. Çözümlemesi yapılan süreklilik denklemi Eşitlik 1, momentum denklemi Eşitlik 2 ve enerji denklemi Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (2)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğu, u_i , x_i yönündeki ortalama hız bileşeni, p basınç, μ dinamik viskozite ve u' hızın çalkantı bileşenini temsil etmektedir. i ve j indisleri de her bir boyutu ($i=x, y, z$ ve $j=x, y, z$) göstermektedir (Eşitlik 3).

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

Burada μ_t turbülans viskozitesidir. Reynolds-ortalama yaklaşım modeli (RANS) akış analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelde turbülans stresi $-\rho \overline{u_i' u_j'}$ 'nin de modellenmesi gerekir. Boussinesq hipotezi ile Eşitlik 4'deki gibi modellenebilir.

$$-\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (4)$$

Burada k turbülans kinetik enerjisidir ve $k = \frac{1}{2} \overline{u_i' u_i'}$ ile tarif edilir. Çalışmada küçük girdap yapılarını doğrudan çözümlemek yerine, bu yapıları modelleyen ve daha az eleman sayısına sahip ağ yapısı ile çalışma imkânı sağlayan Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) Denklemleri ve standart k - ϵ turbülans modeli tercih edilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (5)$$

Eşitlik 5'de Reynold Ortalamalı Navier Stokes Denkleminin kartezyen tensör formu verilmiştir. $(-\rho \overline{u_i' u_j'})$ ifadesi modellenecek olan Reynolds gerilim tensörü olarak adlandırılmaktadır. Denklemdaki " δ_{ij} " ifadesine Kronecker deltası adı verilmektedir Doğan [17].

$$\frac{\partial (\overline{\rho k})}{\partial t} + \frac{\partial (\overline{\rho u_j k})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} - \overline{\rho \epsilon} \quad (6)$$

$$\frac{\partial (\overline{\rho \epsilon})}{\partial t} + \frac{\partial (\overline{\rho u_j \epsilon})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} - C_{\epsilon 2} \overline{\rho} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (7)$$

Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de verilen " σ_k " turbülans Prandtl sayısını ve " σ_ϵ " model sabitini ifade etmektedir. Standart k - ϵ modelinde, turbülans Eddy viskozitesi, C_{μ} , $C_{\epsilon 1}$ ve $C_{\epsilon 2}$ model katsayıları Eşitlik 8, Eşitlik 9 ve Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$\mu_k = \overline{\rho} C_{\mu} \frac{k^2}{\epsilon} \quad (8)$$

$$C_{\mu} = \left(\frac{u_*^2}{k} \right)^2 \quad (9)$$

$$C_{\epsilon 1} = C_{\epsilon 2} \frac{k}{\sqrt{C_{\mu}} \sigma_\epsilon} \quad (10)$$

$$Re = \frac{\rho x V_x D_h}{\mu} \quad (11)$$

Reynolds sayısını veren bağıntı Eşitlik 11'de gösterilmiştir Çengel ve arkadaşları [18]. Çalışmada Reynolds sayısı boş kavite akışı için kavite derinliği ($D_h=L$) ile silindir konumları için ise silindir çapına ($D_h=d$) göre tanımlanmıştır [18].

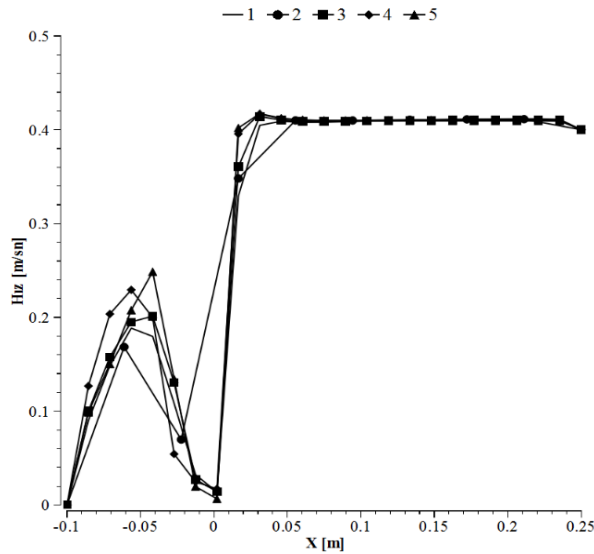
$$Nu_x = \frac{h_x S}{k} \quad (12)$$

Eşitlik 12'de yerel Nu sayısını veren bağıntı gösterilmiştir. " h_x ", yerel ısı transfer katsayısı, " k " ısı iletkenlik katsayısı ve " S " karakteristik uzunluktur. Çalışmada Nu sayısı " Nu " hidrolik çapa ($D_h=S$) göre hesaplanmıştır Çengel ve arkadaşları [18].

2.4. Ağdan Bağımsızlık

Sayısal çalışmaların en önemli ayağını ağ yapısı oluşturmaktadır. Sonuçların ağ yapısına göre çok fazla değiştiği bilinen bir gerçektir. Bundan dolayı sonuçların ağ yapısından bağımsızlığını göstermek için beş farklı ağ yapısında çözümler yapılmıştır. Ağ yapılarının sahip olduğu eleman sayıları sırasıyla 1545(1.),2571 (2.),3672 (3.), 14104 (4.) ve 32205(5.)'tir. Belirlenen eleman sayıları kullanılarak oluşturulan ağ yapılarına göre

$x=0,64m$ deki hız dağılımları Şekil 2'de gösterilmiştir. 1. ve 3. ağ yapıları arasında eleman sayısı artıka profilde çok büyük olmasa da değişiklikler meydana gelmiştir. 4. ve 5. ağ yapıları arasındaki farkın diğer eleman sayılarına göre oldukça az olduğu görülmektedir. Bu iki ağ yapısı arasındaki farkın az olmasından dolayı kavite için sayısal analizlerin nispeten daha az eleman sayısına (14104) sahip 4. ağ yapısı ile yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2. Hız dağılımlarının ağ yapılarına göre karşılaştırılması

Kavite ve silindir etrafına yapısal olmayan (unstructured) ağ uygulanmıştır. İyi bir çözüm elde etmek için türbülansın büyük bir kısmının ve diğer akış alanlarına nispeten yüksek hız ve basınç gradyanlarının oluşmasının beklendiği silindir etrafında daha sık ağ yapısı tercih edilmiştir.

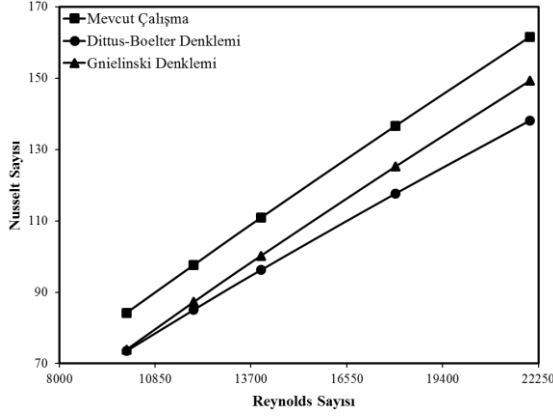
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kavite duvarlara sabit ısı akısı ($q=10000 \text{ W/m}^2$) uygulanan açık kavite akışının mevcut çalışmada, 7 farklı konuma ($0,55 \leq x(m) \leq 0,75m$, $-0,1m \leq y(m) \leq 0,1m$) yerleştirilmiş adyabatik bir silindirin akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal simülasyon uzunluk-derinlik oranı (D/L) 2 olan bir kavitede ve silindir çapı ile tanımlanan Reynolds

sayısı 10000 için gerçekleştirilmiştir. Kavitede silindirin farklı konumlarda olduğu durumlar, aynı Reynolds sayısı için kavitede silindirin olmadığı "Boş kavite" akışı olarak ifade edilen sonuç ile mukayese edilmiştir.

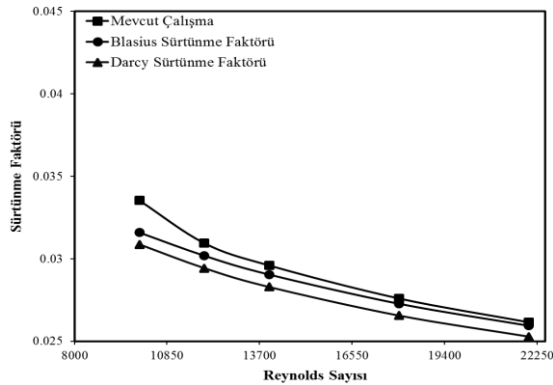
3.1. Sonuçların Doğrulanması

Literatürde yaygın olarak kullanılan ve kabul edilen denklemlerden yararlanılarak çalışmanın güvenilirliği iki boyutlu, silindirsiz paralel iki plaka arasındaki sıkıştırılmaz, türbülanslı bir akış ile doğrulanmıştır. Kullanılan sayısal çözümleme kodunun doğruluğu Nusselt Sayısı için Dittus-Boelter ve Gnielinski eşitliğiyle Sürtünme Faktörü için ise Darcy-Weisbarch ve Blasius Denklemleri ile mukayese edilmiştir Çengel ve arkadaşları. [18].



Şekil 3. Nusselt sayısının doğrulanması

Şekil 3'te görüldüğü gibi hesaplanan Nusselt sayısı ile Gnielinski ve Dittus-Boelter denklemleriyle elde edilen Nusselt sayıları arasında oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile denklemlere göre hesaplanan sonuçlara arasında en az fark %7 ile Gnielinski denklemiyle, en büyük fark ise %14 ile Dittus-Boelter denklemiyle $Re=22000$ 'de elde edilmiştir. Nusselt Sayısı bağıntılarında sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasındaki farklılık %5-20 aralığında olabileceği göz önünde bulundurulduğunda mevcut çalışmanın doğruluğunun oldukça güvenilir olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Sürtünme faktörünün doğrulanması

Ayrıca sürtünme faktörlerinin karşılaştırılması ile de çözümün doğruluğu pekiştirilmiştir. Hesaplanan sürtünme faktörünün Blasius ve Darcy sürtünme faktörleri ile kıyaslanması Şekil 4'de verilmiştir. Minimum sapmanın Blasius Sürtünme Faktöründe

%0,8 ile Reynolds Sayısı 22000 için, maksimum sapmanın ise %8 ile Reynolds Sayısı 10000 için Darcy Sürtünme Faktöründe olduğu belirlenmiştir. Sonuç itibarıyla mevcut çalışmada kullanılan sayısal çözümleme kodunun literatürde kabul görülen denklemler ile uyum içerisinde olması çalışmaya olan güvenilirliği sağlamıştır

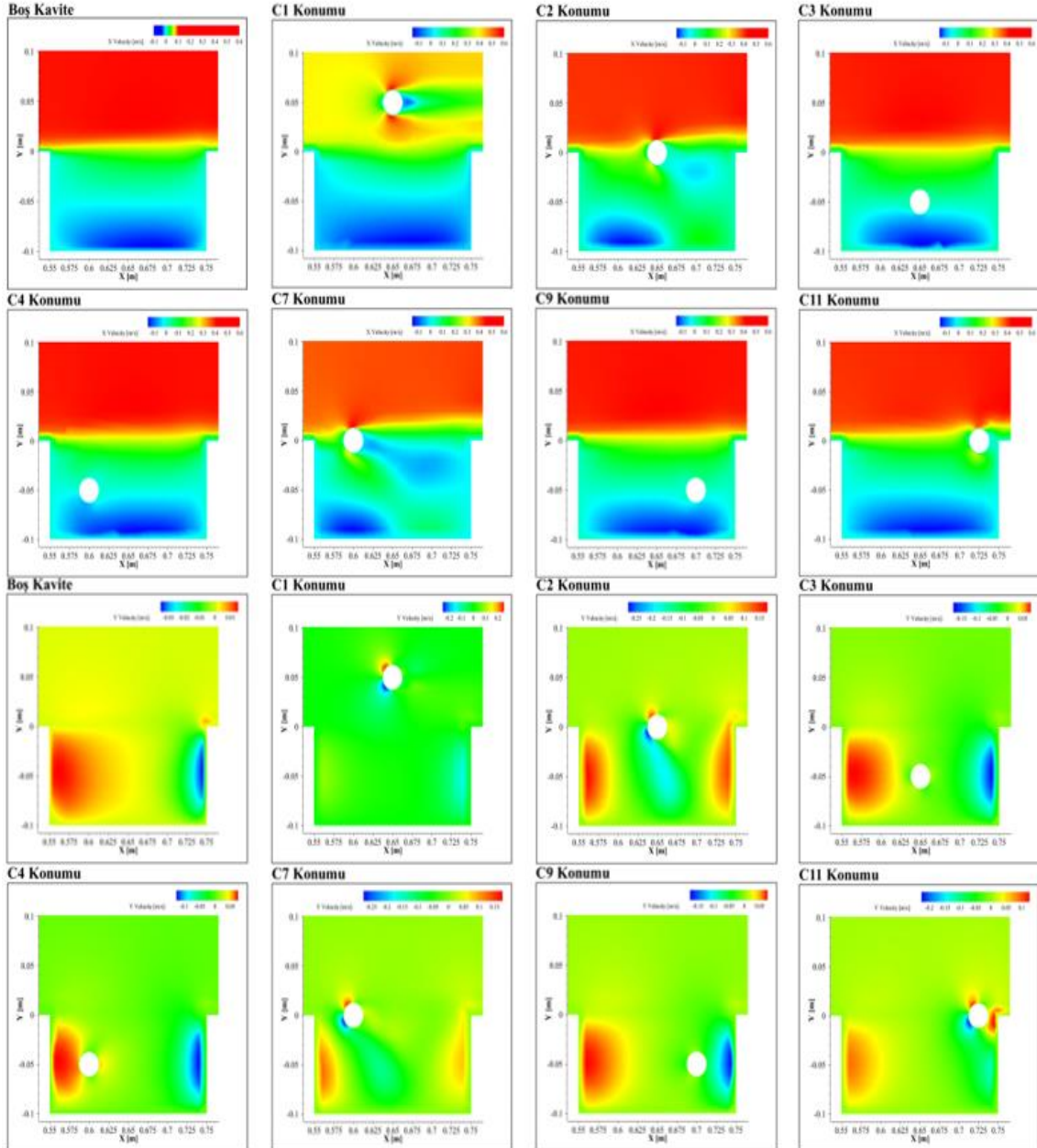
3.2. Silindir Konumlarının Akış Yapısı Üzerine Etkisi

3.2.1. Ortalama x ve y Hızı Dağılımları

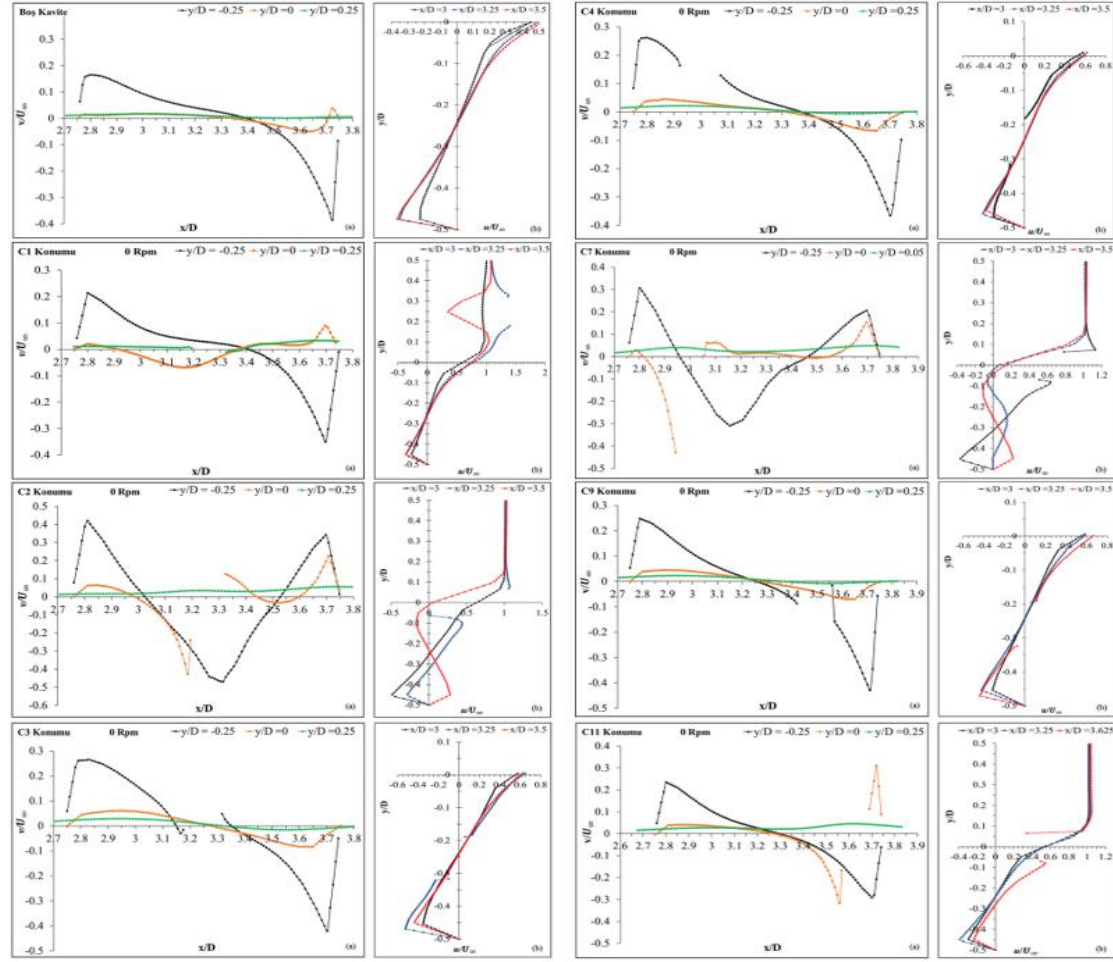
Silindir konumlarının akış alanı içerisindeki ortalama x-hız ve y-hızı dağılımları Şekil 5'te verilmiştir ve şekillerin hangi konuma ait olduğu üzerlerinde belirtilmiştir. C1, C2 ve C3 konumlarında, gelen akış silindirin bulunduğu konumlar itibarı ile enerjisini artırmış ve daha yüksek hızlarda kavite içerisine giriş yapmıştır. C1 konumunda akış yönü doğrultusunda silindirin alt ve üst yüzeylerinden geçen akış maksimum hızı ulaşmıştır ve özellikle kavite içerisine doğru yönelen hız artışı boş kavite akışına göre kavite tabanına doğru güçlü ters akış yapısı oluşturmuştur. C2 konumunda kayma tabakası kavite ön duvarından ayrıldıktan hemen sonra silindire etkileşime girdiği noktadan itibaren kavite tabanına doğru ilerlemiştir. Biri kavite ön duvarına diğeri kavite arka duvarına doğru olacak şekilde iki farklı ters akış meydana getirmiştir. Silindirin bulunduğu konum kayma tabakasında üretmiş olduğu kararsızlıklar haricinde kavite içerisindeki akışın uzaklaşmasında da etkili olmuştur. Kavite tabanına yakın ve kavite orta düzleminde yer alan C3 konumunda, gelen akış kavite ön duvarından ayrıldıktan hemen sonra silindirin üst yüzeyine yönelerek, kavite tabanına paralel kayma tabakası meydana getirmiştir. Kayma tabakasının, kavite arka duvarı ile etkileşimi sonucunda kavite tabanına yakın ters akış oluşturmuştur. Kavite ön ve arka duvarlarına yakın konumlarda bulunan C4 ve C9 konumları, boş kavite akışına göre kayma tabakasının hızını arttırmış ve akışın kavite arka duvarından kavite tabanına doğru silindiri de içerisine alan daha güçlü bir ters akış yapısı oluşmasını sağlamışlardır. C7 konumu kayma tabakasının silindirin ön yüzeyine temas ettikten sonra kavite tabanına yönelmesi sonucunda C2

konumunda olduğu gibi kavite içerisinde iki farklı ters akış meydana getirmiştir. C11 konumundaki akış yapısına bakıldığında, silindirin alt yüzeyinden geçen kayma tabakası boş kavite durumuna nispeten kavite uzunluğu boyunca daha güçlü ters

akış yapısı oluşturmuştur. Silindir konumlarına ve boş kaviteye ait boyutsuz ortalama yatay (v/U_∞) ve dikey (u/U_∞) hız profilleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Değişen silindir konumlarına göre kavite içindeki x ve y hızı dağılımları



a) Akışa dik doğrultudaki boyutsuz hız profili b) Akış doğrultusundaki boyutsuz hız profili
Şekil 6. Değişen silindirik konumlarına göre boyutsuz hız profilleri

u/U_{∞} ve v/U_{∞} hız profillerini gösteren grafik eğrilerindeki kopmalar, hız bileşenlerinin silindirin üzerinde tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Akışa dik doğrultudaki ve akış doğrultusundaki hız bileşenlerinin oluşturduğu pozitif ve negatif tepe değerleri kavite içerisindeki girdap yapılarını ve oluşan ters akışı göstermektedir. Boş kavite, C1, C4, C9 ve C11 konumlarında $y/D=-0,25$ 'teki hız profillerinin $x/D=3,7$ ile $x/D=3,8$ aralıklarında hızdaki negatif tepe değerleri Şekil 6'da gösterilen kavite arka duvarı ile etkileşen kayma tabakasının oluşturduğu saat yönündeki girdap yapılarıdır. Boş kavite akışındaki bu tepe değerinin C1 konumu için $x/D=3,6$ 'ya doğru gerilediği belirlenmiştir. Bu

durum girdap boyutundaki azalmadan kaynaklanmaktadır. $x/D=3,5$ 'teki hız profilinin kavite tabanına yakın konumlarda oluşturduğu ters akışın C1 konumu için daha yüksek hız büyüklüklerinde olduğu görülmektedir.

Dalgaların en fazla olduğu C2 ve C7 konumlarında $x/D=3$ 'teki hız profilinde negatif yöndeki hız artışı kavite ön duvarına ve kavite tabanına yakın konumda oluşan birinci ters akış, $x/D=3,5$ 'teki hız profilinin kavite tabanına doğru pozitif yönde değişimi silindirin alt yüzeyinde kayma tabakasına ait ikinci ters akışın varlığını göstermektedir. $y/D=-0,25$ 'teki negatif ve pozitif

tepe değerinden, bahsedilen ters akışların saat yönünde birincil girdap ve saat yönünün tersi yönündeki ikincil girdap yapıları oldukları belirlenmiştir. Benzer salınım kayma tabakası doğrultusundaki hız bileşenlerinde de rastlanmıştır ve $y/D=0$ 'daki hız bileşeninin negatif yöndeki eğimi silindirin arka yüzeyinde bulunan ve saat yönünde dönen üçüncü girdap akışını temsil etmektedir. İki konumun akış yapıları her ne kadar benzer özellikte olsa da kavite tabanına yakın konumlarda oluşturdukları hız büyüklükleri açısından C2 konumu daha güçlü ters akış yapıları meydana getirmiştir. C3 konumunda, $y/D=-0,25$ 'teki hız profiline ait eğri parçaları üzerinde iki negatif tepe noktasının olması silindirin ön ve arka yüzeylerinde aynı yönde dönen iki girdap akışının olduğunu göstermektedir. C4 ve C9 konumlarında silindiri de içerisine alan ana girdap yapılarının hız büyüklüklerine bağlı oluşturduğu ters akış yapıları her iki konum için fark edilir sonuçlar ortaya koymuştur. Bu yüzden C4 ve C9 konumlarının akış doğrultusundaki hız büyüklükleri karşılaştırıldığında, C9 konumunun kavite ön duvarına doğru daha büyük negatif hızlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kavite arka duvarına yakın ve kayma tabakası doğrultusundaki C11 konumunda ana girdabın oluşturduğu tepe değeri haricinde $y/D=0$ konumundaki hız bileşeni için iki ayrı tepe değeri daha belirlenmiştir. Bu tepe noktaları silindir etrafındaki kayma tabakasının kavite içerisine yönelen ve silindirin alt yüzeyinden ayrılan akışın hız büyüklükleri göstermektedir.

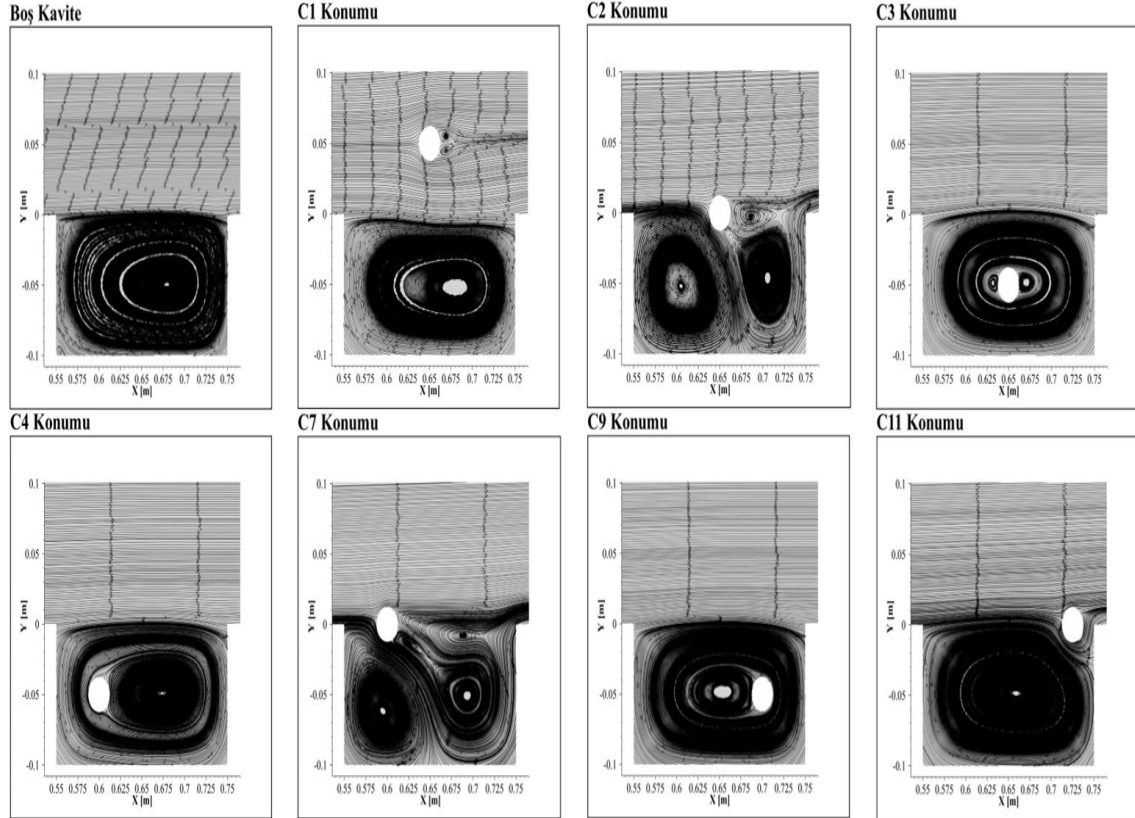
3.2.2. Akış Alanındaki Akım Çizgileri

Değişen silindir konumlarına göre çizilen akım çizgileri Şekil 7'de gösterilmiştir. Boş kavite durumunda kavite ön duvarından ayrılan kayma tabakası, kavite arka duvarı ile etkileşime girerek ana girdap yapısının şekillenmesini sağlamıştır. Ana girdap ile kavite ön duvarının en alt noktasında ters yönde dönen köşe girdabı oluşumu beklenirken, akış enerjisinin çoğunu içinde barındıran ana girdap, tüm kavite uzunluğunu kapladığından ikinci bir girdap gelişimine izin vermemiştir. C1 konumunda kaviteye gelen akış ilk olarak silindirin ön yüzeyiyle temas ederek, Reynolds sayısı 5 ile 40 aralığında oluşan Durgun Föppl Girdap yapısına benzeyen silindir etrafında akış oluşturmuştur

Lienhard [19]. Silindirin alt yüzeyindeki hız artışı kavite içerisine doğru bir dereceye kadar salınım oluşturan kayma tabakasının, kavite arka duvarına yakın saat yönü doğrultusunda dönen ana girdap yapısının oluşmasını sağlamıştır. Ana girdap, boş kavitedeki girdap yapısına benzer yönde dönen girdap akışı olmasına rağmen boyut olarak daha küçük bir yapıya sahiptir. C2 konumunda kayma tabakasındaki kararsızlığın artması, kavite tabanına yakın iki ana girdap ve silindirin arka yüzeyinde üçüncü bir girdap yapısını oluşturmuştur. Ana girdapların ilki kavite ön duvarına yakın konumda ve saat yönü ile aynı doğrultuda, ikincisi ise kavite arka duvarına yakın ve saat yönünün tersi yönde dönen girdap yapılarıdır. Üçüncü girdap yapısı ikinci ana girdaptan meydana gelmiştir ve birinci ana girdap ile aynı yönde dönmektedir. İkinci ve üçüncü girdap yapılarının kavite içerisinden uzaklaşmak isteyen akışın hareketini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. C3 konumu, C2 konumu kadar kayma tabakasında salınım oluşturmada da kavite içerisindeki ters akışı güçlendirecek iki ana girdap yapısı oluşturmuştur. Saat yönünde dönen bu girdapların, kavite arka duvarı ile etkileşime geçen kayma tabakasının oluşturduğu ters akışın girdap çekirdeğine yakın silindirin ön ve arka yüzeylerindeki akış ayrılmasından meydana gelmiştir. C4 konumunda boş kaviteye benzer şekilde silindiri içerisine alan ve saat yönünde dönen ana girdap yapısının olduğu gözlemlenmiştir. Silindir etrafındaki akışın bir kısmı ön duvara yakın konumda kavite içerisinden uzaklaşırken diğer bir kısmı silindirin arka yüzeyindeki girdap çekirdeğinin oluşmasını sağlamıştır. C7 konumu silindirin alt yüzeyinden geçen kayma tabakasının kavite tabanına yakın iki ana girdap ve ikinci girdap yapısından oluşan silindirin arka yüzeyinde üçüncü ve dördüncü girdap yapılarını oluşturmuştur. Birincil girdap kavite ön duvarına yakın ve saat yönünde, ikinci girdap ise kavite arka duvarına yakın ve saat yönünün tersi yönde dönmektedir. Üçüncü girdap olarak bahsedilen silindirin arka yüzeyinde oluşan girdap yapısı, ikinci girdap ile aynı yöndedir. Silindirin üst yüzeyinden geçen kayma tabakası ile ikinci girdap yapısının etkileşimi sonucunda oluşan dördüncü girdap yapısı saat yönünde dönmektedir. C9 ve C4 konumları benzer akış yapıları oluşturmalarına rağmen C9 konumunda silindirin

arka yüzeyinde oluşan girdap çekirdeğinin küçüldüğü ve girdap boyutunun arttığı belirlenmiştir. Kavite arka duvarına yakın olan C11 konumu tüm kaviteyi kaplayan ve saat yönünde dönen ana girdap ile kaviteden uzaklaşmak isteyen

akışın hızını arttırmıştır. Silindirin kavite orta düzleminde ve kayma tabakası doğrultusunda olmasının boş kavitedeki akış yapısını değiştirerek girdap sayısında belirgin bir artışın oluştuğu saptanmıştır.

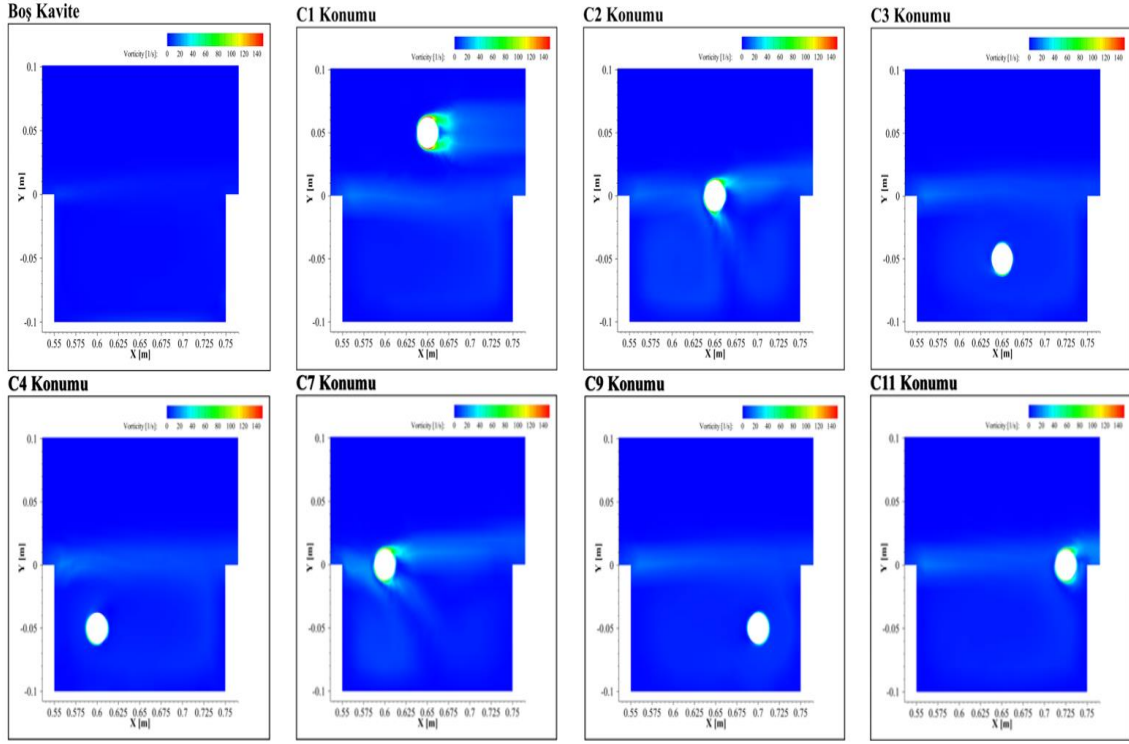


Şekil 7. Değişen silindir konumlarına göre kavite içindeki akım çizgileri

3.2.3. Akış Alanındaki Girdap Dağılımları

Farklı silindir konumlarının kavite içerisinde oluşturdukları girdap dağılımları Şekil 8'de gösterilmiştir. Kavite orta düzleminde farklı konumlara yerleştirilen silindirin meydana getirdiği girdaplar özellikle C1 ve C2 konumlarında oldukça belirgindir. C1 ve C2 konumlarındaki girdaplar, gelen akışın silindir etrafında akış alanı oluşturduğu bölgelerde ve bunun haricinde C2 konumunda kavite içerisindeki kayma tabakası kararsızlıklarının artışına bağlı oluşan girdap yapılarında gözlemlenmiştir.

Benzer akış yapısına sahip C7 konumunun Şekil 7'deki akım çizgilerine bakıldığında kavitedeki girdap yapılarının varlığı aynı şekilde girdap dağılımları için elde edilmemiştir. Bunun nedeni ise silindirin etrafında oluşan akışın kavite içerisindeki akıştan daha türbülanslı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. C3, C4, C9 ve C11 konumlarında girdap üretimi silindir etrafındaki akış için türbülanslı iken kavite içerisinde yeterli hareketlilik sağlanamamıştır. Kavite içerisindeki durgun akışta yeteri kadar hareketliliğin sağlanamadığı boş kavite akışına nispeten kavite içerisindeki silindirin, akışta belirgin girdap dağılımları oluşturduğu görülmektedir.

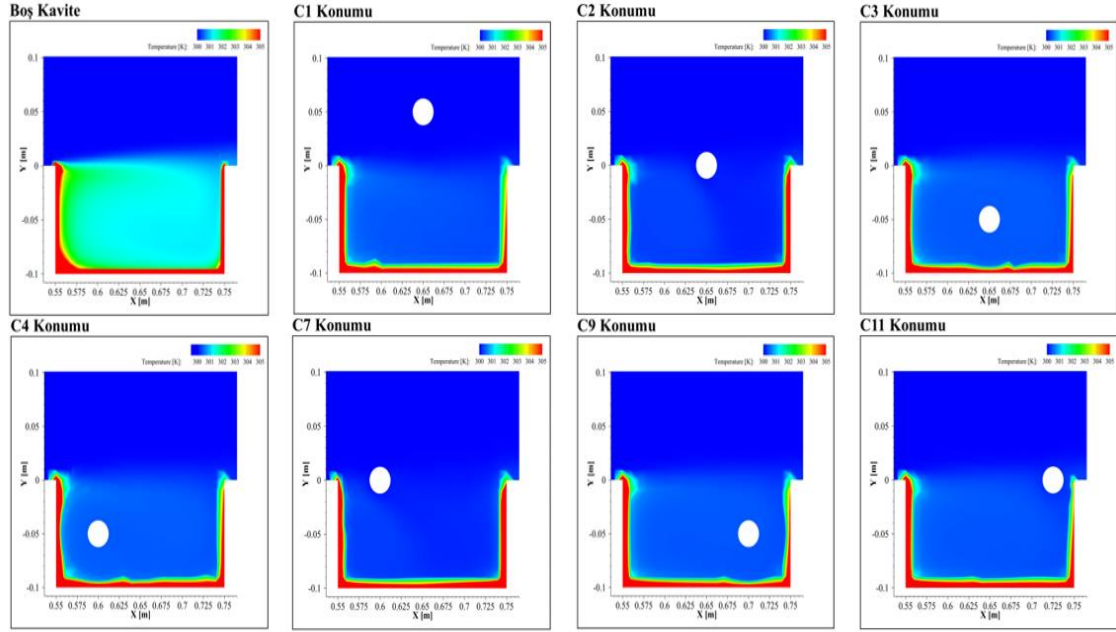


Şekil 8. Değişen silindir konumlarına göre kavite içindeki girdap dağılımları

3.3. Silindir Konumlarının Isı Transferi Üzerindeki Etkisi

Kavite duvarlarına sabit ısı akısı ($\dot{q}=10000 \text{ W/m}^2$) uygulanmış açık kavite içerisine yerleştirilen silindirin ısı transferi üzerindeki etkisi sıcaklık dağılımlarının (Şekil 9) ve Nusselt sayısının (Şekil 10) değişimi ile gösterilmiştir. C1 konumunda kavite ön duvarından ayrılarak silindirin alt yüzeyinden geçen akışın yüksek hızlarda kavite tabanına yeniden bağlanması ve ana girdap yapısının boyutundaki azalma ısı transferini boş kaviteye nispeten iyileştirmiştir. Her iki durumun sıcaklık dağılımları incelendiğinde, bu etki C1 konumunda kavite içerisindeki sıcaklık farkının azalmasından açıkça görülmektedir. Silindirin alt ve arka yüzeyinde oluşan ikinci ve üçüncü girdaplar (Şekil 7) C2 konumunda, ısınan akışın kavite içerisinden uzaklaştırılmasında etkili olmuştur. Bu yüzden kavite arka duvarına yakın konumlarda fark edilir derecede sıcaklık dağılımlarında azalmalar mevcuttur. C3 konumunda silindirin ön ve arka

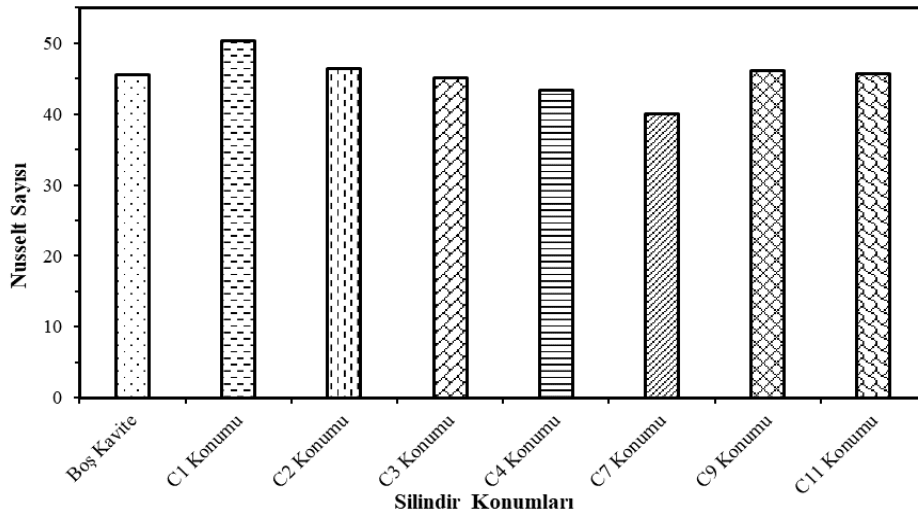
yüzeylerindeki aynı yönde dönen girdap akışları, kavite ön duvarı ile etkileşime geçen akışın bir kısmını kaviteden uzaklaştırmış, bir kısmını ise tekrar kavite içerisine almıştır. Bu durum ısınan akışın tekrar kavite içerisinde hapsolmesinden dolayı C1 ve C2 konumlarına göre kavite içerisindeki sıcaklık farkı artmıştır. C4 ve C9 konumlarında kayma tabakasının silindiri de içerisine alarak oluşturduğu girdapların ve girdap çekirdeklerinin boyutları her iki konum için farklı sonuçlar sağlamıştır. C9 konumunun girdap boyutunun artırması ve silindirin ön yüzeyindeki girdap çekirdeğinin küçük boyutta oluşması C4 konumuna göre kavite içerisindeki sıcaklık farkını azaltmıştır. Bu durum kavite alt duvarına yeniden bağlanan ve ısıtılmış kavite duvarlarıyla etkileşen akışın kaviteden uzaklaşmasını kolaylaştırarak ısı transferini olumlu yönde etkilemiştir. C4 konumunun küçük boyutta girdap yapısına ve büyük bir girdap çekirdeğine sahip olması boş kavite akışından daha düşük ısı transfer sonuçları ortaya çıkarmıştır.



Şekil 9. Değişen silindir konumlarına göre kavite içindeki sıcaklık dağılımları

C7 konumunda, ikinci girdap yapısına ilaveten silindirin arka yüzeyindeki üçüncü bir girdabın varlığı, kavite arka duvarına yakın konumlarda yüzey sıcaklığını artırmıştır. Bu girdap yapısının ısınan akışı tekrar kavite akışına eklemesi kavite içerisindeki sıcaklık farkını artırırken beraberinde ısı transfer kalitesini düşürmüştür. C11 konumu

tüm kavite yüzeyi boyunca tek bir girdap akışı oluşturmasına rağmen silindirin alt yüzeyinden geçen akışın yüksek hızlarda yeniden bağlanması, kaviteden akışın daha kolay uzaklaştırılmasını sağlamıştır. Tüm kavite yüzeyi boyunca tek bir girdap akışının oluşması boş kavite akışına nispeten ısı transferini iyileştirmiştir.



Şekil 10. Boş kavite ve silindir konumlarına göre Nusselt sayısının değişimleri

Boş kavitenin ve silindir konumlarına göre Nusselt sayısının değişim grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Boş kavitede ayrılan akışın ısıtılmış kavite alt yüzeyine tekrar bağlanmasıyla oluşan ana girdap yapısının, ısınan akışın büyük bir kısmını kaviteden uzaklaştıracak enerjide olmaması kavite içerisindeki sıcaklık farkını artırmıştır. Silindir konumları, bu noktada oluşturduğu girdap akışları ile yüzey sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının azaltılmasına yönelik etkiler sağlamışlardır. Yüksek enerjili girdap yapılarının oluştuğu ve kavitede yüzey sıcaklığını azaltmasının sağlandığı C1, C2, C9 ve C11 silindir konumları boş kavite akışına göre ısı geçişini iyileştirmiştir. Benzer akış yapılarının gözlemlendiği C4 ile C9 ve C2 ile C7 konumlarında kavite içerisindeki girdap oluşumlarına göre ısı geçişi açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun, ısıtılmış kavite yüzeylerindeki ısı transfer özelliklerinin, ayrılmış akışın yeniden bağlanması, girdap yapısından büyük ölçüde etkilendiğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bir adyabatik dairesel silindirin iki boyutlu açık kavite içerisinde 7 farklı konuma (C1, C2, C3, C4, C7, C9 ve C11 silindir konumları) yerleştirilmesinin akış yapısı ve ısı transfer üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Açık kavitenin uzunluk/derinlik oranı 2'dir ve silindir çapı ile tanımlanan Reynolds sayısı 10000 olarak belirlenmiştir. İki boyutlu, zamana bağlı sıkıştırılmaz akış için sonlu hacimler yöntemine dayalı çözümler kullanılmıştır. Bu çalışmanın ana sonuçları şu şekilde özetlenebilir;

- Boş kavite akışındaki tüm kavite yüzeyini kaplayan zayıf girdap akışının yerine ısıtılmış yüzeylere temas eden yüksek hızlarda girdap akışının oluşması ısı geçişini artırmıştır. C1, C9 ve C11 konumları kavite uzunluğu boyunca oluşturdukları yüksek hızlardaki girdap yapıları ile ısı transferinde iyileştirme sağlamışlardır.
- Kayma tabakasında oluşan salınımların artışı kavite içerisindeki girdap yapılarının artmasında etkili olmuştur. C2 konumunda kavite arka duvarına yakın ve silindirin arka

yüzeyindeki girdap akışları ısınan akışın uzaklaştırılmasını sağlayarak kavite içerisindeki sıcaklık farkını azaltmıştır. C7 konumunda ise C2 konumdan farklı olarak silindirin alt yüzeyinde ilaveten üçüncü girdap akışının oluşması ısı geçişi için olumsuz bir şekilde etkilemiştir.

- C4 ve C9 konumları benzer akış yapıları oluşturmalarına rağmen C4 konumunda düşük ısı transfer sonucu elde edilmiştir. Bu durum silindirin arka yüzeyinde oluşan resirkülasyon bölgesinin boyutundaki artıştan kaynaklanmıştır. Bu resirkülasyon bölgesi ısınan akışı tekrar kavite içerisinde dolaştırarak ısı geçiş kalitesinin düşmesine sebep olmuştur. Aynı şekilde C3 konumu da silindirin ön ve arka yüzeylerinde iki resirkülasyon bölgesi oluşturmuştur ve benzer sonuç bu konum içinde gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Güleren, M.K., Çelik, B., Demir, O., 2018. Transonik Akışlarda Girdap Üreteçlerinin Kavite Gürültüsüne Etkisi, VII Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 117, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Samsun-Türkiye, 12-14 Eylül.
2. Charwat, A., Roos, R., Dewey, F., Hitz, Jr, J., 1961. An Investigation of Separated Flows-part I: The Pressure Field, Journal of the Aerospace Sciences, 28: 457-470.
3. Ahuja, K., Mendoza, J., 1995. Effects of Cavity Dimensions, Boundary Layer, and Temperature on Cavity Noise with Emphasis on Benchmark Data to Validate Computational Aeroacoustic Codes, NASA Contract Report, 4653.
4. Haugen, R., Dhanak, A., 1967. Heat Transfer in Turbulent Boundary-Layer Separation Over a Surface Cavity, J. Heat Transfer 89, 335-340.
5. Yamamoto, H., Seki, N., Fukusako, S., 1979. Forced Convection Heat Transfer on Heated Bottom Surface of a Cavity, J. Heat Transfer, 101, 475-479.
6. Pereira, J., Sousa, J., 1995. Experimental and Numerical Investigation of Flow Oscillations in a Rectangular Cavity, Journal of Fluids Engineering, 117, 68-73

7. Zdanski, P., Ortega, M., Fico, N.G., Jr, 2003. Numerical Study of the Flow Over Shallow Cavities, *Computers and fluids*, 32, 953-974.
8. Ashcroft, G., Zhang, X., 2005. Vortical Structures Over Rectangular Cavities at Low Speed, *Physics of Fluids*, 17, 015104.
9. Faure, T.M., Adrianos, P., Lusseyran, F., Pastur, L., 2007. Visualizations of the Flow Inside an Open Cavity at Medium Range Reynolds Numbers, *Experiments in Fluids*, 42, 169-184.
10. Kang, W., Sung, H.J., 2009. Large-Scale Structures of Turbulent Flows Over an Open Cavity, *Journal of fluids and structures*, 25, 1318-1333.
11. Ozalp, C., Pinarbasi, A., Sahin, B., 2010. Experimental Measurement of Flow Past Cavities of Different Shapes, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 505-515.
12. Özsoy, E., Aslan, A.R., 2011. Üç Boyutlu Bir Kavite Üzerindeki Sıkıştırılmaz Akışın Sayısal Bir Yöntemle Analizi, *İTÜ Dergisi Mühendislik*, 10(3), 149-159.
13. Wahba, E., 2014. On the Steady Flow in a Rectangular Cavity at Large Reynolds Numbers: A Numerical and Analytical Study, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 44, 69-81.
14. Chen, H., Zhong, Q., Wang, X., Li, D., 2014. Reynolds Number Dependence of Flow Past a Shallow Open Cavity, *Science China Technological Sciences*. 57, 2161-2171.
15. Selimefendigil, F., Öztıp, H.F., 2014. Numerical Study of MHD Mixed Convection in a Nanofluid Filled Lid Driven Square Enclosure With a Rotating Cylinder, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78, 741-754.
16. Madi, A.F., 2016. Heat Transfer Prediction in a Shallow Cavity Effect of Incoming Flow Characteristics, *Thermal Science*, 20, 1519-1532.
17. Doğan, F.B., 2014. Eş Merkezli Dönen İki Silindir Arasında Oluşan Taylor ve Von Karman Vortekslerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile İncelenmesi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 126.
18. Çengel, Y., Cimbala, J., 2012. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları (2. Basım), İzmir: İzmir Güven Kitabevi.
19. Lienhard, J.H., 1966. Synopsis of Lift, Drag, and Vortex Frequency Data for Rigid Circular Cylinders, Technical Extension Service, Washington State University Pullman, WA.

TBDY 2018 Yönetmeliğinde Verilen Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Taşıyıcı Sistemler için Maliyet ve Deprem Performansı Bakımından Bir Karşılaştırma

İsmail ÜNSAL¹, Mehmet Fatih ŞAHAN*¹

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman

Geliş tarihi: 06.04.2021 Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Bu çalışmada, “Deprem Etkilerinin Tamamının Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Çerçevelerle Karşılandığı Taşıyıcı Sistemler” ile “Deprem Etkilerinin Tamamının Süneklik Düzeyi Yüksek Boşluksuz Betonarme Perdelerle Karşılandığı Taşıyıcı Sistemler” maliyet ve deprem performansları bakımından karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bu amaçla 18 katlı konut tipi bir bina esas alınmış ve her iki taşıyıcı sistemi karşılaştırmak üzere STA4CAD yazılımında iki farklı model hazırlanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY 2018) esas alınarak yapılan analizlerden her iki modelle elde edilen maliyetler karşılaştırılmıştır. Çok Modlu İtme Yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen eleman hasar durumları üzerinden yapılan değerlendirmede perdeli modelin deprem performansının çerçeveli modelin performansından daha iyi olduğu gözlenmiştir. Kaba yapı maliyeti esas alınarak yapılan karşılaştırmada, deprem etkilerinin tamamının betonarme perdelerle karşılandığı taşıyıcı sistem modelinin, deprem etkilerinin tamamının betonarme çerçeveler ile karşılandığı taşıyıcı sistem modeline kıyasla daha ekonomik olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, Taşıyıcı sistemler, Deprem, TBDY 2018

A Comparison in Terms of Cost and Earthquake Performance for Reinforced Concrete Structural Systems of High Ductility Level Given in TBEC 2018

Abstract

In this study, the structural systems in which seismic loads are fully resisted by frames and the structural systems in which seismic loads are fully resisted by solid structural walls are comparatively examined in terms of cost and earthquake performance. For this purpose, an 18-storey residential building was taken as basis and two different models were prepared in the STA4CAD software to compare both structural systems. In accordance with the Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC 2018), the costs obtained for both models were compared. Analyzes were made using the Repulsion Analysis with Incremental Mode Combination Method and it was observed that the earthquake performance of the curtain model was better than the performance of the framed model in the evaluation made on the element damage. In the comparison made on the basis of cost, it has been observed that the structural system model, in which seismic loads are fully resisted by solid structural walls, is more economical than the structural system model in which seismic loads are fully resisted by frames.

Keywords: Structural system behavior factor, Structural systems, Earthquake, TBEC 2018

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Fatih ŞAHAN, fatihshahan@gmail.com

1. GİRİŞ

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi [1] tarafından paylaşılan bilgilere göre tüm dünyada meydana gelen depremlerin sayısı büyüklüklerine göre, 7-7,9 arası büyüklük için yıllık ortalama 18, 6-6,9 arası büyüklük için yıllık ortalama 120, 5-5,9 aralığı için 800, 4-4,9 aralığı için tahmini 6.200 ve 3-3,9 aralığı için ise tahmini 49.000 olarak verilmektedir. Ülkemizde ve dünyada son zamanlarda sıkça yaşanan bu depremler önemli oranda can ve mal kayıplarına neden olmakta ve depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili çalışmaları oldukça önemli kılmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde:

Aydınoğlu [2] tarafından yapılan çalışmada belirtildiği üzere depreme dayanıklı yapıların tasarlanması uygulamaları 1900'lü yılların başlarında ortaya çıkmıştır. 20. Yüzyıl başlarında 1908 yılında İtalya Messina'da ve 1923 yılında Japonya Kanto'da meydana gelen ve büyük can kaybına neden olan bu iki depremden sonra binalara etkiyen deprem kuvvetlerinin bina ağırlığının yaklaşık %10'u seviyelerinde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu sonuçlarla birlikte deprem katsayısının takriben 0,10 gibi bir değere eşit olabileceği kabul edilmiştir. Bu deprem katsayısı değeri 1927'den sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde Uniform Building Code (UBC) ile aynen kabul görmüştür. Daha sonraki zamanlarda Davranış Spektrumu konseptini (davranış görüngesi anlayışı) esas alan ve yapının doğal titreşim periyodunun deprem kuvvetini etkilediği görüşü ortaya çıkmış ve deprem yönetmeliklerinde yer almıştır. Zaman içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda, depremler sırasında gözlemlenen yapısal davranış biçimleri esas alınmış ve taşıyıcı sistemlerin özelliklerine göre yapı tipleri tanımlanmış, Yapı Tipleri 4 ana gruba ayrılmış ve bu tiplere göre yapı tipi katsayısı ilk olarak 1958 UBC'de [3] yer almıştır. Ülkemizde ise yapı tipi katsayısı ilk kez Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik [4] 1975 yılında UBC'ye benzer biçimde tanımlanmıştır [2].

2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliği (DBYYHY 2007) [5] ile 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) [6], taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere hesaplanacak elastik deprem yükleri, büyük oranda Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)'ye ve sistemin Doğal Titreşim Periyodu (T)'ye bağlı olarak belirlenen Deprem Yükü Azaltma Katsayısına bölünerek azaltılmaktadır. Bu durum dikkate alındığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), depreme dayanıklı yapı tasarımı için deprem etkilerinin tanımlanmasında oldukça önemli bir parametre haline gelmiştir. TBDY 2018'de yerinde dökme betonarme binalar için, taşıyıcı sistem davranış katsayısı 3 ile 8 arasında değişen 13 farklı taşıyıcı sistem önerilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek, sınırlı ve karma olarak sınıflandırılan taşıyıcı sistem tiplerinde R davranış katsayısı, deprem etkilerinin betonarme çerçevelerle veya boşluklu/bosluksuz betonarme perdelerle karşılanmasına bağlı olarak belirlenmektedir. Ayrıca bina yükseklik sınıfı tanımlaması yapılarak her taşıyıcı sistemin uygulanabileceği bir yükseklik sınırlaması da getirilmiştir. Literatürde gerek DBYYHY-2007 kapsamında gerekse TBDY-2018 kapsamında betonarme perdeli, betonarme çerçevesiz veya betonarme perdeli - çerçevesiz taşıyıcı sistemlerin davranışlarını inceleyen çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Ünsal ve arkadaşları [7], bina yüksekliğinin, toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) ve maksimum tepe deplasmanı üzerindeki etkisini, DBYYHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmelikleri kapsamında karşılaştırılmalı olarak incelemişlerdir. Bu amaçla ele aldıkları betonarme perdeli-çerçevesiz taşıyıcı sisteme sahip olan bir bina örneğini, Etabs bilgisayar programında, başta 30 kat olarak modellemiş ve yapılan her analiz sonrası 1 adet ara kat eksiltiyle 5 ile 30 katlar arasındaki 26 adet model için analizleri tekrarlamışlardır. Analizler sonucunda, DBYYHY-2007 yönetmeliği esas alınarak elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin, yapı yüksekliği arttıkça yaklaşık olarak sabit değerde kaldığını,

TBDY-2018 yönetmeliği esas alınarak elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin ise yapı yüksekliği arttıkça doğrusal olarak azaldığını gözlemlemiştir.

Kasap ve arkadaşları [8], çalışmalarında yük etkisindeki betonarme perdeli sistemlerle perdeli-çerçeve sistemlerde elemanlardaki yük dağılımını irdelemiş ve karşılaştırmalar yapmışlardır. Perdelerin, plandaki yerleşimine ve boşluklu ya da boşluksuz şekilde düzenlenmesine bağlı olarak aldıkları taban kesme kuvvetlerini ve taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyotlarını karşılaştırmışlardır.

Aksoylu ve Arslan [9] çalışmalarında, perdeli – çerçeve betonarme yapıların doğal titreşim periyodu için TBDY-2018’de verilen ampirik periyot formülü ile Rayleigh formülünü karşılaştırmışlardır. Bu iki yaklaşımdan yola çıkarak hesapladıkları periyotların önemli oranda farklılık gösterdiğini ve bu değişimin yapıların depremden alacakları taban kesme kuvvetini önemli oranda etkilediğini gözlemlemiştir.

Işık ve arkadaşları [10], betonarme binalarda zemin katta yumuşak kat oluşumunun davranışa etkisini incelemek üzere betonarme bir bina modelleyip farklı zemin kat yüksekliklerini esas alarak statik itme eğrileri elde etmişlerdir. Analiz sonuçlarında, yumuşak kattan dolayı oluşabilecek çökme mekanizmalarını inceleyerek göçme şekillerinin yumuşak kat düzensizliğinin sebep olduğu tipik göçme mekanizmasına benzediğini gözlemlemiştir.

Nemutlu ve arkadaşları [11], taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan 4 katlı bir bina ile betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan 9 katlı bir binayı esas alarak, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre yaptıkları analizlerde taban kesme kuvveti değerlerinin değişimlerini incelemiştir.

Bu çalışmada, TBDY 2018’de süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemleri için önerilen “Deprem Etkilerinin Tamamının Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Çerçevelerle Karşılandığı

Taşıyıcı Sistemler” ile “Deprem Etkilerinin Tamamının Süneklik Düzeyi Yüksek Boşluksuz Betonarme Perdelerle Karşılandığı Taşıyıcı Sistemler” kaba yapı maliyeti ve deprem performansları bakımından karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Kuşu ve Beyen [12], Çanakkale bölgesinde 12 katlı bir binayı betonarme ve çelik yapı şeklinde ayrı ayrı tasarlayarak maliyet ve deprem parametreleri açısından karşılaştırmalar yapmışlardır. Modeller için Ayvacı bölgesine ait gerçek deprem kayıtları esas alınarak zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmıştır. Betonarme modelde taban kesme kuvveti değeri çelik modeldeki değerin yaklaşık iki katı kadar hesaplanırken, yapı maliyeti çelik modeldeki maliyet değerinin yaklaşık üçte biri kadar elde edilmiştir.

Kap ve arkadaşları [13], 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden etkilenmiş olan bir okul binasının deprem performansının belirlenmesine yönelik olarak performans analizleri gerçekleştirmişlerdir. Analizler için TBDY-2018 yönetmeliği esas alınmış ve Sta4Cad bilgisayar programı kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde binanın güçlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Yaman ve arkadaşları [14], yaptıkları çalışmada betonarme bir binanın planındaki perde duvar yerleşimi farklılığının binanın kapasitesi ve deprem performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, perde duvarların iç ya da dış aksa yerleştirilmesinin, binanın kesme kapasitesinde %2 oranında bir değişime neden olduğu görülmüştür. Ayrıca salt çerçeve sisteme kıyasla, perde duvarlı modellerin binanın deprem performans seviyesini önemli derecede artırdığını gözlemlemiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, 19 katlı konut tipi bir bina esas alınmıştır. Bina bir adet bodrum kat, zemin kat, 16 adet normal kat ve bir asansör makine dairesi katından oluşmaktadır. Bodrum kat rijit betonarme perdelerle çevrelenerek yeterli bodrum kat rijitliği sağlanmıştır. Bina yüksekliği 54,7 metre olup

deprem yönetmeliğinin (TBDY 2018) 3.3.1.1. maddesi kapsamında, bodrum kat yüksekliği bina yüksekliğine dahil edilmemiştir. Binanın bir normal katının alanı yaklaşık olarak 485 m^2 olup kat yükseklikleri ve kat ağırlıkları ile ilgili bilgiler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Modellere ait kat yükseklikleri ve ağırlık bilgileri

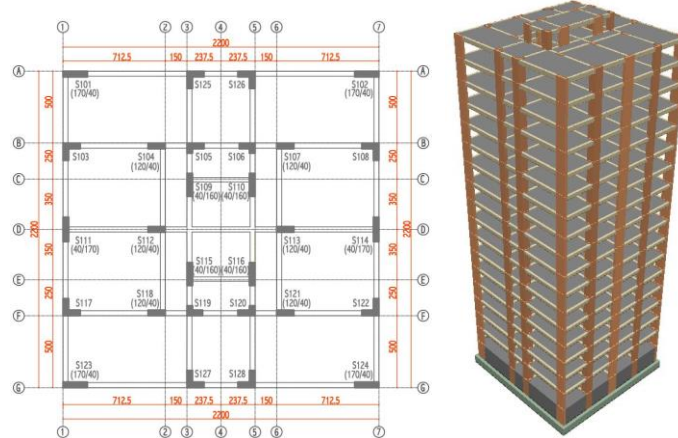
Kat	Yükseklik (metre)	Ağırlık (ton)	
		Perdeli model	Çerçevesel model
Bodrum kat	3,50	755,96	794,29
Zemin kat	3,50	652,95	598,44
1-15. Normal katlar	3,20	635,71	587,09
16. Normal kat	3,20	549,34	513,22
17. Asansör dairesi	2,30	87,84	59,40
TOPLAM		11.580,78	10.771,73

Konutlar için bina kullanım sınıfı BKS=3 ve bina önem katsayısı $I=1$ alınmaktadır. Yerel zemin için ZD zemin sınıfı esas alınmıştır. DD-2 yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} , Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı’nın [15] Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden 0,778 olarak hesaplanmıştır. Bu değer hesaplanırken Adıyaman İl merkezinde bulunan Adıyaman Üniversitesi’nin merkez yerleşkesi içerisinde bir koordinat esas alınmıştır. Deprem tasarım sınıfı DTS=1 ve bina yükseklik sınıfı BYS=3 olarak belirlenmiştir.

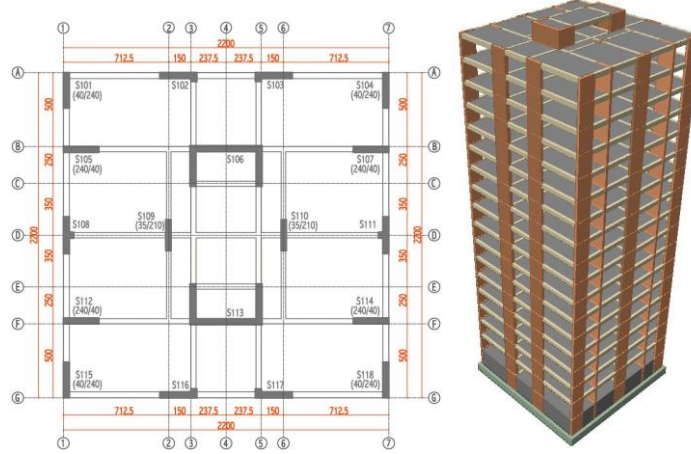
Deprem yönetmeliğinde, süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemleri için önerilen “A11-Deprem Etkilerinin Tamamının Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Çerçevelerle Karşılandığı Taşıyıcı

Sistemler (çerçevesel model)” için bina yükseklik sınırı 56 metre olarak belirtilmiştir. “A13- Deprem Etkilerinin Tamamının Süneklik Düzeyi Yüksek Boşluksuz Betonarme Perdelerle Karşılandığı Taşıyıcı Sistemler (perdeli model)” için ise bu sınır 70 metre olarak verilmiştir. Tasarımda bina yüksekliği seçilirken yönetmelikte verilen yükseklik sınırlamaları dikkate alınmış ve her iki taşıyıcı sistemin de yönetmelikte verilen uygulama sınırları içerisinde kalmasını sağlamak üzere bina yüksekliği 56 metrenin altında tutulmuştur.

Her iki taşıyıcı sistemi (A11 ve A13) karşılaştırmak üzere STA4-CAD bilgisayar programında [16] iki farklı model hazırlanmış olup çerçevesel model ile perdeli modele ait plan ve perspektif görünüşler sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Çerçevesel modelin normal kat kalıp planı ve perspektif görünüşü



Şekil 2. Perdeli modelin normal kat kalıp planı ve perspektif görünüşü

Taşıyıcı sistemlerin ön tasarımı yapılırken düşey elemanların en kesit ölçüleri, TS 500'de [17] verilen $N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c$ koşulu dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca kolonlarda yeterli sünekliği sağlamak üzere düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında oluşacak eksenel basınç kuvvetlerini sınırlamak için deprem yönetmeliğinde verilen $A_c \geq N_{dm} / (0,40 f_{ck})$ koşulu ön tasarım aşamasında dikkate alınmıştır. Benzer şekilde betonarme perdeler için yönetmelikte verilen $A_c \geq N_{dm} / (0,35 f_{ck})$ koşulu da dikkate alınmıştır.

Ön tasarımı yapılırken binaların şiddetli depremlerin etkisi altındaki davranışının daha öngörülebilir olması için yönetmelikte tanımlanan plandaki ve düşeydeki düzensizliklerden kaçınılmıştır. Her iki modelde de düşey elemanlar X ve Y yönlerinde benzer rijitlikte ve simetrik olarak yerleştirilmiş, ağırlık ve rijitlik merkezi hemen her katta çakıştırılmıştır. Rijitliği ve dayanımı yüksek düşey elemanlar kalıp planında köşelerde ve kenar akslar üzerinde düzenlenmiştir. Betonarme perdeli modelde (A13), yönetmelik gereğince tek bir perdenin aldığı taban devrilme momenti sınırlandırılmış ve yönetmelikte verilen ilgili koşul sağlanmıştır. X yönü için bir perdenin aldığı maksimum taban devrilme momentinin, deprem yükleri etkisinde binanın tamamında oluşacak taban devrilme momentine oranı 0,240 olarak elde edilmiştir. Bu oran yönetmelikte verilen üst sınır olan 1/3 oranının altındadır. Y

yönü için bu oran 0,186 olarak elde edilmiştir. Böylece kalıp planında, az sayıda büyük boyutlara sahip perdeler yerine çok sayıda daha küçük boyutlu perdeler düzenlenmiştir. Ayrıca yönetmelik gereği, kenar akslardaki perdelerin, deprem yükleri etkisinde binanın tamamında oluşacak taban devrilme momentinin 1/6'sından fazlasını karşılaması gerekmektedir. Perdeli modelde (A13) bu oran X yönü için 0,153 olarak elde edilmiştir. Alt sınır olan 1/6 oranına ulaşamadığından koşul sağlanamamıştır. Y yönü için bu oran 0,121 olarak elde edilmiş olup benzer şekilde yine bu koşul sağlanamamıştır. Bu nedenle, yönetmelikte betonarme boşluksuz perdeli sistemler (A13) için $R=6$ olarak verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, yine yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca $(4/5)R$ olarak revize edilmiş ve $R=4,8$ olarak hesaplara dahil edilmiştir. Bu durumda deprem yönetmeliği, R davranış katsayısını azaltarak binaya etkiyecek deprem yükünü $6,0/4,8$ oranında artırmış olmaktadır. Sözü edilen 1/6 koşulunun sağlanabilmesi için yapılan deneme analizlerinden, kenar akslarda oldukça büyük en kesitlere sahip betonarme perdelerin düzenlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

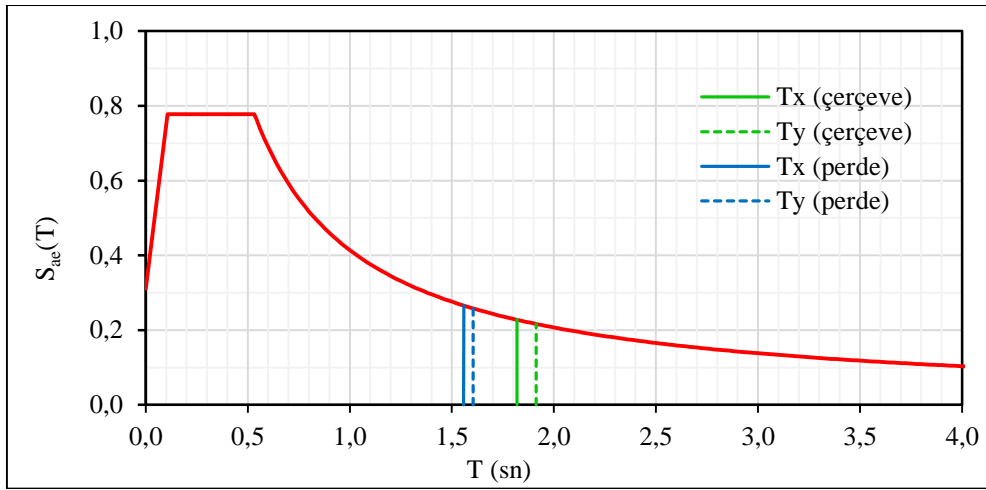
Betonarme çerçevesel sistem (A11) için ise yine yönetmeliğe uygun olarak $R=8$ değeri esas alınmıştır. A11 ve A13 sistemleri için dayanım fazlalığı katsayıları yönetmelikte belirtildiği gibi sırasıyla 3 ve 2,5 olarak dikkate alınmıştır.

Bina temeli olarak her iki modelde de 150 cm kalınlığında radye temel seçilmiş olup yapı–temel etkileşimi dikkate alınmamıştır. Bu yaklaşımla, temelde oluşabilecek etkilerin üstyapıya yansıtılmaması, böylece iki farklı taşıyıcı sistem tipini karşılaştırırken diğer etkilerin minimum seviyede tutulması amaçlanmıştır. Radye temel üzerinde perdelerle çevrelenmiş rijit bir bodrum kat bulunması gerçek durumda da bu etkilerin minimize edilmesine büyük katkı sağlamaktadır.

Çerçevesel modelde kolon ve kirişler çerçeve (çubuk) sonlu eleman olarak modellenmiştir. Modelde A2 ve A3 düzensizlikleri

bulunmadığından döşemelerin rijit diyafram görevini yaparak kat kütlelerine etkiyen deprem yüklerini düşey elemanlara rijitlikleri oranında dağıtabileceği ön görülmüş olmasına rağmen, tüm sistem Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilmiştir. Benzer şekilde perdeli model de Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilmiştir.

Bu veriler esas alınarak her iki taşıyıcı sistem için elde edilen yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde X ve Y yönündeki birinci doğal titreşim periyotlarının spektrum grafiğindeki yerleri de gösterilmiştir. Sönüm oranı yönetmelikte belirtildiği gibi %5 olarak alınmıştır.



Şekil 3. Yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her iki taşıyıcı sistem modeli için de elde edilen doğal titreşim periyotları ve bina kütleleri ile analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Perdeli sistemin doğal titreşim periyodu X yönünde $T_x=1,837$ s ve Y yönünde $T_y=2,006$ s olarak elde edilmiştir. Çerçevesel sistemde ise $T_x=1,819$ s ve $T_y=1,913$ s olarak elde edilmiştir. Perdeli taşıyıcı sistemde rijitlik çerçevelere nazaran daha yüksek olduğundan doğal titreşim periyotlarının çerçevesel sisteme göre daha düşük çıkması beklenmektedir. Burada tersi bir sonuç

elde edilmiştir. Sonuçların bu şekilde elde edilmesinde etkin kesit rijitliği çarpanı faktörünün etkili olduğu değerlendirilmektedir. Perdeler için esas alınan etkin kesit rijitlik çarpanları çerçeve kolonları için esas alınan etkin kesit rijitlik çarpanlarından daha düşüktür. Yönetmelik gereğince dayanıma göre tasarım kapsamında betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmaktadır. Yönetmelikte perdelerin düzlem içi eksenel ve kayma etkin kesit rijitlik çarpanları 0,50 iken düzlem dışı eğilme ve kesme etkin kesit rijitliği çarpanları sırasıyla 0,25 ve 1,0 olarak verilmektedir. Benzer şekilde çerçeve kolonlarının eğilme ve kesme etkin kesit rijitlik

çarpınları sırasıyla 0,70 ve 1,0 olarak verilmiştir. Ayrıca çerçevesel modelden perdeli modele geçilirken bazı düşey elemanların yönleri değiştirilmiştir. Bu hususun da periyot hesabında etkili olduğu değerlendirilmektedir. Deprem yönetmeliğinde hakim doğal titreşim periyodunun

alabileceği en büyük değer, yönetmelikte verilen Ampirik Hakim Doğal Titreşim Periyodunun (T_{pA}) 1,4 katı ile sınırlandırılmaktadır. Bu sınır değerler perdeli sistem için $T_x=1,558$ s ve $T_y=1,605$ s olarak hesaplanmış olup eşdeğer deprem yükü hesabında bu değerler esas alınmıştır.

Çizelge 2. Doğal titreşim periyotları, bina kütleleri ve taban kesme kuvvetleri

Karşılaştırılan büyüklükler	Perdeli sistem (A13)	Çerçevesel sistem (A11)
Doğal titreşim periyodu (T_x)	1,837 s	1,819 s
Kütle katılım oranı (M_{xr})	%68,8	%72,6
Doğal titreşim periyodu (T_y)	2,006 s	1,913 s
Kütle katılım oranı (M_{yr})	%71,8	%73,7
Taban kesme kuvveti ($V_{TE}^{(X)}$)	551,73 ton	284,36 ton
Taban kesme kuvveti ($V_{TE}^{(Y)}$)	535,67 ton	284,36 ton
Bina kütlesi (W_t)	11.580,8 ton	10.771,7 ton

Doğal titreşim periyotları için oldukça yakın değerler elde edilmesine rağmen, taşıyıcı sistemlerin tabanlarında deprem etkisiyle oluşan toplam taban kesme kuvveti değerleri çok farklı çıkmıştır. Sonuçların bu şekilde elde edilmesinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) etkili olmuştur. Deprem yönetmeliğinde bina tabanına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü $V_{TE}^{(X)}$ (taban kesme kuvveti) aşağıdaki denklemde verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 1).

$$V_{TE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \quad (1)$$

Burada m_t binanın toplam kütlelerini ve $S_{aR}(T_p^{(X)})$ ise azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermektedir. Her bir doğrultuda binanın tümüne etkiyen taban kesme kuvvetinin ($V_{TE}^{(X)}$) hesabında esas alınan azaltılmış tasarım spektral ivmesi ($S_{aR}(T)$), yatay elastik tasarım spektral ivmesinin ($S_{ae}(T)$) deprem yükü azaltma katsayısına ($R_a(T)$) bölünmesi ile elde edilmektedir. Burada ($R_a(T)$), konut binaları için yatay elastik tasarım spektrumunun T_B köşe periyodunun sağ tarafında kalan periyot değerleri için sadece R davranış katsayısına bağlıdır. Bu durumda binanın tümüne etkiyen taban kesme kuvvetini hesaplamak üzere

yatay elastik tasarım spektrum grafiğinden elde edilen ivme değerleri çerçevesel sistem için $R=8$ değerine bölünürken, perdeli sistem için $R=4,8$ değerine bölünmektedir. Böylece perdeli sistemin tabanında oluşan taban kesme kuvveti daha büyük değerlere ulaşmıştır. Perdeli modelde taban kesme kuvvetlerinin bu şekilde elde edilmesinde perdeli modelin periyotlarının $T_x=1,558$ s ve $T_y=1,605$ s olarak sınırlanmasının da etkisi olmuştur.

Çizelge 3'te her iki modele ait burulma düzensizliği katsayıları, etkin görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değerleri verilmiştir. Her iki modelde de burulma düzensizliği katsayısının yönetmelikte verilen 1,20 sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Yönetmelik bu sınırın geçilmesine izin vermekle birlikte tasarım mühendisine bazı yaptırımlar uygulamaktadır. Etkin görel kat ötelemeleri her iki modelde de sınır değerler oldukça altında kalmıştır. Buradan her iki binada da yeterli rijitliğin rahatlıkla sağlandığı anlaşılmaktadır. Kat ötelemeleri bakımından çerçevesel modelin az da olsa daha iyi performans gösterdiği gözlenmektedir. Benzer şekilde ikinci mertebe göstergeleri de sınır değerlerin oldukça altında kalmaktadır.

Çizelge 3. Burulma düzensizliği katsayıları, etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertbe gösterge değerleri

Karşılaştırılan büyüklükler	Perdeli sistem (A13)	Çerçevesel sistem (A11)
En büyük burulma düzensizliği katsayısı (η_{bi})	1,105<1,200	1,116<1,200
En büyük etkin görelî kat ötelemesi $\delta_{i,max}^{(x)}$	0,0084<0,0198	0,0077<0,0198
En büyük etkin görelî kat ötelemesi $\delta_{i,max}^{(y)}$	0,0097<0,0198	0,0086<0,0198
En büyük ikinci mertbe gösterge değeri $\theta_{II,max}^{(x,y)}$	0,034<0,125	0,032<0,090

Çizelge 4'te her iki modele ait maksimum deprem deplasman değerleri verilmiştir. 17. Asansör makine dairesi küçük kütleli bir kat olduğundan tepe deplasmanı olarak 16. Normal Kata ait değerlerin dikkate alınması daha uygun olacaktır. Maksimum tepe deplasmanı her iki modelde de Y yönünde olup perdeli modelde 92,1 mm iken çerçevesel modelde 47,4 mm olarak elde edilmiştir. Perdeli modelin daha rijit olmasından yola çıkılarak bu modelde tepe deplasmanlarının daha

düşük olması beklenebilir. Fakat burada bu beklentiyle örtüşmeyen sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, perdeli modelde taşıyıcı sistem davranış katsayısının R=4,8 olarak alınmış olması ve bunun sonucu olarak da yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin artmış olması ile açıklanabilir. Bu sonucun elde edilmesinde, betonarme perdelerin düzlem dışı eğilme davranışı için etkin kesit rijitlik çarpanı değerinin 0,25 alınmasının da etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 4. Maksimum deprem deplasmanları

Kat ismi	Perdeli model maksimum kat deplasmanları (m)		Çerçevesel model maksimum kat deplasmanları (m)	
	X	Y	X	Y
17. Asansör M.D.	0,0841	0,0895	0,0432	0,0451
16. Normal kat	0,0838	0,0921	0,0442	0,0474
15. Normal kat	0,0802	0,0890	0,0429	0,0463
14. Normal kat	0,0754	0,0849	0,0412	0,0446
13. Normal kat	0,0704	0,0804	0,0392	0,0426
12. Normal kat	0,0652	0,0756	0,0369	0,0403
11. Normal kat	0,0599	0,0704	0,0345	0,0378
10. Normal kat	0,0545	0,0649	0,0320	0,0352
9. Normal kat	0,0490	0,0591	0,0293	0,0324
8. Normal kat	0,0434	0,0531	0,0265	0,0294
7. Normal kat	0,0378	0,0469	0,0236	0,0264
6. Normal kat	0,0323	0,0406	0,0207	0,0232
5. Normal kat	0,0268	0,0341	0,0177	0,0199
4. Normal kat	0,0215	0,0277	0,0147	0,0166
3. Normal kat	0,0164	0,0213	0,0116	0,0132
2. Normal kat	0,0116	0,0152	0,0085	0,0098
1. Normal kat	0,0073	0,0095	0,0055	0,0064
Zemin kat	0,0036	0,0047	0,0027	0,0032
Bodrum kat	0,0011	0,0015	0,0007	0,0009

Deprem yönetmeliğinde DTS=1 için belirlenen bina performans hedefi Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi olup onarılabılır hasar

düzeyine karşılık gelmektedir. Bu hedefin DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde sağlanması gerekmektedir. Her iki modelin deprem

performansını belirlemek üzere, yönetmelikte verilen doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden “Çok Modlu İtme Yöntemi” esas alınarak performans analizleri yapılmıştır. Çerçeve model için DD-2 deprem yer hareketi esas alınarak yapılan performans analizi sonucunda elde edilen betonarme kolon ve kiriş elemanların hasar

durumları sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6’da verilmiştir. Benzer şekilde perdeli model için DD-2 deprem yer hareketi esas alınarak yapılan performans analizi sonucunda elde edilen betonarme perde ve kiriş elemanların hasar durumları sırasıyla Çizelge 7 ve Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 5. Çerçeve modelde kolon hasar durumu (DD-2 etkisinde)

Kat ismi	Kolon adedi	Sınırlı hasar (SH)	Belirgin hasar (BH)	İleri hasar (İH)	Belirgin ve ileri hasarlı kolon yüzdesi %
Bodrum kat	28	12	16	-	57
Zemin kat	28	-	20	8	100
1. Normal kat	28	4	24	--	86
2. Normal kat	28	4	24	-	86
3. Normal kat	28	4	24	-	86
4. Normal kat	28	4	24	-	86
5. Normal kat	28	4	24	-	86
6. Normal kat	28	4	24	-	86
7. Normal kat	28	4	24	-	86
8. Normal kat	28	6	22	-	79
9. Normal kat	28	10	18	-	64
10. Normal kat	28	10	18	-	64
11. Normal kat	28	10	18	-	64
12. Normal kat	28	10	18	-	64
13. Normal kat	28	23	5	-	18
14. Normal kat	28	28	-	-	-
15. Normal kat	28	28	-	-	-
16. Normal kat	28	28	-	-	-
17. Asansör M. D.	8	8	-	-	-
Toplam:	512	201	303	8	-

Çizelge 6. Çerçeve modelde kiriş hasar durumu (DD-2 etkisinde)

Kat ismi	Kiriş adedi	Sınırlı hasar (SH)	Belirgin hasar (BH)	İleri hasar (İH)	Belirgin ve ileri hasarlı kiriş sayısı
Bodrum kat	31	31	-	-	-
Zemin kat	45	-	45	-	45
1. Normal kat	45	-	45	-	45
2. Normal kat	45	-	45	-	45
3. Normal kat	45	-	45	-	45
4. Normal kat	45	-	45	-	45
5. Normal kat	45	-	45	-	45
6. Normal kat	45	-	45	-	45
7. Normal kat	45	-	45	-	45
8. Normal kat	45	-	45	-	45
9. Normal kat	45	-	45	-	45
10. Normal kat	45	-	45	-	45
11. Normal kat	45	-	45	-	45
12. Normal kat	45	-	45	-	45
13. Normal kat	45	-	45	-	45
14. Normal kat	45	-	45	-	45
15. Normal kat	45	-	45	-	45
16. Normal kat	45	25	20	-	20
17. Asansör M. D.	10	10	-	-	-
Toplam:	806	66	740	-	740

Çerçeve modelde en kritik kat olan zemin katta kolonların tamamı belirgin veya ileri hasar bölgesindedir. Sınırlı hasar bölgesinde kolon bulunmamaktadır. Bodrum katta ise kolonların sayıca %43'ü sınırlı hasar ve %57'si belirgin hasar bölgesinde olup ileri hasar bölgesinde kolon bulunmamaktadır. Perdeli modelde ise zemin katta perdelerin sayıca %44'ü sınırlı hasar ve %56'sı belirgin hasar bölgesindedir. Bodrum katta bu oran sırasıyla %28 ve %72 olarak gözlenmiştir.

Her iki modelin kaba yapı maliyetini yaklaşık olarak karşılaştırmak üzere STA4CAD bilgisayar programından analiz sonrası metraj verileri alınmıştır. C35/45 hazır betonu, betonarme demiri ve düz yüzeyli betonarme kalıbı imalatları üzerinden, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenen 2020 Birim Fiyatları [18] da dikkate alınarak her iki tasarım modelinin kaba

yapı maliyeti çıkarılmış ve Çizelge 9'da verilmiştir. Metrajlara temel imalatları dahil edilmemiştir. Birim fiyatlar, Bakanlığın poz tariflerinde belirttiği gibi her türlü işçilik, malzeme, nakliye, yatay-düşey taşıma, müteahhit genel giderleri, karı ve benzeri tüm giderleri içermektedir. Perdeli modelde R katsayısının düşük tutulması ve bunun sonucu olarak da deprem etkilerinin büyümüş olmasına rağmen yaklaşık 64,50 ton betonarme demirinden tasarruf edilmiştir. Perde en kesit ölçülerinin kolonlara nazaran daha büyük olması nedeniyle C35/45 hazır betonu ve düz yüzeyli betonarme kalıbı imalatları çerçeve modelde nazaran bir miktar artış gösterse de betonarme demir birim fiyatının yüksek olması, perdeli modelin toplam kaba yapı maliyetinin, çerçeve modelde kıyasla 156.869,65 TL daha ekonomik olmasını sağlamıştır.

Çizelge 7. Perdeli modelde perde hasar durumu (DD-2 etkisinde)

Kat ismi	Perde adedi	Sınırlı hasar (SH)	Belirgin hasar (BH)	İleri hasar (İH)	Belirgin hasarlı perde yüzdesi %
Bodrum kat	18	5	13	-	72
Zemin kat	18	8	10	-	56
1. Normal kat	18	8	10	-	56
2. Normal kat	18	10	8	-	44
3. Normal kat	18	8	10	-	56
4. Normal kat	18	6	12	-	67
5. Normal kat	18	5	13	-	72
6. Normal kat	18	4	14	-	78
7. Normal kat	18	4	14	-	78
8. Normal kat	18	4	14	-	78
9. Normal kat	18	4	14	-	78
10. Normal kat	18	4	14	-	78
11. Normal kat	18	4	14	-	78
12. Normal kat	18	4	14	-	78
13. Normal kat	18	10	8	-	44
14. Normal kat	18	12	6	-	33
15. Normal kat	18	12	6	-	33
16. Normal kat	18	6	12	-	67
17.Asansör M. D.	2	2	-	-	-
Toplam:	326	120	206	-	-

Çizelge 8. Perdeli modelde kiriş hasar durumu (DD-2 etkisinde)

Kat ismi	Kiriş adedi	Sınırlı hasar (SH)	Belirgin hasar (BH)	İleri hasar (İH)	Belirgin ve ileri hasarlı kiriş sayısı
Bodrum kat	18	5	13	-	13
Zemin kat	18	8	10	-	10
1. Normal kat	18	8	10	-	10
2. Normal kat	18	10	8	-	8
3. Normal kat	18	8	10	-	10
4. Normal kat	18	6	12	-	12
5. Normal kat	18	5	13	-	13
6. Normal kat	18	4	14	-	14
7. Normal kat	18	4	14	-	14
8. Normal kat	18	4	14	-	14
9. Normal kat	18	4	14	-	14
10. Normal kat	18	4	14	-	14
11. Normal kat	18	4	14	-	14
12. Normal kat	18	4	14	-	14
13. Normal kat	18	10	8	-	8
14. Normal kat	18	12	6	-	6
15. Normal kat	18	12	6	-	6
16. Normal kat	18	6	12	-	12
17.Asansör M.D.	2	2	-	-	-
Toplam:	326	120	206	-	206

Çizelge 9. Kaba yapı maliyetleri

İmalatlar	Miktarı	Birim fiyatı	Tutarı (TL)
Perdeli model			
C35/45 Hazır betonu (m ³)	3.301,7	278,63	919.952,67
Betonarme demiri (ton)	273,3	4.444,21	1.214.602,59
Düz yüzeyli bet. kalıbı (m ²)	18.922,7	63,98	1.210.674,35
TOPLAM			3.345.229,61
Çerçevesel model			
C35/45 Hazır betonu (m ³)	3.036,1	3.036,1	3.036,1
Betonarme demiri (ton)	337,8	337,8	337,8
Düz yüzeyli bet. kalıbı (m ²)	18.050,9	18.050,9	18.050,9
TOPLAM			3.345.229,61

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TBDY 2018’de süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemleri için önerilen “Deprem Etkilerinin Tamamının Moment Aktaran Süneklik Düzeyi

Yüksek Betonarme Çerçevelerle Karşılandığı Taşıyıcı Sistemler (A11)” ile “Deprem Etkilerinin Tamamının Süneklik Düzeyi Yüksek Boşluksuz Betonarme Perdelerle Karşılandığı Taşıyıcı Sistemler (A13)” kaba yapı maliyeti ve deprem performansları bakımından karşılaştırmalı olarak

irdelenmiş ve bu çalışmada ele alınmış olan bina modelleri özelinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Perdeli modelde rijitliğin yüksek olması nedeniyle doğal titreşim periyotlarının düşük çıkması beklenirken çerçevesel modelin periyotları ile yakın değerler elde edilmesi, çerçevesel modelde kolon kesitlerinin büyük tutulmasının yansira perdeler için esas alınan etkin kesit rijitlik çarpanlarının çerçeve kolonları için esas alınan etkin kesit rijitlik çarpanlarından daha düşük olması ile açıklanabilir. Ayrıca deprem yönetmeliğinde hakim doğal titreşim periyodu için üst sınırlar getirilmiştir. Çerçevesel modelde bu üst sınır aşılamazken perdeli modelde her iki yön için de üst sınır aşılmıştır. Bu nedenle perdeli modelin hakim doğal titreşim periyotları yönetmelik gereği küçültülerek Ampirik Hakim Doğal Titreşim Periyodunun (T_{pA}) 1,4 katına eşitlenmiştir. Bu durum perdeli modelde taban kesme kuvvetlerinin büyümesine neden olmuştur.

Çerçevesel modelde taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$ olarak alınmıştır. Perdeli modelde ise yönetmelikte belirtildiği gibi $R=6$ olarak analize başlanmış ve ilk analizden sonra bu değer revize edilmiştir. Deprem tasarım sınıfının 1, 1a, 2, 2a olması durumunda deprem etkilerinin tamamının betonarme perdelerle karşılandığı binalarda kenar akslardaki perdelerin, deprem etkisinde binanın tamamında oluşacak taban devrilme momentinin $1/6$ 'sından fazlasını karşılaması gerekmektedir. Bu koşulunun sağlanabilmesi için yapılan deneme analizlerinden, kenar akslarda oldukça büyük en kesitlere sahip betonarme perdelerin düzenlenmesi, ya da asansör ve benzeri amaçlarla düzenlenen merkezdeki çekirdek perde uzunluklarının sınırlandırılması gerektiği anlaşılmıştır. Perdeli modelde bu koşul sağlanamadığından taşıyıcı sistem davranış katsayısı yönetmelikte verilen şekliyle $4R/5$ olarak revize edilmiş ve $R=4,8$ değeri esas alınmıştır. Bu durum perdeli modelde taban kesme kuvvetlerinin daha da büyümesine neden olmuştur.

Yatay elastik tasarım spektrum eğrileri aynı olmasına rağmen, deprem etkisiyle oluşan toplam

taban kesme kuvveti değerleri çerçevesel modele nazaran perdeli modelde çok yüksek çıkmıştır. Yönetmeliğin perdeli model için uyguladığı yaptırımlar (taşıyıcı sistem davranış katsayısının ve periyotların düşürülmesi) sonuçların bu şekilde elde edilmesinde önemli oranda etkili olmuştur.

Burulma düzensizliği katsayıları, her iki modelde yakın değerler almış olup $1,2$ sınır değerinin altındadır. Etkin görel kat ötelemeleri her iki modelde de sınır değer oldukça altında kalmıştır. Buradan her iki binada da yeterli rijitliğin rahatlıkla sağlandığı anlaşılmaktadır. Kat ötelemeleri bakımından çerçevesel modelin az da olsa daha iyi performans gösterdiği gözlenmektedir. Benzer şekilde ikinci mertebeye göstergeleri de sınır değerlerin oldukça altında kalmıştır.

Y yönündeki tepe deplasmanları perdeli model ve çerçevesel model için sırasıyla $92,1$ mm ve $47,4$ mm olarak elde edilmiştir. Yüksek öteleme rijitliği sebebiyle perdeli modelde tepe deplasmanlarının daha düşük olması beklenirken çerçevesel modele nazaran daha büyük kat ve tepe deplasmanları elde edilmiştir. Bu durum, perdeli modelde binaya etkiyen deprem kuvvetlerinin çerçevesel modele nazaran çok daha büyük olması ile açıklanabilir. Ayrıca çerçevesel modelde kolonların en kesit boyutlarının büyük tutulmuş olması ve yönetmelikte betonarme perdeler için verilen etkin kesit rijitlik çarpanı değerlerinin betonarme kolonlar için verilen değerlerden daha küçük olması deplasman verilerini bu şekilde etkilemiştir.

Çerçevesel modelde en kritik kat olan zemin katta kolonların tamamı belirgin (%71) veya ileri hasar (%29) bölgesinde olup sınırlı hasar bölgesinde kolon bulunmamaktadır. Perdeli modelde ise zemin katta perdelerin sayıca %44'ü sınırlı hasar ve %56'sı belirgin hasar bölgesindedir. Yönetmelikte sınırlı hasar, elemanın ilgili kesitinde sınırlı miktarda elastik ötesi davranış olarak tanımlanmış olup plastik mafsal oluşumu söz konusu değildir. Belirgin hasar, kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranış ve ileri hasar durumu ise kesitte ileri

düzye de elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Bu durumda zemin kattaki hasar durumundan yola çıkarak perdeli modelin deprem performansının, çerçevele modele nazaran daha iyi olduğu söylenebilir.

Perdeli modelde C35/45 hazır betonu ve düz yüzeyle betonarme kalıbı imalatları çerçevele modele nazaran bir miktar artış gösterse de betonarme demir metrajı perdeli modelde önemli oranda düşük çıkmıştır. Betonarme demir imalatının birim fiyatının yüksek olması nedeniyle, perdeli modelin toplam kaba yapı maliyetinin, çerçevele modele kıyasla 156.869,65 TL daha ekonomik olduğu gözlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, (2021, 08 Ocak) Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/genel-bilgiler/>.
2. Aydınoğlu, M.N., 2007. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul, Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 October, İstanbul, Turkey, 15-41.
3. International Council of Building Officials, 1958, Uniform Building Code, 610 South Broadway, Los Angeles, California.
4. İmar ve İskan Bakanlığı, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
5. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
6. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara.
7. Ünsal, İ., Öncel F.A., Şahan, M.F., 2020. TDY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Yapı Yüksekliğinin Taban Kesme Kuvveti ve Tepe Deplasmanı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(4), 930-942.
8. Kasap, H., Mert, N., Sevim, E., Şeber, B., 2015. Perdeli-Çerçevele Taşıyıcı Sistemli Binalarda Taşıyıcı Sistem Seçiminin Yapı Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(1), 48-55.
9. Aksoylu, C., Arlan, M.H., 2019. Çerçeve+perde Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının TBDY-2019 Yönetmeliğine Göre Ampirik Olarak Değerlendirilmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(3), 365-382.
10. Işık, E., Özdemir, M., Kutanis, M., 2016. Farklı Zemin Kat Yüksekliklerinin Yapı Performansına Etkisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(3), 445-454.
11. Nemutlu, Ö.F., Sarı, A., 2018. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'in Karşılaştırılması, International Engineering, Science and Education Conference (INESEC), 14-17 Kasım, Diyarbakır, 569-575.
12. Kuşu, A., Beyen K., 2019. Aynı Koşullar Altında Tasarlanan 12 Katlı Çelik ve Betonarme Bir Yapının TBDY 2018 Esaslarına Göre Karşılaştırılması, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 64-73.
13. Kap, T., Özgan, E., Uzunoğlu, M.M., 2019. Betonarme Bir Okul Binasının 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7, 1140-1150.
14. Yaman, S., Tekeli, H., Demir, F., 2019. Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 194-204.
15. AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
16. Sta4-CAD, Ver.14.1, Structural Analysis for Computer Aided Design, www.sta4.net.

17. Türk Standartları Enstitüsü, 2000. TS500-Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara.
18. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2020. İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-araç ve Gereç Rayiç Listeleri, Ankara.

Alüminyum, Magnezyum ve Çelik Malzemelerle Tasarlanmış Tek Hücreli ve Çok Hücreli Çarpışma Kutularının Çarpışma Performanslarının İncelenmesi

Emre İsa ALBAK*¹

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar Teknolojisi Programı, Bursa

Geliş tarihi: 24.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Çarpışma kutuları, olası bir kaza esnasında sürücü ve araç içi yolcularda oluşabilecek yaralanmaları en aza indirmek için kullanılan pasif güvenlik sistemi elemanlarından biridir. Araştırmacılar çarpışma kutularının çarpışma performansını iyileştirmek için farklı yapılar ve malzemeler kullanmaktadır. Bu çalışmada alüminyum alaşım AA6061-O, magnezyum alaşım AZ31B ve DP600 çeliğinden tasarlanan kare, altıgen ve dairesel dış duvara sahip tek hücreli ve çok hücreli olmak üzere dokuz farklı çarpışma kutusu sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Çalışmada kullanılan sonlu elemanlar modelleri literatürden elde edilen deneysel veriler ile doğrulanmıştır. Farklı malzemelerden tasarlanmış çarpışma kutuları en büyük çarpışma kuvveti, çarpışma kuvveti verimi ve özgül enerji sönmüleme kapasiteleri açısından incelenmiştir. İnceleme sonucunda aynı kesite sahip çarpışma kutuları içinde yırtılmalara maruz kalmasına rağmen AZ31B malzemeli modellerin daha yüksek özgül enerji sönmüleme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca çok hücreli yapılar tek hücreli yapılara daha iyi çarpışma performansı sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşım, Magnezyum alaşım, DP600, Çarpışma kutusu, Otomotiv malzemeleri

Investigation for Crashworthiness Performance of Single-cell and Multi-cell Crash Boxes Designed with Aluminum, Magnesium and Steel Materials

Abstract

Crash boxes are one of the passive safety system elements used to minimize injuries to drivers and passengers during a possible accident. Researchers use different structures and materials to enhance the crashworthiness performance of crash boxes. In this study, designed from aluminum alloy AA6061-O, magnesium alloy AZ31B and DP600 steel, nine different collision boxes, single-cell and multi-cell with square, hexagonal and circular outer walls, are examined by finite element analysis. The finite element

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emre İsa ALBAK, emrealbak@uludag.edu.tr

model used in the study has been validated with the experimental data obtained from the literature. Crash boxes designed from different materials have been examined in terms of the maximum crash force, crush force efficiency and specific energy absorption capacity. As a result of the examination, although failures are observed in crash boxes with the same cross-section, it is observed that models with AZ31B material had higher specific energy absorption capacity. In addition, multi-cell structures have shown better crash performance than single-cell structures.

Keywords: Aluminum alloy, Magnesium alloy, DP600, Crash box, Automotive materials

1. GİRİŞ

Çarpışma kutuları, olası bir kaza esnasında sürücü ve araç içinde bulunan yolcularda oluşabilecek yaralanmaları en aza indirmek için kullanılan pasif güvenlik sistemi elemanlarıdır. Çarpışma kutuları, kaza sırasında oluşan enerjiyi plastik deformasyona uğratarak sönmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte otomobillerden hem performans hem de güvenlik beklentileri artmaktadır. Ayrıca çevre kirliliğinin artması nedeniyle artan egzoz gazı emisyonu kısıtlamaları daha hafif otomobillere olan gereksinimi arttırmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, çarpışma kutularının daha hafif ve daha performanslı tasarımı için farklı geometrik yapı ve malzemeler ile birçok araştırma sunmuşlardır.

Çarpışma kutuları ilk başlarda kare [1,2], altıgen [3,4] ve daire [5,6] gibi temel geometrik kesitler üzerinden incelenmiştir. Tarlochan ve arkadaşları [7], kare, dikdörtgen, altıgen, sekizgen, daire ve elips geometrik şekillere sahip çelik malzemeyle tasarlanmış çarpışma kutularını eksenel ve 30° açılı eğik çarpma analizleri ile incelemiştir. Çalışmaları sonucunda, altıgen kesitli çarpışma kutusunun, çarpışma performans göstergelerinin yanı sıra maliyet ve üretim fizibilitesi de hesaba katıldığında enerji sönmeyici uygulaması için daha iyi bir konsept olduğu bulunmuştur. Yamashita ve arkadaşları [8], dört, beş, altı, on iki ve doksan altı köşegene sahip alüminyum malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularını incelemiştir. Ayrıca kare ve dairesel çarpışma kutularını da deneysel olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, düzenli bir ezilme meydana gelmesi için altı köşegenden az köşegene sahip

kesitlerden kaçınılması gerektiği ve çarpışma dayanımının dairesel yapılarda kare kesite göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Son zamanlarda çarpışma kutularının performansını iyileştirmek için çok hücreli yapılar üzerine çalışmalar yapılmıştır. Zhang ve Zhang [9], eksenel basma şartlarında tek hücreli ve çok hücreli yapıların çarpışma karakteristiklerini incelemiştir. Sonuçlar, çok hücreli ince duvarlı tüplerin enerji emme performansının, tek hücreli ince duvarlı tüplerden önemli ölçüde yüksek olduğunu göstermiştir. Huang ve Xu [10], bir karides türünün fiziksel özelliklerinden esinlenerek oluşturdukları on farklı dairesel dış duvarlı çok hücreli yapıyı eksenel ve açılı yükleme şartlarında incelemiştir. Qiu ve arkadaşları [11], altıgen kesitli farklı sayıda hücreye sahip yapıların çarpışma performanslarını eksenel ve açılı yükleme şartlarında incelemiştir. Çalışmaları, aynı hücre sayısı için, köşe sayısının enerji emilimini arttırmada önemli bir rol oynadığı ortaya koymuştur.

Çarpışma kutularının performansını iyileştirmek için farklı malzeme kullanımı da araştırmacılar tarafından tercih edilen diğer bir yöntemdir. Çarpışma kutularında kullanılan malzemelerden bazıları alüminyum, magnezyum ve çeliktir. Çift fazlı (DP) olarak isimlendirilen gelişmiş yüksek mukavemetli saclar yüksek mukavemetleri nedeniyle araç ağırlığını azaltmaya katkı sağladığı için otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedir [12]. Alüminyum ve magnezyum alaşımlar, düşük yoğunlukları nedeniyle hafif araç tasarımında otomotiv endüstrisinde popüler hale gelmektedir [13]. Demirci ve Yıldız [13], kare, dikdörtgen, dairesel ve çokgen kesitli çarpışma kutuları için çelik, DP ve TRIP çelikleri ile alüminyum ve magnezyum alaşım malzemeleri kullanarak sonlu elemanlar analizleri

gerçekleştirmiştir. Malzeme karşılaştırma sonuçlarına göre, gelişmiş yüksek mukavemetli çelik ve düşük yoğunluklu alaşımların geleneksel çelikten daha iyi performans göstermiştir. Çelikten yapılan çarpışma kutuların enerji sönümleme kabiliyetleri alüminyum ve magnezyum yapılara göre daha iyi olmakla birlikte, düşük yoğunluklu malzemelerden yapılan enerji sönümleyiciler, geleneksel ve gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler kullanılarak yapılanlara göre birim kütle başına daha fazla enerji sönümlemiştir. Kurtuluş ve Tekin [14], farklı kesitlere sahip çarpışma kutularını alüminyum ve magnezyum alaşım malzemeler kullanarak karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda magnezyum tasarımların alüminyum tasarıma göre %10 oranında daha iyi çarpışma kuvvetine sahip olduğu ve %60 daha hafif bir tasarıma sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada çift fazlı yüksek mukavemetli DP600 çeliği, AA6061-O alüminyum alaşımı ve AZ31B magnezyum alaşımları kullanılarak dokuz farklı çarpışma kutusunun çarpışma performansları incelenmiştir. Çarpışma kutularının tasarımı, literatürde en çok incelenen kesitlerden olan kare, altıgen ve daire kesitler ile bu kesitlerin çok hücreli yapıları göz önünde bulundurularak üretilmiştir. Çarpışma kutularının performansları, 0,5 mm/s sabit hızda basma analizleri yapılarak incelenmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Çarpışma Performansı Parametreleri

Çarpışma kutularının performansını incelemek için araştırmacılar tarafından performans parametreleri ortaya koyulmuştur. Literatürde en çok incelenen çarpışma performansı parametreleri en büyük çarpışma kuvveti (EÇK), çarpışma kuvveti verimi (ÇKV) ve özgül enerji sönümleme kapasitesidir (ÖES) [15].

En büyük çarpışma kuvveti (EÇK), çarpışma süresince ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvvetidir.

Özgül enerji sönümleme kapasitesi (ÖES), çarpışma kutusunun ağırlığının, çarpışma kutusunun sönümlediği toplam enerjiye bölünmesiyle bulunur. Toplam sönümlenen enerji ise kuvvet yer değiştirme eğrisi altında kalan alan hesaplanarak bulunabilir. Burada özgül sönümleme enerji şu şekilde hesaplanabilir (Eşitlik 1):

$$\text{ÖES} = \frac{\int_0^d F(x)dx}{m} \quad (1)$$

burada $F(x)$ çarpışma kuvvetini, m çarpışma kutusunun ağırlığını ve d ise eksenel yöndeki yer değiştirmeyi temsil etmektedir.

Çarpışma kuvveti verimi (ÇKV) ise ortalama çarpışma kuvvetinin en büyük çarpışma kuvvetine bölünmesiyle hesaplanır. Ortalama çarpışma kuvveti ise toplam sönümlenen enerjinin eksenel yöndeki yer değiştirmeye bölünmesiyle bulunur. Buradan ÇKV aşağıdaki şekilde verilir (Eşitlik 2):

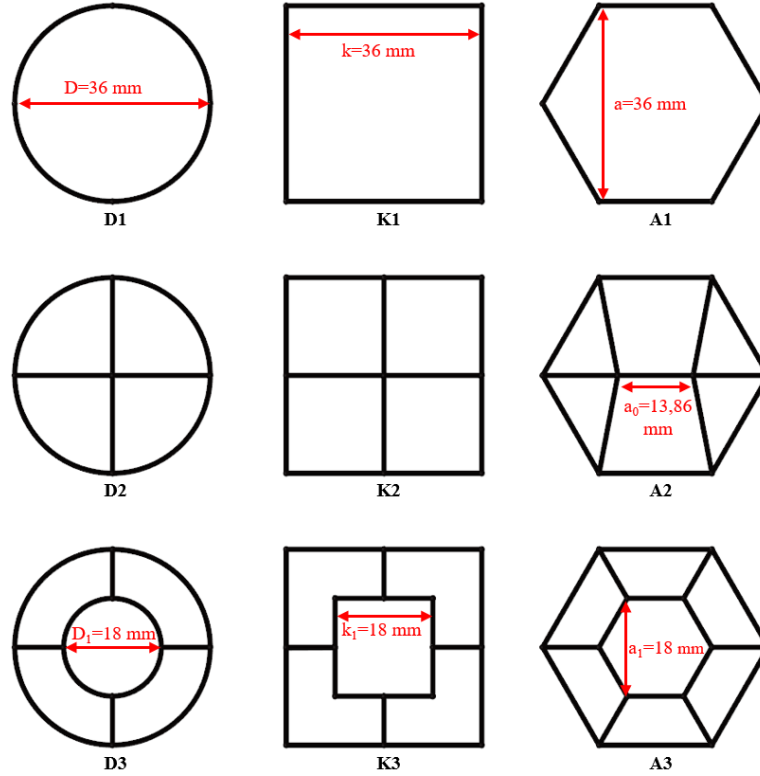
$$\text{ÇKV} = \frac{\int_0^d F(x)dx}{D \cdot \text{EÇK}} \quad (2)$$

burada D eksenel yöndeki toplam yer değiştirmeyi temsil etmektedir.

2.2. Çarpışma Kutusu Tasarımları

Bu çalışmada literatürde en çok incelenen kesitlerden olan kare, altıgen ve dairesel kesitler ele alınarak tasarımlar oluşturulmuştur. Sadece daire, kare ve altıgen kesitlerden oluşan çarpışma kutuları sırasıyla D1, K1 ve A1 isimleriyle adlandırılmıştır. Daire ve kare yapıların eşit dört parçaya bölünmüş halleri sırasıyla D2 ve K2 olarak adlandırılmıştır. Altıgen yapının ortasından geçen duvarı üç eşit parçaya bölecek şekilde oluşturulan altı hücreli altıgen yapı A2 ismi ile anılacaktır. Daire, kare ve altıgen yapıların yarısı olacak şekilde içerilerine aynı yapıların yerleştirilmesi ve ek duvarlar eklenmesiyle elde edilen yapılar ise D3, K3 ve A3 isimleriyle adlandırılmıştır. Çarpışma kutularında kullanılan malzemeler olan DP600 çeliği, AA6061-O alüminyum alaşımı ve AZ31B magnezyum alaşımı için sırasıyla çarpışma kutusu isimlerine "DP", "Al"

ve “Mg” önekleri eklenmiştir. Çalışmada kullanılan çarpışma kutularının kesitleri ve ölçüleri Şekil 1’de verilmiştir. Bütün çarpışma kutularının duvar kalınlıkları 1,00 mm ve uzunlukları ise 120 mm’dir.

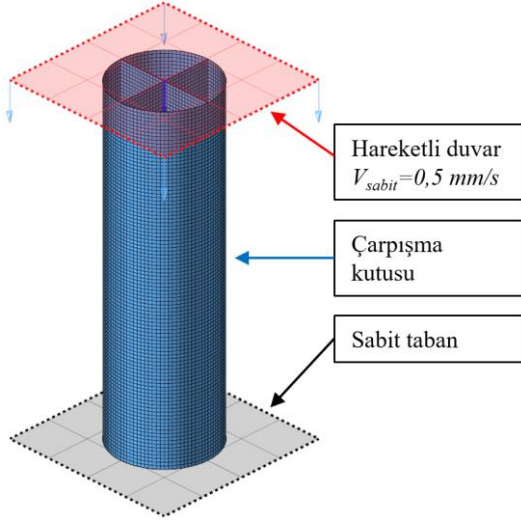


Şekil 1. Çarpışma kutusu kesitleri

2.3. Sonlu Elemanlar Modeli

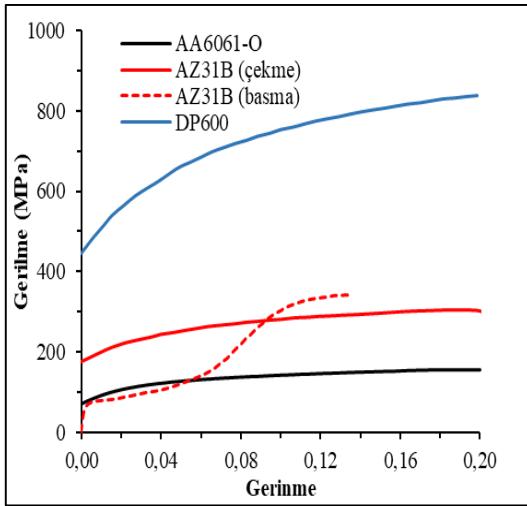
Çarpışma kutularının çarpışma performanslarını incelemek için sonlu eleman yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelleri Radioss çözücüsü kullanılarak çözdürülmüştür [16]. Çalışmada kullanılan sonlu elemanlar modeli Şekil 2’de verilmiştir. Sonlu elemanlar modeli 0,5 mm/s’lik düşey yönde basma yapan hareketli duvar, çarpışma kutusunun altında sabitlenmiş sabit taban ve çarpışma kutusundan oluşmaktadır. Çarpışma kutuları 2 boyutlu elemanlarla modellenmiştir. Çarpışma kutularında ortalama eleman boyutu 1,2 mm olarak belirlenmiştir. Çarpışma kutusunun kendi içinde temasını tanımlamak için Type7 kontak tanımlaması uygulanmıştır. Sonlu elemanlar analizleri,

hareketli duvar 120 mm düşey yönde hareket edecek şekilde yapılmıştır. Çelik ve alüminyum çarpışma kutuları için Mat36, magnezyum için ise Mat66 malzeme kartları tanımlanmıştır. Mat36 malzeme kartı farklı gerinim oranlarındaki gerinme-gerilme eğrileri girilebildiği için seçilmiştir. Çalışmada düşük hızlarda basma analizleri yapıldığı için çelik ve alüminyum malzemelerine tek gerinim değerinde eğriler girilmiştir. Magnezyum malzemelerin çekme ve basma karakteristikleri farklı olduğunda bu malzeme için hem basma hem de çekme sonucu elde edilen gerinme-gerilme eğrilerinin tanımlanabileceği Mat66 malzeme kartı kullanılmıştır. Ayrıca magnezyum malzemeler basma esnasında yırtılma ve kırılmalara maruz kaldığı için Jonhson-Cook hasar kriteri tanımlanmıştır.



Şekil 2. Çarpışma kutusu simülasyon modeli

Çarpışma kutuları için kullanılan çift fazlı yüksek mukavemetli DP600 çeliği, AA6061-O alüminyum alaşımı ve AZ31B magnezyum alaşımlarının gerçek gerilme-gerinme eğrileri Şekil 3'te verilmiştir. AZ31B çeliğinin çekme ve basma durumlarındaki eğrileri farklı olduğu için her iki durumun gerinme-gerilme eğriside verilmiştir. Malzemelerin mekanik diğer mekanik özellikleri ise Çizelge 1'de verilmiştir.



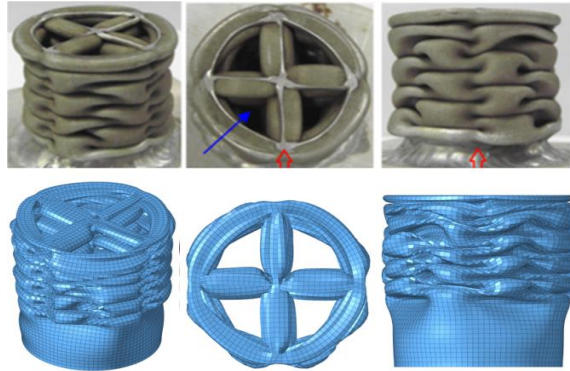
Şekil 3. AA6061-O [17], AZ31B [18] ve DP600 [19] malzemeleri gerçek gerilim-gerinme eğrileri

Çizelge 1. Malzemelerin özellikleri

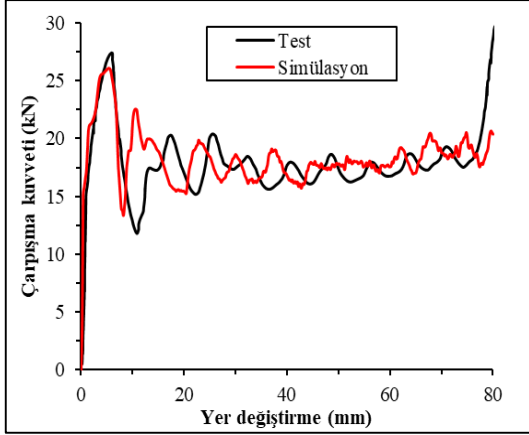
	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson oranı	Yoğunluk (g/cm ³)
AA6061-O	68	0,33	2,70
AZ31B	44,8	0,35	1,77
DP600	210	0,3	8,00

2.4. Sonlu Elemanlar Modeli Doğrulama

Sonlu elemanlar yöntemi ile çarpışma kutularının performanslarını incelemek için oluşturulan sonlu elemanlar modelinin doğrulanması karşılaştırmaların sağlığı açısından çok önemlidir. Bu nedenle tasarımların karşılaştırılmasında önce sonlu elemanlar modellerinin doğrulanması yapılmıştır. Magnezyum, DP600 ve AA6061-O'dan farklı karakteristiğe sahip olduğu için iki farklı doğrulama yapılmıştır. İlk doğrulama için AA6061-O malzemeden yapılmış literatürde bulunan dairesel dört hücreli yapı üzerinden gerçekleştirilmiştir [17]. Doğrulama Zhang ve Zhang [17]'in literatürde yaptığı test ile aynı boyutlar ve 0,5 mm/s'lik sabit hızda basma şartlarında yapılan sonlu elemanlar basma analizi ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuç ile sonlu elemanlar analizi (SEA) sonucu oluşan katlanma modları Şekil 4'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde SEA ile elde edilen katlanma modlarının deneysel katlanma modları ile çok benzeştiği görülmektedir. Şekil 5'te deneysel test [17] ile sonlu elemanlar analizi ile elde edilen kuvvet yer değiştirme eğrileri verilmiştir. Her iki eğri kıyaslandığında dalgalanmaların ve değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

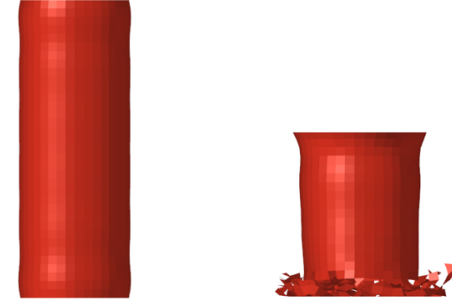


Şekil 4. Dairesel dört hücreli yapının deneysel [17] ve sonlu elemanlar modeli katlanma modları

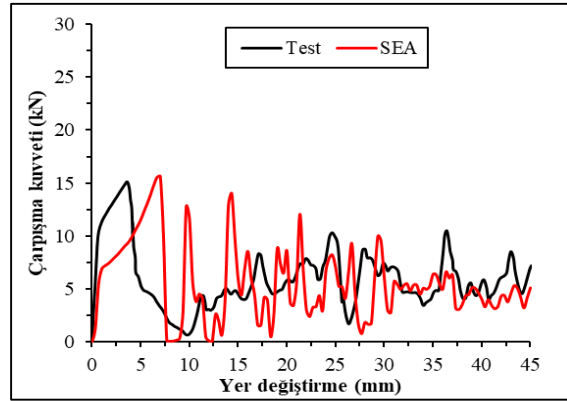


Şekil 5. Dairesel dört hücreli yapının deneysel [17] ve sonlu elemanlar modeli kuvvet yer değiştirme eğrileri

İkinci doğrulama çalışması ise Wang ve Gao [20] tarafından literatüre sunulan AZ31B malzemeden yapılmış dairesel bir yapı üzerinden gerçekleştirilmiştir. 1,00 mm et kalınlığına sahip 24 mm çapında ve 70 mm uzunluğundaki AZ31B malzemeden üretilmiş dairesel yapının literatür [20] ile aynı şartlarda olacak şekilde sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen katlanma modları ve kuvvet yer değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Analiz sonucu elde edilen katlanma modlarının test verileri ile uyduğu görülmektedir. Analiz sonuçları ile test sonuçları ile benzer kopmalarında meydana geldiği görülmektedir. Benzer şekilde analiz sonucu elde edilen kuvvet yer değiştirme eğrisi ile test sonucunda elde edilen eğri benzer karakteristiğe sahiptir.



Şekil 6. AZ31B malzemeden yapılmış dairesel yapının deneysel [20] ve sonlu elemanlar modeli katlanma modları



Şekil 7. AZ31B malzemeden yapılmış dairesel yapının deneysel [20] ve sonlu elemanlar modeli kuvvet yer değiştirme eğrileri

Her iki yapı içinde deneysel ve sonlu elemanlar analizleriyle elde edilmiş sayısal değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. En büyük çarpışma kuvveti (EÇK) ve ortalama çarpışma kuvveti (OÇK) sonuçları incelendiğinde en büyük hatanın % 8,82 olduğu görülmektedir. Göreceli hatanın % 10 içinde olduğu görülmektedir ki bu da mühendislik problemlerinde yeterli kabul edilmektedir [21].

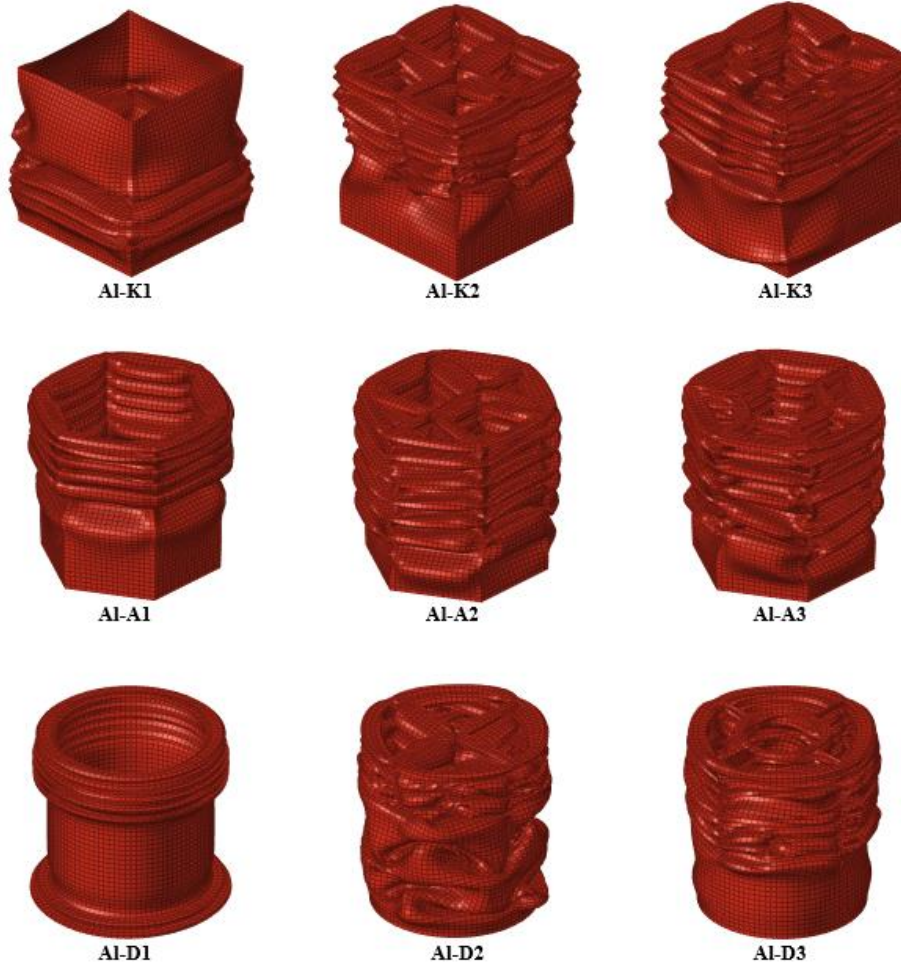
Çizelge 2. Dairesel dört hücreli yapı [17] ve AZ31B den dairesel yapının [20] test ve sonlu elemanlar modellerinin sayısal değerlerinin karşılaştırılması

		Test	SEA	Hata (%)
AA6061-O [17]	EÇK (kN)	27,30	26,12	4,31
	OÇK (kN)	17,64	18,33	3,90
AZ31B [20]	EÇK (kN)	15,29	15,66	2,42
	OÇK (kN)	6,12	5,58	8,82

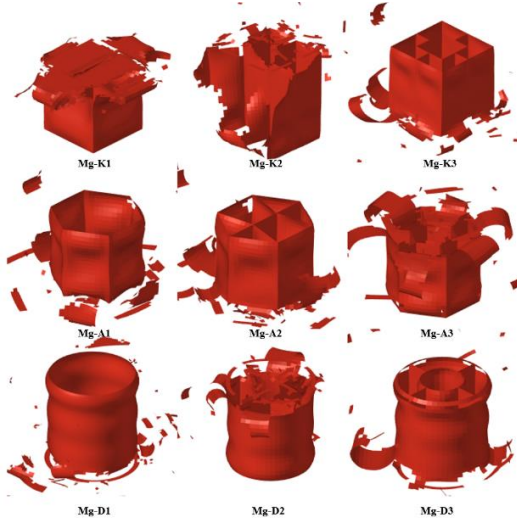
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kare, altıgen ve daire temel kesitlerinden elde edilen dokuz farklı çarpışma kutusunun AA6061-O, AZ61B ve DP600 malzemelerle oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin analiz sonuçları bu kısımda incelenecektir. AA6061-O, AZ31B ve DP600 malzemeleri için çarpışma kutularının katlanma modları sırasıyla Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Katlanmanın şekli ve sayısı çarpışma performansını önemli ölçüde etkilemektedir. AZ31B malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutuları diğerlerinden ayrılmaktadır. Çünkü bu malzeme ile yapılan çarpışma kutuları

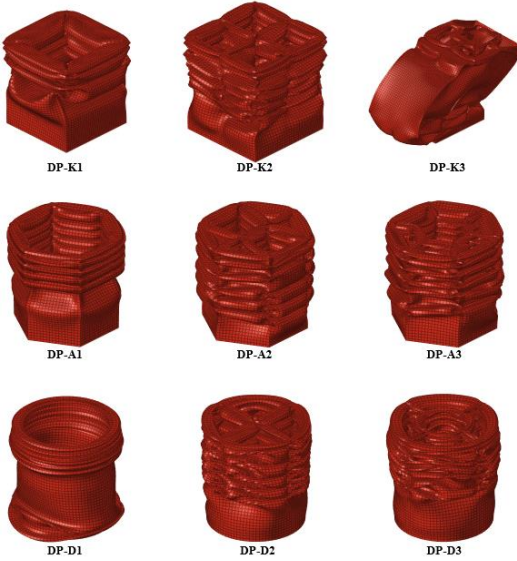
yırtılmalara maruz kaldığı için katlanma meydana gelmemektedir. Bir miktar basma gerçekleştikten sonra bütün tüplerde yırtılmalar görülmektedir. Diğer malzemeler ile tasarlanan çarpışma kutularının katlanma modları incelendiğinde altıgen yapıların kare ve dairesel yapılara göre daha düzgün katlanmalar yaptığı görülmektedir. Tek hücreli kare kesitli çarpışma kutuları daha uzun katlanma formlarına sahiptir. Enerji sönümleyici yapılarda uzun katlanma şekilleri çarpışma performansı düşürürken, kademeli düzgün katlanma modları enerji sönümleme performansını artırır [22]. Çarpışma kutusunun hücre sayısının artmasıyla katlanmanın modlarını DP-K3 modeli hariç genel olarak kademeli hale getirmiştir.



Şekil 8. AA6061-O malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularının katlanma modları



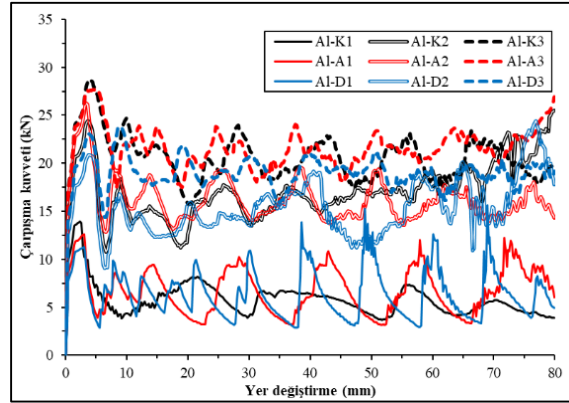
Şekil 9. AZ31B malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularının katlanma modları



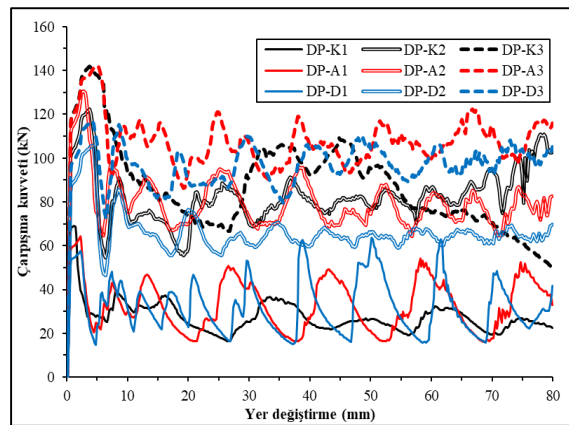
Şekil 10. DP600 malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularının katlanma modları

AA6061-O, AZ31B ve DP600 malzemeleri ile modellenmiş çarpışma kutularının sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan kuvvet yer değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir. AZ31B ile tasarlanan çarpışma kutularının yırtılmaları dolayısıyla

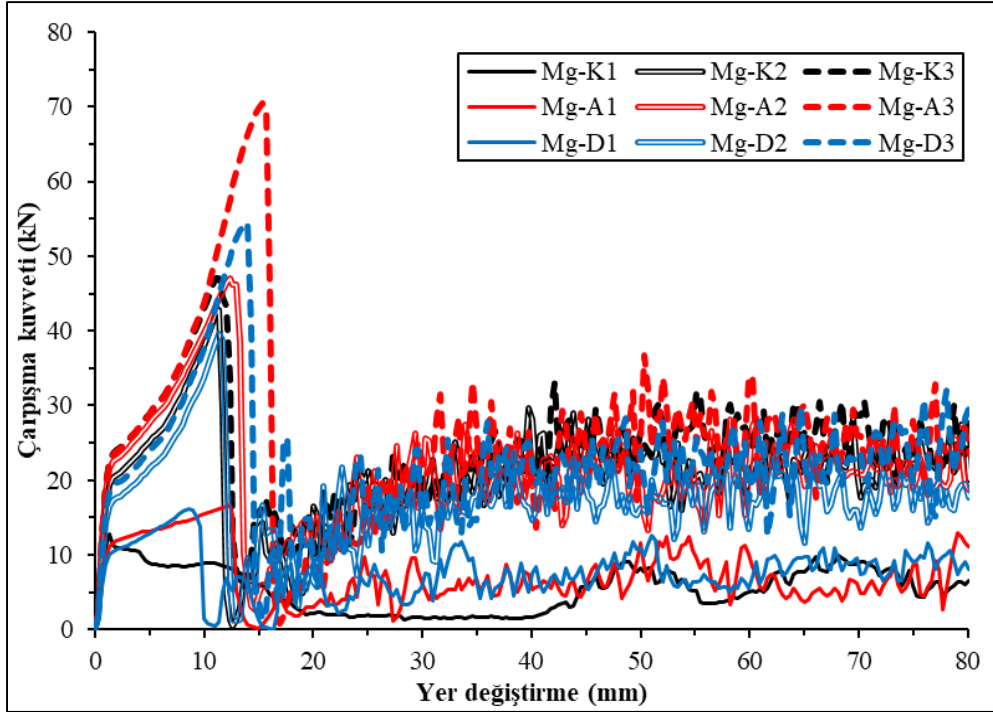
kuvvet yer değiştirme eğrileri diğer malzemeler ile tasarlanan tüplerden farklılık göstermiştir. Bu yapılarda ilk bir tepe noktasına ulaşılmış sonrasında ise ani düşüşler meydana gelmiştir. Devamında ise yırtılmalara bağlı olarak sık dalgalanmalar görülmektedir. Tek hücreli yapılarda tepe kuvveti daha düşükken çok hücreli yapılarda daha yüksek görülmektedir. Diğer malzeme ile tasarlanan tüplerde ise genel olarak hücre sayısının artması ile kuvvet grafiği daha yukarıya taşınmıştır. Böylece yapıların enerji sönümleme miktarları da artmaktadır. Ayrıca hücre sayısının artmasıyla dalga sayısı artmış ve dalga boyları kısalmıştır. Böylece bu yapıların enerji sönümleme kapasiteleri de artmıştır.



Şekil 11. AA6061-O malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularının kuvvet yer değiştirme eğrileri



Şekil 12. AZ31B malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularının kuvvet yer değiştirme eğrileri

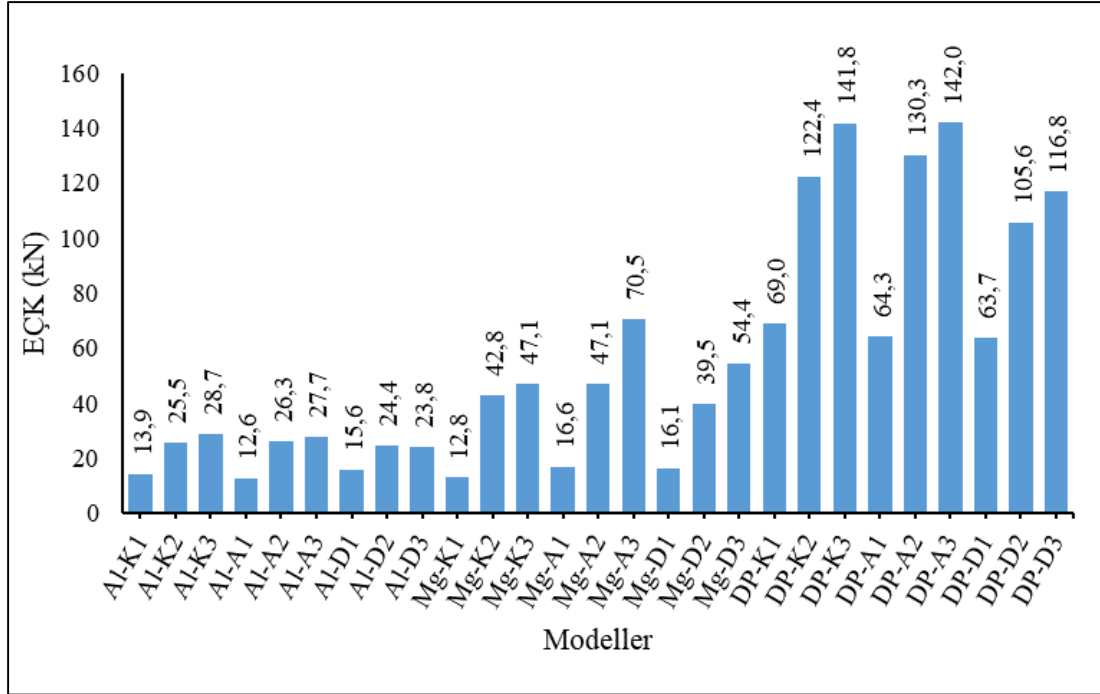


Şekil 13. DP600 malzeme ile tasarlanmış çarpışma kutularının kuvvet yer değiştirme eğrileri

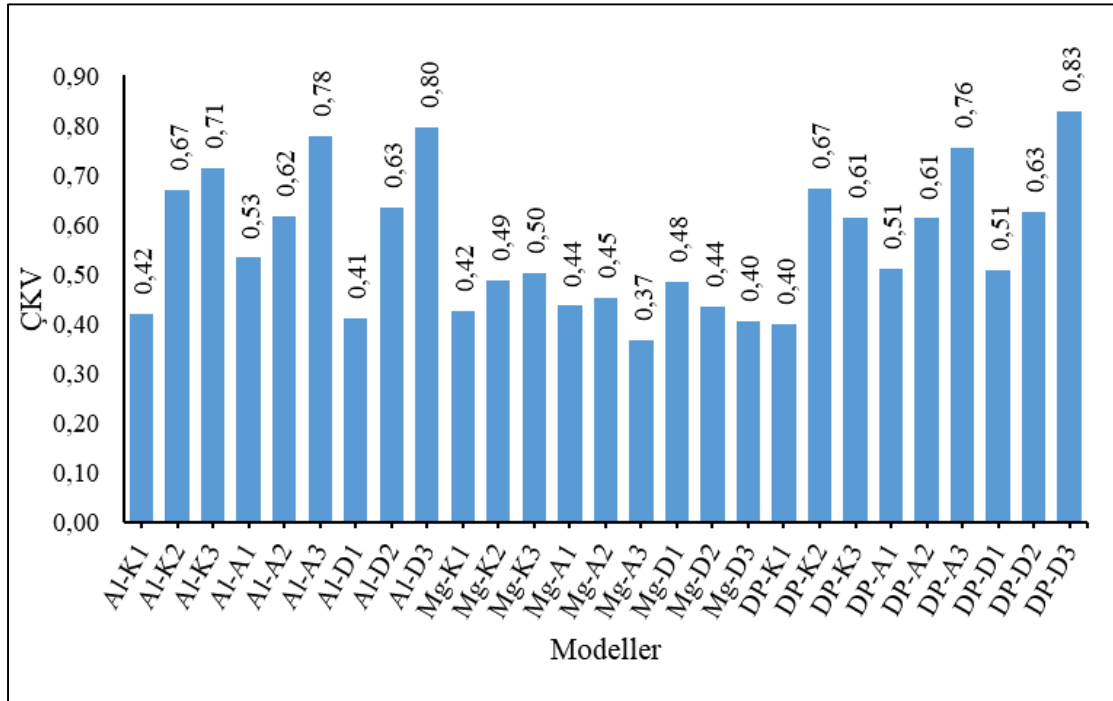
Çarpışma kutularını kıyaslamak için belirlenen ve sonlu elemanlar analizleri sonucu elde edilen en büyük çarpışma kuvveti (EÇK), çarpışma kuvveti verimi (ÇKV) ve özgül enerji sönümleme kapasitesi (ÖES) değerleri sırasıyla Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. İyi bir enerji sönümleyici performansına sahip olması beklenen çarpışma kutularından düşük EÇK ve yüksek ÇKV ve ÖES değerleri beklenir. Çünkü EÇK değeri direkt olarak kaza esnasında oluşan hasar veya yaralanmanın büyüklüğüyle alakalıdır. Büyük EÇK değerlerinde hasar ve yaralanmalarda büyük olur bu nedenle daha küçük EÇK değerleri istenir. ÇKV ve ÖES değerleri ise enerji sönümleme kabiliyetini gösterdiği için mümkün olduğunda büyük olmaları beklenir.

Modellerin EÇK değerleri incelendiğinde en büyük değerlerin DP600 malzemelerde olduğu görülmektedir. Bu durum DP600 malzemesinin diğer malzemelere göre daha yüksek gerilme-gerinme eğrisine sahip olmasıyla açıklanabilir. Ayrıca çok hücreli yapılarda az hücreli yapılara göre daha büyük EÇK değerleri görülmektedir.

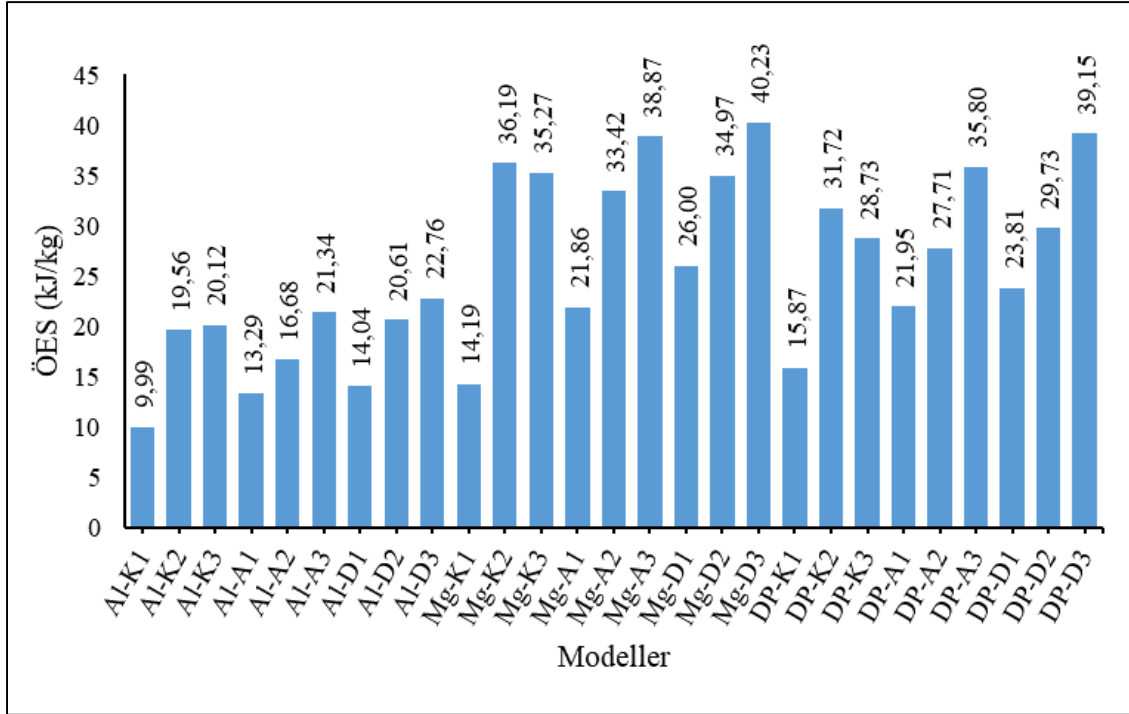
Enerji sönümleyicinin kuvvet verimini veren ÇKV parametresi incelendiğinde ise çok hücreli yapıların daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. AZ31B den tasarlanan yapılarda ise yırtılmaların dolaylı olarak en küçük ÇKV değerleri görülmektedir. En yüksek ÇKV değerleri sırasıyla DP-D3, Al-D3 ve Al-A3 de görülmektedir. Buradan çok hücreli dairesel yapının diğer yapılara göre daha iyi kuvvet verimine sahip olduğu söylenebilir. Birim kütle başına sönümlenen enerjiyi veren ÖES incelendiğinde ise yırtılmalara maruz kalmasına rağmen en yüksek değerlere magnezyum alaşımlarda ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum magnezyum alaşımın kütle başına oranla daha yüksek enerji sönümlediğini göstermektedir. ÇKV değerinde olduğu gibi ÖES değerlerinde de çok hücreli yapılar az hücreli yapılara göre daha iyi sonuç vermiştir. En yüksek ÖES değerlerini sırasıyla Mg-D3, DP-D3 ve Mg-A3 vermiştir. Buradan AZ31B ile tasarlanan çok hücreli yapıların yırtılmalara maruz kalmasına rağmen düşük yoğunluğu nedeniyle diğer alternatiflere göre birim kütle başına daha yüksek enerji sönümlediği görülmektedir.



Şekil 14. Çarpışma kutularının EÇK değerleri



Şekil 15. Çarpışma kutularının ÇKV değerleri



Şekil 16. Çarpışma kutularının ÖES değerleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada çift fazlı yüksek mukavemetli DP600 çeliği, AA6061-O alüminyum alaşımı ve AZ31B magnezyum alaşımları kullanılarak farklı sayıda hücreye sahip dokuz farklı çarpışma kutusunun çarpışma performansları incelenmiştir. Çarpışma performansları 0,5 mm/s'lik sabit hızda basma şartlarında yapılan sonlu elemanlar ile incelenmiştir. Sonlu elemanlar modeli literatürde yer alan deneysel testler ile doğrulanmıştır. Çarpışma kutularının performansları literatürde en çok kullanılan çarpışma parametreleri olan çarpışma süresince edilen en büyük çarpışma kuvveti (EÇK), çarpışma kuvveti verimi (ÇKV) ve özgül enerji sönmüleme kapasitesi (ÖES) üzerinden yapılmıştır. Çalışmada elde edilen çıktılar şöyledir:

1. Çok hücreli yapıların EÇK, ÇKV ve ÖES değerleri tek hücreli yapılara göre daha yüksek olmaktadır.

2. Çok hücreli yapıların kuvvet yer değiştirme eğrileri daha kısa ve daha fazla dalgayla sahiptir.
3. AZ31B ile tasarlanan çarpışma kutularında basmanın hemen başlarında yırtılma görülmesinden dolayı ÇKV değerleri diğer tüplere göre daha düşüktür.
4. AZ31B ile tasarlanan çarpışma kutularında yırtılma görülmesine rağmen düşük yoğunlukları nedeniyle yüksek ÖES değerleri görülmektedir.
5. En yüksek ÖES değerlerini sırasıyla Mg-D3, DP-D3 ve Mg-A3 çarpışma kutuları vermiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Abramowicz, W., Jones, N., 1984. Dynamic Axial Crushing of Square Tubes, International Journal of Impact Engineering, 2(2), 179-208.
2. Langseth, M., Hopperstad, O.S., Berstad, T., 1999. Crashworthiness of Aluminium Extrusions: Validation of Numerical Simulation, Effect of Mass Ratio and Impact Velocity, International Journal of Impact Engineering, 22(9-10), 829-854.

3. Rossi, A., Fawaz, Z., Behdian, K., 2005. Numerical Simulation of the Axial Collapse of Thin-walled Polygonal Section Tubes. *Thin-walled Structures*, 43(10), 1646-1661.
4. Hou, S., Li, Q., Long, S., Yang, X., Li, W., 2007. Design Optimization of Regular Hexagonal Thin-walled Columns with Crashworthiness Criteria, *Finite Elements in Analysis and Design*, 43(6-7), 555-565.
5. Guillow, S.R., Lu, G., Grzebieta, R.H., 2001. Quasi-static Axial Compression of Thin-walled Circular Aluminium Tubes, *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(9), 2103-2123.
6. Zarei, H.R., Kröger, M., 2006. Multiobjective Crashworthiness Optimization of Circular Aluminum Tubes, *Thin-walled Structures*, 44(3), 301-308.
7. Tarlochan, F., Samer, F., Hamouda, A.M.S., Ramesh, S., Khalid, K., 2013. Design of Thin Wall Structures for Energy Absorption Applications: Enhancement of Crashworthiness Due to Axial and Oblique Impact Forces, *Thin-walled Structures*, 71, 7-17.
8. Yamashita, M., Gotoh, M., Sawairi, Y., 2003. Axial Crush of Hollow Cylindrical Structures with Various Polygonal Cross-sections: Numerical Simulation and Experiment, *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 59-64.
9. Zhang, X., Zhang, H., 2013. Energy Absorption of Multi-cell Stub Columns Under Axial Compression, *Thin-Walled Structures*, 68, 156-163.
10. Huang, H., Xu, S., 2019. Crashworthiness Analysis and Bionic Design of Multi-cell Tubes Under Axial and Oblique Impact Loads, *Thin-walled Structures*, 144, 106333.
11. Qiu, N., Gao, Y., Fang, J., Feng, Z., Sun, G., Li, Q., 2015. Crashworthiness Analysis and Design of Multi-cell Hexagonal Columns Under Multiple Loading Cases, *Finite Elements in Analysis and Design*, 104, 89-101.
12. Çavuşoğlu, O., Gürün, H., 2014. Deformasyon Hızının DP600 ve DP780 Sac Malzemelerin Mekanik Özelliklerine ve Derin Çekme İşlemine Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(4), 777-784.
13. Demirci, E., Yıldız, A.R., 2018. An Investigation on the Crash Performance of Magnesium, Aluminum and Advanced High Strength Steels and Different Cross-sections for Vehicle Thin-walled Energy Absorbers, *Materials Testing*, 60(7-8), 661-668.
14. Kurtuluş, E., Tekin, G., 2021. Conversion of Aluminum Front Bumper System to Magnesium Material by Using Design of Experiment Method, *International Journal of Automotive Science and Technology*, 5(1), 34-42.
15. Albak, E.İ., 2020. Effects of Sections Added to Multi-cell Square Tubes on Crash Performance, *Materials Testing*, 62(5), 471-480.
16. Altair Hyperworks, 2019. Radioss user guide.
17. Zhang, X., Zhang, H., 2014. Axial Crushing of Circular Multi-cell Columns, *International Journal of Impact Engineering*, 65, 110-125.
18. Steglich, D., Bohlen, J., Tian, X., Riekehr, S., Kashaev, N., Bargmann, S., Letzig, D., Kainer, K.U., Huber, N., 2013. Crashworthiness of Magnesium Sheet Structures, In *Materials Science Forum*, 765, 590-594.
19. Xu, F., Sun, G., Li, G., Li, Q., 2014. Experimental Study on Crashworthiness of Tailor-welded Blank (TWB) Thin-walled High-strength Steel (HSS) Tubular Structures, *Thin-walled Structures*, 74, 12-27.
20. Wang, S., Gao, G., 2018. Performance of Extruded Magnesium Alloy AZ31B Circular Tubes Under Uniaxial Compression, *Thin-walled Structures*, 131, 464-474.
21. Shu, C., Zhao, S., Hou, S., 2018. Crashworthiness Analysis of Two-layered Corrugated Sandwich Panels Under Crushing Loading, *Thin-walled Structures*, 133, 42-51.
22. Sun, G., Pang, T., Fang, J., Li, G., Li, Q., 2017. Parameterization of Criss-cross Configurations for Multiobjective Crashworthiness Optimization, *International Journal of Mechanical Sciences*, 124, 145-157.

Ereğli-Ulukışla Arası Demiryolu Hattındaki Derin Kazı Şevlerinin Duraylılık İncelemesi

Selahattin YAPRAK¹, Sedat TÜRKMEN*²

¹Devlet Demiryolları 6. Bölge Müdürlüğü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 27.04.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Çalışma, Devlet Demiryolları tarafından yapımı sürdürülen Ereğli-Ulukışla demiryolu güzergâhında Çakmak - Ulukışla İstasyonları arasında yer alan 9 km'lik güzergahtaki derin kazı çalışmalarını ve bu kazılardan dolayı oluşabilecek duraylılık sorunlarının araştırılmasını amaçlamaktadır. İnceleme alanında yer alan litolojik birimler, literatürde İnsuyu ve Cihanbeyli formasyonu olarak adlandırılan Pliyosen yaşlı karasal çökeltilerden meydana gelmektedir. Bu litolojik birimler başta silttaşı-marn-kiltaşı ardalanmasından oluşmakta, yüzeyde ise ayrışmadan dolayı kalın kil ve silt bir örtü yer almaktadır. Proje kriterlerine göre kazı şevlerinin durağan durumda güvenlik sayısı >1,50 ve depremlilik durumda ise güvenlik sayısı >1,10 koşullarını sağlaması öngörülmüştür. Çalışma alanındaki en derin kazının olduğu 3 farklı bölgede 2/3 (yatay/düşey) eğimli şevlerin yapılan duraylılık analizlerinde hem durağan durumda hem de deprem durumunda proje koşullarını sağlamadığı saptanmıştır. Aynı şevlerin, şev açıları 1/1 (yatay/düşey) ve 3/2 (yatay/düşey) olarak değiştirildiğinde yapılan analizlerinde duraylılık koşulunu sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ereğli, Ulukışla, Demiryolu, Derin kazı, Şev duraylılığı

Investigation of Stability of Deep Excavation Slopes in Ereğli-Ulukışla Railway Line

Abstract

This study aims to investigate stability problems that may occur due to deep excavations on the 9 km route between Çakmak-Ulukışla Stations on the railway route between Ereğli-Ulukışla, which is under construction by the State Railways. The lithological units, where the study area is located, consist of Pliocene aged terrestrial sediments, which are called İnsuyu and Cihanbeyli formations in the literature. These lithological units consist mainly of siltstone-marl-clay stone alternation, and on the surface there is a thick clay and silt cover due to weathering. According to the project criteria, it is envisaged that the cut slopes will meet the conditions of safety factor >1.50 in the static condition and of safety factor >1.10 in the earthquake condition. In the stability analyses conducted in 3 different regions which were the deepest excavations in the study area, in cut slopes with a slope of 2(horizontal): 3(vertical) the safety factor required was not met in both static and earthquake conditions. When the slope angles of the same cut slopes are improved to 1/1 (horizontal/vertical) and 3/2 (horizontal/vertical), the stability analysis shows that the cut slopes are stable.

Keywords: Ereğli, Ulukışla, Railway, Deep Excavation, Slope stability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sedat TÜRKMEN, sturkmen@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çalışmanın amacı, Devlet Demiryolları tarafından yapımı sürdürülen Çakmak-Ulukışla İstasyonları Km:217+000-226+000 arasında yer alan demiryolu güzergâhında derin yarma kazılarında dolayı oluşabilecek duraylılık sorunlarının araştırılmasıdır. Proje, Karaman İli ile Niğde İli Ulukışla İlçesi'ni birbirine bağlayan 200 km/saat ile hizmet verecek ve karayolu taşımacılığıyla yaklaşık 2,5 saat süren yol mesafesini 40 dakikaya indirecek hızlı tren projesidir. Proje, İç Anadolu'yu Akdeniz ve Mersin limanlarına bağlayarak daha önce Devlet Demiryolları tarafından yapılan Karaman-Konya-Ankara-Eskişehir-İstanbul yüksek hızlı tren hatları ile de entegre olacaktır (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. Yer bulduru haritası



Şekil 2. İnceleme alanının uçuş görüntüsü

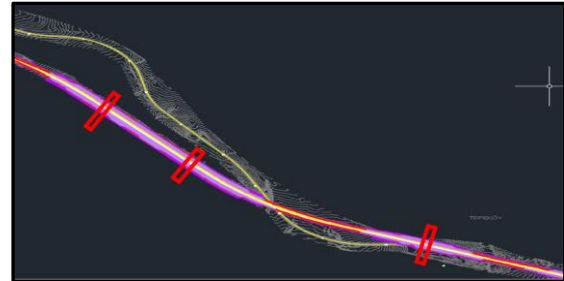
Akdeniz üzerinden Mersin Limanına gelen yük taşımacılığının İç Anadolu Bölgesi'ne aktarılmasında karayolu taşımacılığının yükünü büyük ölçüde azaltacak ve yolcu taşımacılığında daha konforlu ve güvenli bir ulaşım imkânı sunacaktır. Karaman-Ulukışla hızlı tren projesi altyapı ve üstyapım işi toplam 2x130 km uzunluğunda demiryolu projesidir. Projenin Çakmak ve Ulukışla İstasyonları arasındaki kısım yaklaşık 11 km'dir. Çakmak ve Ulukışla istasyonları arasındaki bu kesimde derin kazı alanları mevcuttur. Bu çalışmada yer alan derin kazı şevlerinin kazı eğimlerinin belirlenmesine yönelik Mühendislik Jeolojisi özelliklerinin değerlendirilmesi ve derin kazı şevlerinin duraylılığının incelenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

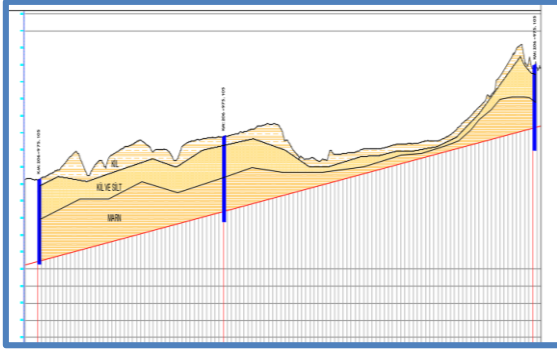
2.1. Materyal

Çalışılan bölgede daha önce yapılan bilimsel araştırmalar, arazi harita işleri, sondajlar, araştırma çukurları, laboratuvar deneyleri incelemenin materyalini oluşturmaktadır [1-3].

Çalışma bölgesindeki litolojik birimler incelendiğinde başta silttaşı-marn-kiltaşı ardalılarından oluşan Üst Miyosen -Pliyosen yaşlı karasal çökeltiler ile yüzeyde oluşan ayrışma ürünü kalın kil ve silt bir örtünün hakim olduğu gözlenir. Km: 217+000-226+000 arası derin yarma bölgelerinde formasyonların ve tabakaların benzerlik göstermesinden dolayı 3 farklı kritik kesit noktası belirlenmiş ve bu 3 farklı kritik kesitin duraylılık analizleri yapılmıştır, (Şekil 3-4).



Şekil 3. Km:217+600-220+000 arası derin kazı güzergâhı yerleşim planı



Şekil 4. Km: 217+600-220+000 arası derin kazı güzergahı jeolojik kesiti

Projede yaklaşık 11 km uzunluğundaki güzergahta kazı derinlikleri 25m-40 m arasında değişmektedir. Derin kazı şevlerinde duraylılık için değişik destekleme yöntemleri uygulanabilmektedir. Bu yöntemler, fore kazık, istinat duvarı, şevleri çelik hasır ve betonla kaplama, taş pere kaplama, zemin çivileri, şev açılarını değiştirme, bir veya birden fazla palyeli kazı gibi farklı seçenekler olarak sıralanabilir. Bu amaçla projelerde jeolojik-jeoteknik koşullar, maliyet ve imalat kolaylığı göz önüne alınarak en uygun yöntem seçilmelidir.

2.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

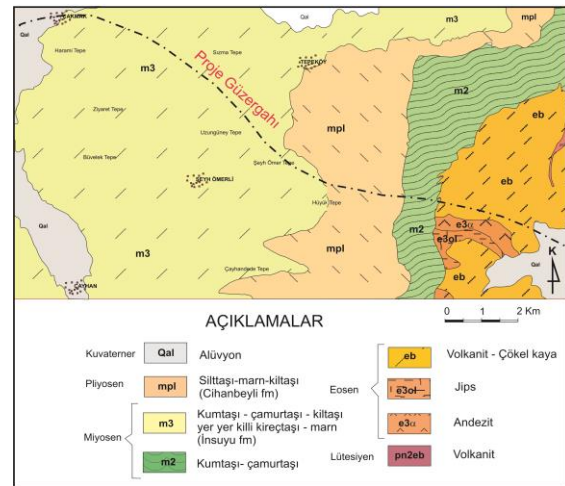
Ereğli-Ulukışla Havzası'nın doğu sınırını Aladağlar ve Ecemiş fayı, batı sınırını Bor hattında görülen Niğde masifi, güney sınırını ise Bolkar dağları oluşturmaktadır [1,4].

Bölge, Tersiyer başında, içinde volkanik bir ada yayının gelişmekte olduğu kapanan bir okyanus durumundadır. Kapanma, kuzeyden güneye ilerleyen Kıta-Ada yayı-Kıta çarpışması şeklinde gelişmiştir [5,6].

Bölgenin okyanusal niteliği Lütisiyen sonlarında sona ermiş ve Üst Eosen-Alt Miyosen zaman süreci içinde gelişen çukurlarda önce evaporitik, sonra tatlı su ve karasal kırıntılar depolanmıştır. Orta Miyosen'de bölge orojenik hareketlerle yeniden şekillenmiştir. Yörede Üst Miyosen-Pliyosen'de düşey hareketler ve iklim değişmesi ile akarsu-göl koşullarında yeni bir tortul devre gelişmiştir. Bu evrede kırıntılı ve karbonatlı

sedimanlar çökelmiştir (Şekil 5). Birimler, Pliyosen sonlarında etkin düşey hareketlere bağlı olarak kuzeybatıya doğru eğilme ve açık kıvrım oluşturacak şekilde çok hafif bir deformasyon geçirmişlerdir [7].

İnceleme alanındaki Neojen birimler değişik araştırmacılar tarafından farklı formasyon adları ile tanımlanmıştır [6-9]. Bu çalışmada inceleme alanında yaygın olan Miyosen-Pliyosen yaşlı birimler İnsuyu formasyonu [10] ve Pliyosen yaşlı Cihanbeyli formasyonu tanımları uygun görülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası [11]

İnsuyu Formasyonu:

Bu formasyon güzergah boyunca 3 üye ile temsil edilmektedir. Bunlar;

- Beştepeler Üyesi: Killi kireçtaşı, çakıltaşı, şeyl
- Katrandetepe Üyesi: Marn, kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı
- Kızılbayır Üyesi: Çakıllı kil, kumtaşı, çakıltaşı, marn, kireçtaşı, şeyl.

Bu birim, Çakmak istasyonundan sonra başlayan derin yarma bölgesinin güneyine doğru Tepeköy Mahallesi ile Ulukışla arasında mostra vermekte olup, ayrıca güzergahın devamında Ulukışla İstasyonu civarı Km: 216+000-230+000 arasında da gözlemlenmektedir. Genel olarak masif

görünümü olan birim, Tepeköy civarında ise yer yer tabakalı bir yapı sunar. Birimin en belirgin gözlemlendiği alanlar Tepeköy Mahallesi civarındadır. Formasyon içerisindeki farklı kayaların dayanım özellikleri genel olarak düşük ve orta derecededir.

Cihanbeyli Formasyonu:

Ereğli-Ulukışla havzası ile Tuz Gölü havzası'nın birimleri üzerinde geniş bir yayılım gösteren formasyonu Cihanbeyli Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu litolojik birimler başta silttaşı - marn - kiltası ardalanmasından oluşmakta, yüzeyde ise ayrışmadan dolayı kalın kil ve silt bir örtü yer almaktadır [7]. Formasyon Pliyosen yaşlı olup, karasal kırıntılardan meydana gelmektedir. Formasyon içinde marn ve kiltası tabakalarında ekonomik değeri olmayan linyit damarları görülmektedir [7]. Formasyondaki büyük ölçekli çapraz katmanlanma ile kırıntılardaki merceklenmeler akarsu ortamını, kireçtaşı ile bitümlü marnlar ise görsel bir ortamın varlığını işaret etmektedir [8]. Bazı araştırmacılar bu birimi Altaylar, Ulukışla, Beştepeler adı altında adlandırmışlardır [6].

Alüvyon:

Çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyon sığ olup, dere yataklarında izlenir. Ayrıca gevşek çimentolu veya çimentosuz yuvarlak taneli farklı birimlere ait çakıllar içeren çakiltası-kumtaşlarından meydana gelen taraça bulunmaktadır.

2.3. Metod

İnceleme; arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışması kapsamında; TCDD Yolları tarafından proje çalışmalarında hazırlanan raporlar ve jeoteknik amaçla yapılan sondajlardan ve laboratuvar deneylerinden yararlanılmıştır [2,3].

Kayma yüzeyinin stabilite analizlerinde Bishop, Janbu, Spencer, Sarma, Morgenstern - Price (GLE) vb. gibi yaygın limit denge metodları bulunmaktadır. Bu metodlarla Slide 2D yazılımı yardımıyla kaya ve/veya zeminden oluşan şevlerde

güvenlik faktörü hesabı, dairesel ve dairesel olmayan yenilme yüzeylerin tespiti yapılabilmektedir. İnceleme alanı ve çevresinde yapılan kazı şevlerinde gözlenen kaymaların, ayrışmaya bağlı olarak dairesel şekilde geliştiği gözlenmiştir (Şekil 6,7). Bu gözleme dayalı olarak analizler, dairesel kayma olacak şekilde düşünülmüştür.



Şekil 6. Çalışma alanında izlenen dairesel kayma örnekleri



Şekil 7. Çalışma alanında izlenen dairesel kayma örnekleri

Limit denge analiz metodu, dairesel kayan bir kütlelen dilimlere ayrılarak hesap edilmesine dayanmaktadır [12,13]. İki boyutta limit denge analizlerinin uygulandığı bu metod, zaman içinde bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gelişerek daha kullanılabilir hale gelmiştir [14-17]. Bu yöntemde kritik kayma dairesine ait şevde güvenlik katsayısı (GK), yerinde tutucu kuvvetlerin, şevi kaydırmaya çalışan kuvvetlere bölünmesi ile elde edilir. Basitleştirilmiş Bishop Yönteminde, şevlerin duraylılığı limit denge eşitliğine dayanan dilimler yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde potansiyel yenilme yüzeyi merkezi "O" olan, yarıçapı r olan bir daire parçası olarak kabul edilir. Daire merkezine göre

moment denge koşullarında güvenlik katsayısının hesaplanma prensibini göz önüne alır. Güvenlik katsayısının 1 veya 1'den büyük olduğu durumlarda ($GK \geq 1$), şevin dengede olduğu (stabil olduğu) kabul edilir.

Şev duraylılık analizleri Slide 2D bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Önce incelenen şev kesitleri ve gerekli veriler yazılımlara tanıtılıp analizlere başlanmıştır. Litolojik birimlere ait kayma parametreleri ve arazi koşulları da eklenerek analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda birkaç farklı senaryo üzerinde durulmuş ve bunlara yönelik iyileştirme çalışmaları önerilmiştir. En olumsuz koşullar da dikkate alınarak durağan ve depremlili koşullara göre analizler gerçekleştirilmiştir.

Stabilite analizlerinde AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen pik yüzey ivmesi (PGA) 0.108g değerleri dikkate alınmıştır [18]. Temel zeminin kaya litolojide olması dolayısıyla birinci tasarım deprem ivmesi-OBE ve ikinci tasarım deprem ivmesi-SSE kapsamında değerlendirilmesi yapılarak etkili olacak yatay yer ivmesi değerinin 0.050g olacağı kabulü yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

Km:217+000–226+000 arası güzergah üzerinde yapılan 17 adet sondaj ve alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonrasında mühendislik jeolojisi parametreleri ortaya konmuş ve elde edilen değerler sonrasında büro çalışmaları kapsamında bilgisayar destekli yazılımlar

sayesinde duraylılık analizleri yapılmıştır. Proje kriterlerine göre [2] yarma şevlerinin statik durumda güvenlik sayısı $>1,50$ ve depremlili durumda ise güvenlik sayısı $>1,10$ koşullarını sağlaması öngörülmüştür.

Bu çalışma kapsamında en derin kazının yer aldığı 3 farklı bölgede seçilen kesit hatlarında 2/3 (yatay/düşey), 1/1 (yatay/düşey) ve 3/2 (yatay/düşey) eğimlerde kazı yapılacağı varsayılarak limit denge analizi ile duraylılık analizi yapılmıştır (Şekil 3 ve 4).

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanından alınan numuneler üzerinde laboratuvar ortamında kıvam limitleri, elek analiz, su muhtevası, üç eksenli basınç deneyi, doğal birim hacim ağırlık deneyi ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır [2,3,19].

Kil ve silt birimlerinde yapılan kıvam limitleri deneyi sonrası likit limit (LL) %28,2-67,7, plastik limit (PL) %16,3-27,1 ve plastisite indisi (PI) %15,5-40,6 aralığında bulunmuştur. Elek analizi ve atterberg limitleri deneyi sonucunda Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına Göre zemin sınıfı "CH-CL" (Yüksek Plastisiteli Kil-Düşük Plastisiteli Kil) olarak belirtilmiştir.

3.2. Sayısal Modelleme

İnceleme bölgesinde yapılan sondajlar sonrası laboratuvar deneylerinden üç eksenli basınç deneyi yapılarak, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri ortaya çıkarılmıştır. Laboratuvar deney sonuçları ile mühendislik jeolojisi değerleri elde edilmiş olup, Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Laboratuvar deneyleri sonuçları ve şev duraylılığı analizlerinde kullanılacak değerler

Litoloji	γ kuru (kN/m ³)	γ doymun (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (°)	E (kPa)	Ru
Kil	18,00	19,00	10,00	30	40x103	0,15
Marn	24,00	24,00	93,00	29	195x103	0,15
Zayıf Marn	23,00	23,00	67,00	24	95x103	0,15
Marn	23,00	23,00	77,00	26	132x103	0,15

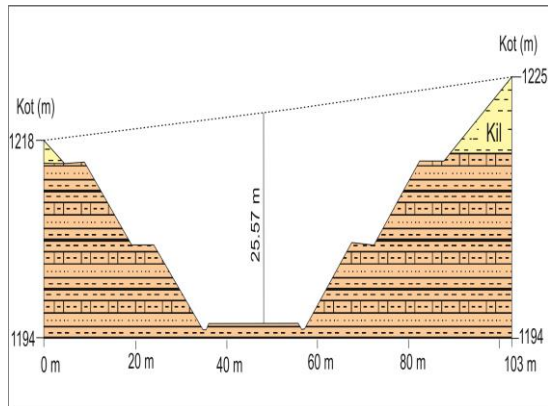
3.2.1. Şev Duraylılık Analizleri

3.2.1.1. Km:217+600 Slide 2D Şev Stabilite Analizi

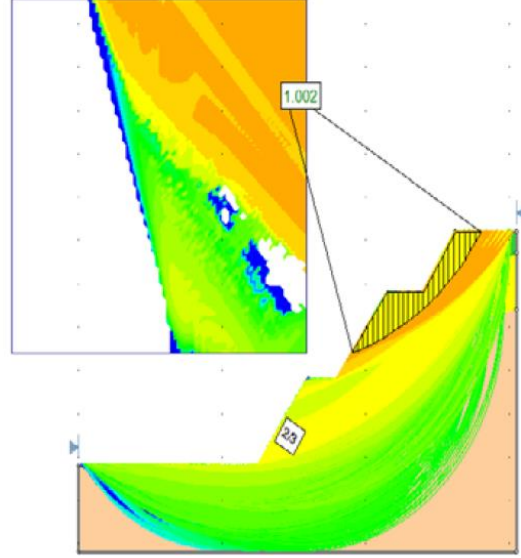
İlk çalışma bölgesinin (Km:217+600) birinci senaryosunda projenin şev eğimleri 2/3 (yatay/düşey) olarak tasarlanmış, ikinci senaryosunda ise alt palyelerin şev eğimleri 1/1 (yatay/düşey) üst palye şev eğimi ise 3/2 (yatay/düşey) olarak depremlili ve depremsiz analizler yapılmıştır.



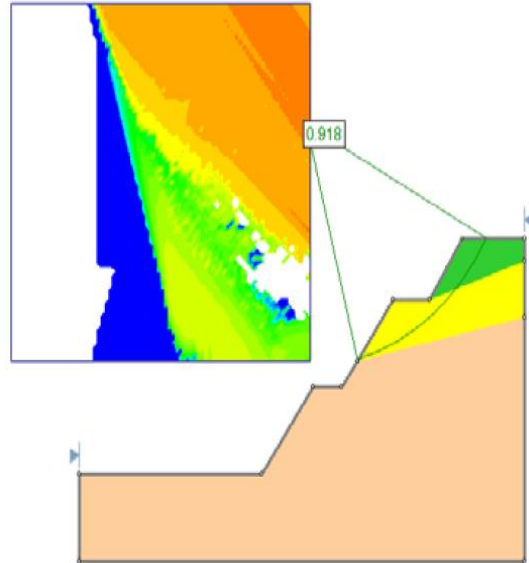
Şekil 8. Km: 217+600 kesitinde güney (sağ) şevler



Şekil 9. Km: 217+600 yan şevlerin kesiti ve tabakaların gösterimi

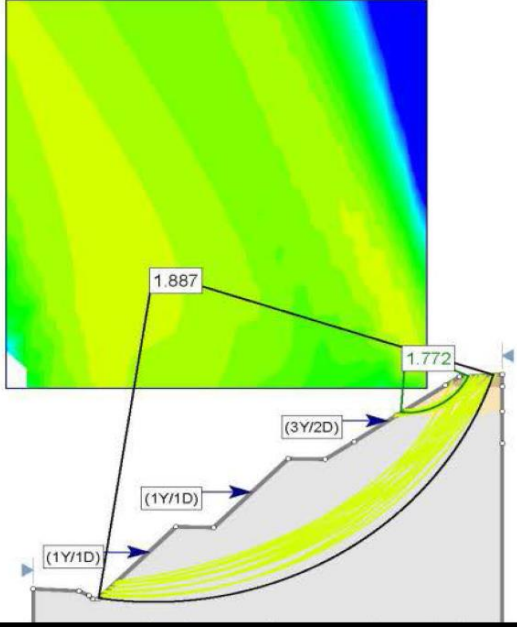


Şekil 10. Km: 217+600 kesitinde depremsiz sağ şev (2/3) için stabilite analizi (GK:1,002)

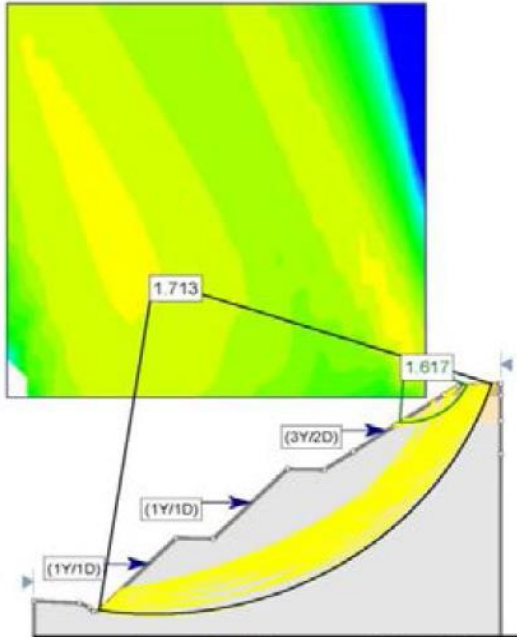


Şekil 11. Km:217+600 kesitinde depremlili sağ şev (2/3) için stabilite analizi (GK:0,918)

Uzun dönem statik durumda ve depremlili durumda 2/3 eğimli analizi tamamlanan şevlerin proje kriterlerini sağlamadığı ve şevlerin duraylı olmadığı görülmüştür.



Şekil 12. Km: 217+600 kesitinde depremsiz sağ şev (alt palyeler 1/1 üst palye 3/2) için duraylılık analizi (GK:1,77)

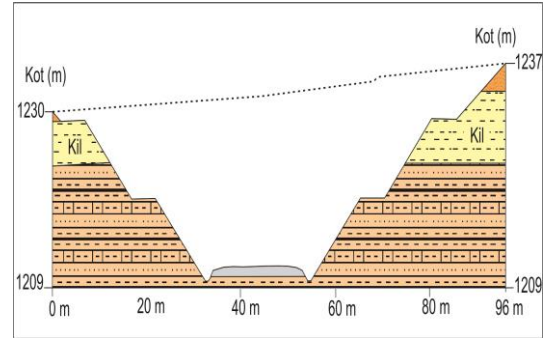


Şekil 13. Km: 217+600 kesitinde depremlı sağ şev (alt palyeler 1/1 üst palye 3/2) için duraylılık analizi (GK:1,617)

Uzun dönem statik durumda ve depremlı durumda 1/1 ve 3/2 eğimli analizi tamamlanan şevlerin proje kriterlerini sağladığı ve şevlerin duraylı olduğu görülmüştür.

3.2.1.2 Km:218+500 Slide 2D Şev Stabilitte Analizi

İkinci çalışma bölgesi Km:218+500' ün birinci senaryosunda projenin şev eğimleri 2/3 (yatay/düşey) olarak oluşturulmuş, ikinci senaryosunda ise alt palyelerin şev eğimleri 1/1 (yatay/düşey) üst palye şev eğimi ise 3/2 (yatay/düşey) olarak depremlı ve depremsiz analizler yapılmıştır. İkinci senaryoda Slide2D yazılımında analizi yapılan çalışmaların görüntüleri Şekil 14-18' de gösterilmiştir.



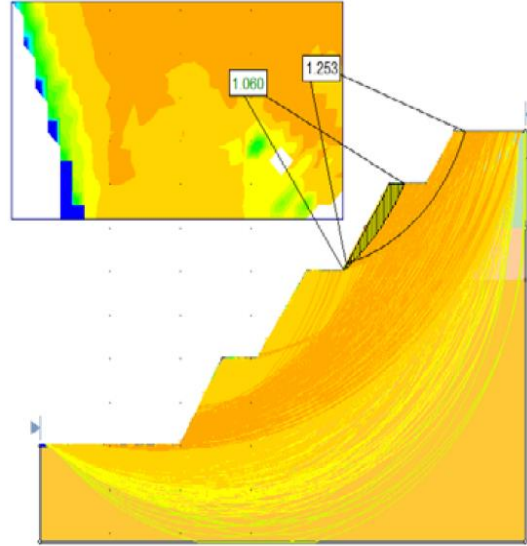
Şekil 14. Km: 218+500 yan şevlerin kesiti ve tabakaların gösterimi



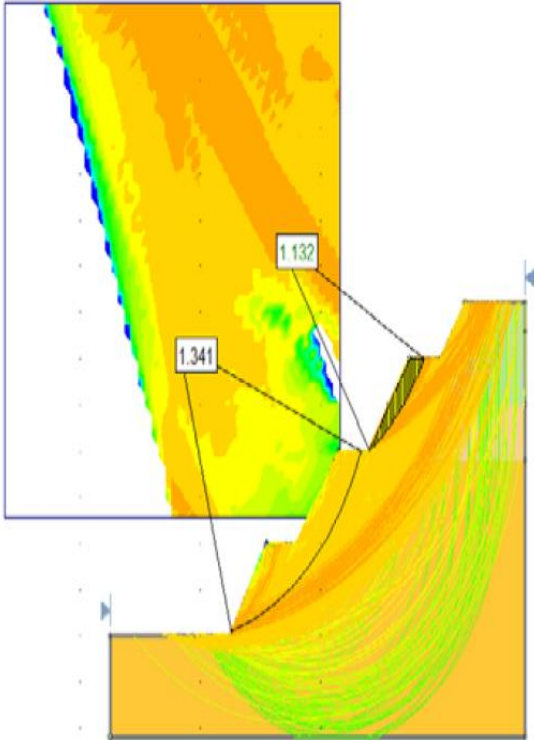
Şekil 15. Km: 218+500 bölgesi killi birim ile marn arasındaki dokanak sınırı



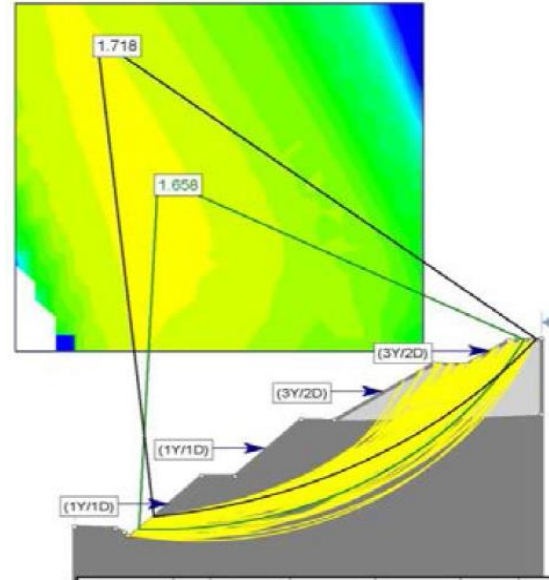
Şekil 16. Km: 218-500- 219+00 civarı şev çalışma bölgesi ve aç kapa sanat yapısı görüntüsü



Şekil 18. Km: 218+500 kesitinde depremlü güney (sağ) şev (2/3) için desteksiz duraylılık analizi (GK:1,06)

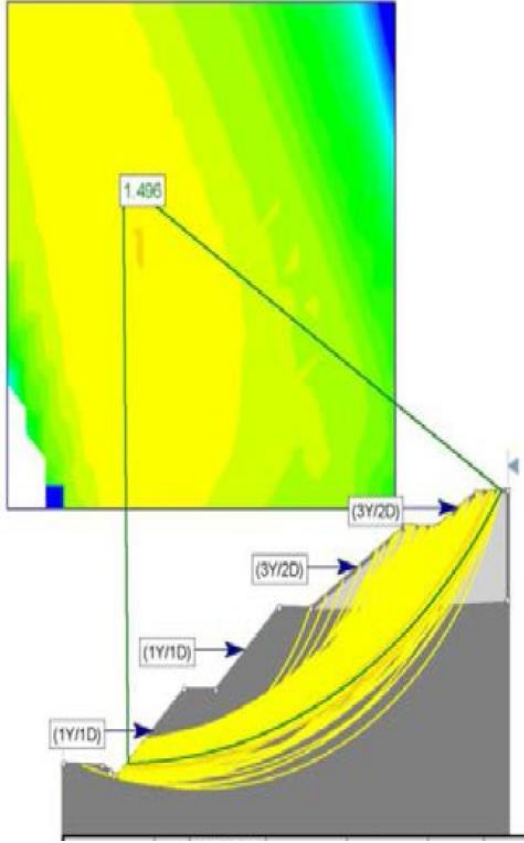


Şekil 17. Km: 218+500 kesitinde depremsiz güney (sağ) şev (2/3) için desteksiz duraylılık analizi (GK:1,13)



Şekil 19. Km: 218+500 kesitinde depremsiz sağ şev (alt palyeler 1/1 üst palye 3/2) için desteksiz duraylılık analizi (GK:1,65)

Uzun dönem statik durumda ve depremlü durumda 2/3 eğimli analizi tamamlanan şevlerin proje kriterlerini sağlamadığı ve şevlerin duraylı olmadığı görülmüştür.



Şekil 20. Km: 218+500 kesitinde depremlı sağ Şev (alt palyeler 1/1 üst palye 3/2) için desteksiz duraylılık analizi (GK:1,496)

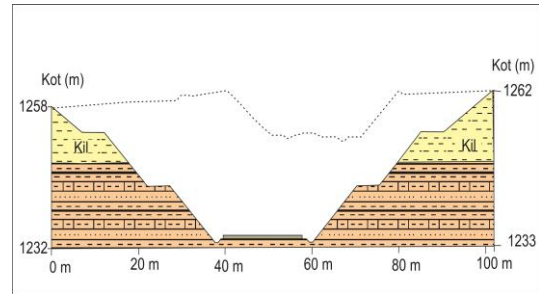
Uzun dönem statik durumda ve depremlı durumda 2/3 eğimli analizi tamamlanan Şevlerin proje kriterlerini sağlamadığı ve Şevlerin duraylı olmadığı görülmüştür.

3.2.1.3. Km:220+000 Slide 2D Şev Stabilité Analizi

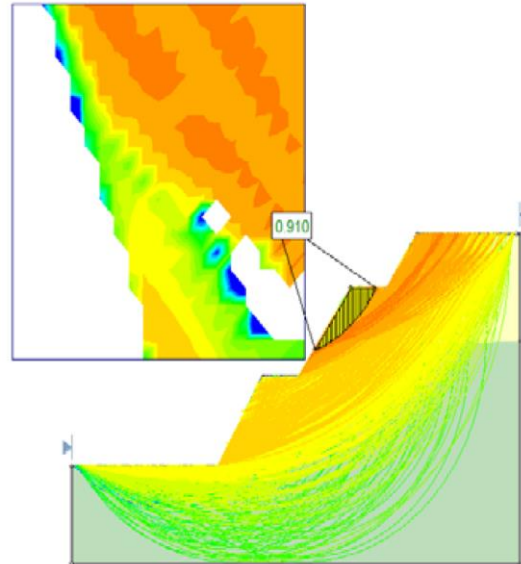
Üçüncü çalışma bölgesi olan Km:220+000'ın birinci senaryosunda projenin Şev eğimleri 2/3 (yatay/düşey) olarak oluşturulmuş, ikinci senaryoda ise alt palyelerin Şev eğimleri 1/1 (yatay/düşey) üst palye Şev eğimi ise 3/2 (yatay/düşey) olarak depremlı ve depremsiz analizler yapılmıştır. İkinci senaryoda Slide2D yazılımında analizi yapılan çalışmaların görüntüleri Şekil 21-26'da gösterilmiştir.



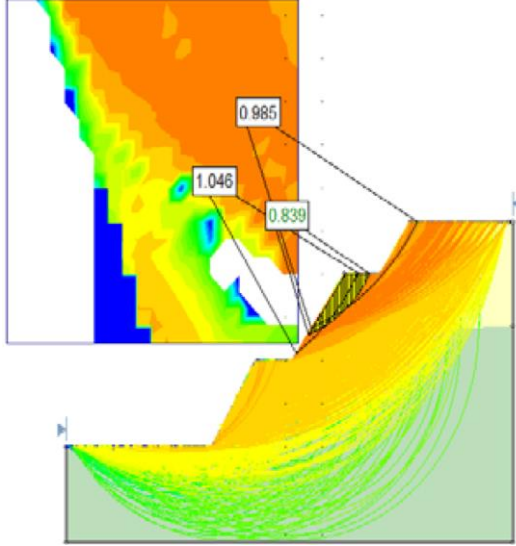
Şekil 21. Km:220+000 kazı Şevlerinin görünümü



Şekil 22. Km:220+000 yan Şevlerin kesiti ve tabakaların gösterimi

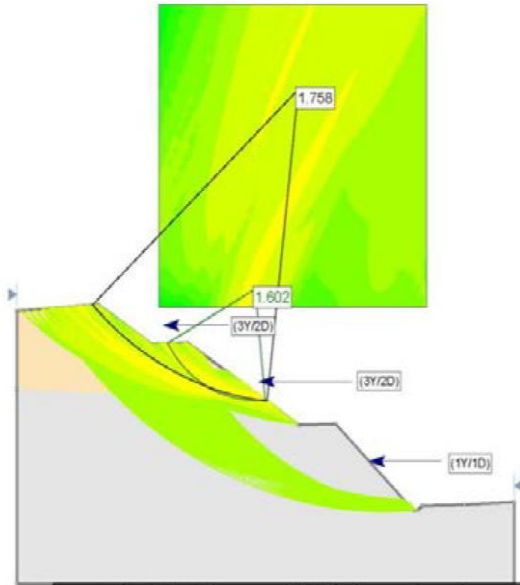


Şekil 23. Km:220+000 kesitinde depremsiz güney (sağ) Şev (2/3) için duraylılık analizi (GK:0,91)

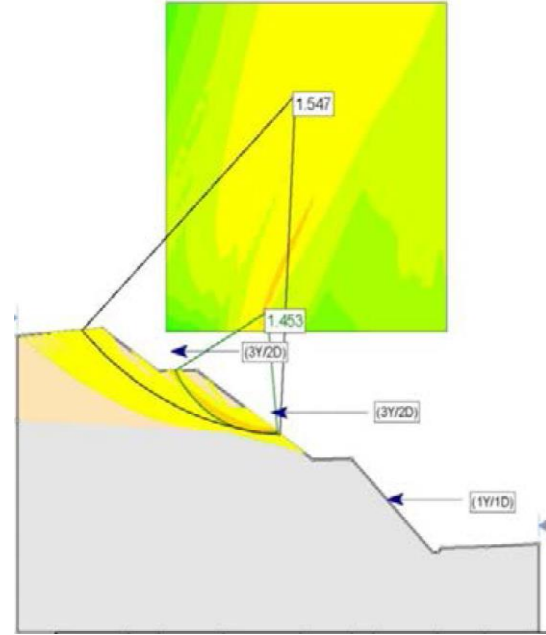


Şekil 24. Km:220+000 kesitinde depremlü güney (sağ) şev (2/3) için duraylılık analizi (GK:0,83)

Uzun dönem statik durumda ve depremlü durumda 2/3 eğimli analizi tamamlanan şevlerin proje kriterlerini sağlamadığı ve şevlerin duraylı olmadığı görülmüştür.



Şekil 25. Km:220+000 kesitinde depremsiz kuzey (sol) şev (alt palye 1/1 üst iki palye 3/2) için duraylılık analizi (GK:1,60)



Şekil 26. Km:220+000 kesitinde depremlü kuzey (sol) şev (alt palye 1/1 üst iki palye 3/2) için duraylılık analizi (GK:1,45)

Uzun dönem statik durumda ve depremlü durumda 2/3 eğimli analizi tamamlanan şevlerin proje koşullarını sağlamadığı ve şevlerin duraylı olmadığı görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

217+600 kritik kesitinin birinci senaryosunda bütün şev açıları 2/3 (yatay/düşey), ikinci senaryoda ise alt şevler 1/1 (yatay/düşey), üst şev ise 3/2 (yatay/düşey) olacak şekilde öncelikle statik daha sonra depremlü şekilde analiz yapılmıştır. 217+600 kritik kesitinin birinci senaryosunda şev analizleri uzun dönem statik koşulda en küçük GK:1,002 uzun dönem deprem durumunda ise en küçük GK:0,918 olarak hesaplanmıştır. Depremlü GK<1,10 olduğu için şevlerde duraysızlık söz konusudur. 217+600 kritik kesitinin ikinci senaryosunda uzun dönem statik koşulda en küçük GK:1,77 uzun dönem deprem durumunda ise en düşük GK:1,61 olarak bulunmuştur. Uzun dönem depremlü GK>1,10 uzun dönem statik GK>1,50 olduğu için şevlerde duraysızlık söz konusu değildir.

218+500 kritik kesitinin birinci senaryosunda bütün şev açıları 2/3 (yatay/düşey), ikinci senaryosunda ise alt şevler 1/1 (yatay/düşey), üst şev ise 3/2 (yatay/düşey) olacak şekilde öncelikle statik daha sonra depremlilik şekilde analiz yapılmıştır. 218+500 kritik kesitinin birinci senaryosunda şev analizleri uzun dönem statik koşulda en küçük GK:1,13 uzun dönem deprem durumunda ise en küçük GK:1,06 olarak hesaplanmıştır. Uzun dönem depremlilik GK<1,10 ve uzun dönem statik GK<1,50 olduğu için şevlerde duraysızlık söz konusudur. 218+500 kritik kesitinin ikinci senaryosunda şev analizi uzun dönem statik koşulda en küçük GK:1,65 uzun dönem deprem durumunda ise en küçük GK:1,496 olarak hesaplanmıştır. Uzun dönem depremlilik GK>1,10 ve uzun dönem statik GK>1,50 olduğu için şevlerde duraysızlık söz konusu değildir.

220+000 kritik kesitinin birinci senaryosunda bütün şev açıları 2/3 (yatay/düşey), ikinci senaryoda ise alt şev 1/1 (yatay/düşey), üst şev ise 3/2 (yatay/düşey) olacak şekilde öncelikle uzun dönem statik daha sonra uzun dönem depremlilik şekilde analiz yapılmıştır. 217+600 kritik kesitinde birinci senaryonun uzun dönem statik koşulda en küçük GK:0,91 uzun dönem deprem durumunda ise en küçük GK:0,83 olarak hesaplanmıştır. Uzun dönem depremlilik GK<1,10 ve uzun dönem statik GK<1,50 olduğu için şevlerde duraysızlık söz konusudur. 220+000 kritik kesiti ikinci senaryosunda uzun dönem statik koşulda en küçük GK:1,60 uzun dönem deprem durumunda ise en küçük GK:1,45 olarak hesaplanmıştır. Uzun dönem depremlilik GK>1,10 ve uzun dönem statik GK>1,50 olduğu için şevlerde duraysızlık söz konusu değildir.

Çizelge 2 ve 3'de seçilen kesit hatlarında uygulanan her iki senaryonun duraylılık analiz sonucu elde edilen güvenlik sayıları toplu olarak gösterilmiştir.

Yarmalarda şev iyileştirme alternatifleri olarak fore kazık, istinat duvarı, şevleri çelik hasır ve betonla kaplama, taş pere kaplama, zemin çivileri, şev açılarını değiştirme gibi farklı alternatif imalatlar günümüzde kullanılmaktadır. İnceleme

kapsamında çalışılan bölgelerde bulunan yarmalar 25 m-40 m arası derinlikte, iki ve daha fazla palyelerden oluşmakta ve yaklaşık 11 km uzunluğundadır. Gözlemlenen bu durumlar dikkate alındığında şevler de alternatif iyileştirme yöntemleri içinde Jeoteknik açıdan duraylılığın sağlanabilmesi için; imalat kolaylığı, kısa zamanda yapılması, diğer seçeneklere göre ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı şev açılarında iyileştirmeler yapılması en uygun seçenek olarak önerilmektedir.

Çizelge 2. Şev açıları 2/3(yatay/düşey) olarak gerçekleştirilen duraylılık analiz sonuçları

Kesit hatları	Güvenlik sayısı	
	Statik	Dinamik
Km: 217+600	1,002	0,918
Km: 218+500	1,13	1,06
Km: 220+000	0,91	0,83

Çizelge 3. Üst şevler 3/2(yatay/düşey), alt şevler 1/1(yatay/düşey) olarak gerçekleştirilen duraylılık analiz sonuçları

Kesit hatları	Güvenlik sayısı	
	Statik	Dinamik
Km: 217+600	1,77	1,61
Km: 218+500	1,65	1,496
Km: 220+000	1,60	1,45

5. KAYNAKLAR

1. Demirtaşlı, E., Bilgin, A. Z., Erenler, F., Işıl, S., Sanlı, D., Selim, N. ve Turhan, N. 1973. Bolkaradağlarının Jeolojisi, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler, MTA Yayını, Ankara, 608.
2. TCDD, 2015. Demiryolu Güzergah Jeolojik-Geoteknik-geoteknik Etütlerinin Yapılmasına Ait Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi, Ankara, 25.
3. TCDD, 2017. Karaman-Ulukışla İstasyonları Arası Hızlı Tren Projesi, Yarma Şevleri Geoteknik Değerlendirme Raporu, Ankara, 90-94.
4. Ketin, İ., Akarsu, R., 1965. Ulukışla Tersiyer Havzasının Jeolojik Etüdü Hakkında Rapor, TPAO, No: 339

5. Ayhan, A., Sevin, M., Altun, İ.E., 1986. Karapınar-Ereğli (Konya)-Ulukışla (Niğde) Civarının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme No: 8090 (yayımlanmamış).
6. Oktay F., 1982. Ulukışla ve Çevresinin Stratigrafisi ve Jeolojik Evrimi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Ankara, 25, 15-23.
7. Dellaloğlu, A.A., Aksu, R., 1986. Ereğli (Konya)-Ulukışla-Çiftelhan-Çamardı (Niğde) Dolayının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TPAO. Rapor No: 2205. Ankara.
8. Sonel, N., Sarı, A., 2004., Ereğli-Ulukışla (Konya-Niğde) Havzasının Hidrokarbon Potansiyelinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(4), 393-403.
9. Özdemir, A., 2006. Ereğli-Ulukışla Havzası Güney Formasyonunun Jeolojisi ve Petrol Hazne Kaya Özelliklerinin İncelenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 94.
10. Kadıncık, G., Pekgöz, M., Karakaş, M., Murat, A., 2017. Tersiyer (Üst Miyosen-Pliyosen) Katrandetepe Formasyonunda Sodyum Sülfat (Globerit-Blödit)-Halit Birlikteliği, Ereğli-Bor Havzası, Türkiye. MTA Dergisi, Ankara, 154, 137-158.
11. MTA, 2002. 1/500 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Adana Bölümü), MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
12. Fellenius, W., 1927. Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohasion (Adhasion) und unter Annahmekreiszyldrischer Gleitflächen, Ernst & Sohn, Berlin.
13. Bishop, W., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes, Géotechnique, 5(1), 7-17.
14. Spencer, E., 1967. A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces Géotechnique, 17(1), 11-26.
15. Nash, D.F.T., 1987. A Comparative Review of Limit Equilibrium Methods of Stability Analysis, In Anderson, M.G.
16. Morgenstern, N.R., 1992. The Evaluation of Slope Stability-a 25 Year Perspective, In Stability and Performance of Slopes and Embankments, Geotechnical Special Publication 31, ASCE, New York, 1, 1-26.
17. Duncan, J.M., 1996. State of the Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes, ASCE J. of Geotech. Eng., 122(7), 577-591.
18. AFAD, 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Türkiye Deprem Tehlike Haritası.
19. ASTM (American society for testing and materials), 1994. Annual Book of ASTM Standarts-Section 4, Construction, V. 0408 Soil and Rock; Building Stones. ASTM Publication.

Çankırı (Orta Anadolu) Yöresi Lütésiyan Ostrakod Faunasının İncelenmesi

Ümit ŞAFAK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 17.05.2021 Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Bu çalışmada, Çankırı Havzası'nda 2018 yılında MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü tarafından kömür arama amaçlı olarak açılmış sondajlardan derlenen örnekler incelenmiştir. Eosen yaşlı birimlerde yapılmış olan sondajlardaki kırıntılı sedimanter örneklerin ostrakod faunası değerlendirilmiştir. Bölgede Lütésiyan sarımsı gri renkli, fosilli, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşı litolojisinden oluşmaktadır. Alt sınırında geç Kretase yaşlı ofiyolit üzerinde uyumsuz bulunan formasyon, üstte uyumlu olarak geç Eosen-erken Miyosen yaşlı İncik Formasyonu'na ait killi-kumlu seviyeleri ile son bulur. Eosen'de yapılmış olan arama çalışmasının kırıntılı sedimanter örnekleri incelenerek ostrakod faunası değerlendirilmiştir. Araştırmada kömür seviyelerinin belirlendiği birim olan Kocaçay Formasyonu'nda ilk kez Lütésiyan yaşlı, sığ denizel ostrakod faunası tanımlanmıştır. Formasyonun ostrakod içeriği ve ortamsal özellikleri bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Formasyon içerisinde *Vetustocytheridea* sp., *Schuleridea perforata*, *Monsmirabilia oblonga*, *Monsmirabilia faveolata*, *Monsmirabilia triebeli* ve balık otoliti tanımlanmıştır. Formasyonda saptanan ostrakod faunası lagün ve sığ deniz ortamını karakterize etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lütésiyan, ostrakod, litoral-sığ denizel, Çankırı

Investigation of Lutetian Ostracod Fauna of Çankırı (Central Anatolia) Region

Abstract

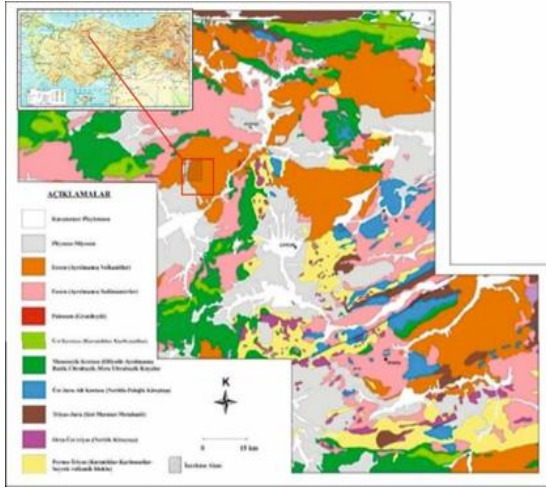
In this study, samples collected from drillings opened by MTA Eastern Mediterranean Regional Directorate for coal exploration in 2018 in Çankırı Basin were examined. Ostracod fauna of clastic sedimentary samples in boreholes taken from Eocene units were evaluated. Lutetian units in the region are represented by yellowish gray, fossiliferous, sandstone, siltstone, marl and limestone lithology. The formation, which unconformably overlies the late Cretaceous ophiolite at its lower boundary, coincides with the clayey-sandy levels of the İncik Formation at the top. In this research, the Lutetian shallow marine ostracod fauna was defined for the first time in the Kocaçay Formation, the unit where coal levels are found. *Vetustocytheridea* sp., *Schuleridea perforata*, *Monsmirabilia oblonga*, *Monsmirabilia faveolata*, *Monsmirabilia triebeli* and fish autolite were identified in the formation. Ostracod fauna identified in the formation characterize the lagoon and shallow marine environment.

Keywords: Lutetian, Ostracod, Littoral-shallow marine, Çankırı

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ümit ŞAFAK, usafak@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bu çalışma Çankırı Havzası'nda yüzeyleyen Eosen yaşlı Kocaçay Formasyonu içerisindeki kırıntılı çökellerden alınan yıkama örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanı olan bölge, Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'nın güneyinde yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanının bölgesel jeoloji haritası (MTA Sinop 1/500.00 ölçekli jeoloji haritasından düzenlenmiştir).

Orta Anadolu'nun önemli havzalarından biri olan Çankırı Çorum Havzası, Paleojen ve Neojen boyunca Torid, Anatolid ve Sakarya kıtaları arasında yer alan ve Neo-Tetis'in kuzey kolunda (İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusu) sıkışma rejiminin kontrolünde gelişen bir çarpışma havzasıdır Tüysüz ve Dellaloğlu, 1994 [1].

Sarp ve Aydoğdu [2] çalışmasında, inceleme alanının Çankırı Çorum havzası içerisinde bulunduğu ve havza derinliğinin 8 km'ye yakın olduğu tahmin edildiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Çankırı Havzası'nda MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü tarafından 2018 yılında yapılan kömür arama amaçlı açılmış olan sondaj kuyusu örneklerinden yararlanılmıştır. Bunun için MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış Ç-1, Ç-15, Ç-22, Ç-26, Ç-27 nolu kuyulardan alınan örnekler değerlendirilmiştir

Elde edilen verilerle yöredeki Eosen istif incelenmiş ve sadece Lütesiyen dönemindeki ostrakod topluluğu tanımlanmıştır. Tanımlanan fauna ile havzada Lütesiyen yaşlı kireçtaşı, marn, kumtaşı seviyelerinin istifteki konumu ve paleoortamsal niteliği belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler için ostrakod faunasından yararlanılmıştır.

Havzada geç Kretase yaşlı ofiyolitik temel üzerinde Paleosen'den Pliyosen'e kadar kesintisiz sediman birikimine sahip bir istif bulunmaktadır (Şekil 2).

YAŞ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Pliyosen	Değim			Kırmızı konglomera, kumtaşı
Üst Miyosen	Bozkır	800		Beyaz jips, kilitaşı
	Kızılırmak	600		Kırmızı kumtaşı, çamurtaşı.
Alt Miyosen	Bayındır	250		Jips, kilitaşı
	İncik	3000		Şarabi renkli konglomera, kumtaşı, çamurtaşı
Orta Eosen	Kocaçay	500		Kumlu kireçtaşı
	Osmankahya	300		Kırmızı konglomera, kumtaşı, çamurtaşı
	Karakaya	1700		Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kömür
		Bayat	750	
Alt Eosen	Yoncalı	2000		Şeyl, kumtaşı
	Hacıhalil	500		Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı
Paleosen	Dizilitağlar	1400		Konglomera, kumtaşı, silttaşı ve kireçtaşı bantları
Maestrihtiyen	Malboğazi	3000		Resifal kumlu kireçtaşı
				Breç ve kumtaşı
Üst Kretase	Ofiyolit			Granit
				Kumtaşı, silttaşı, konglomera (flis)
				Serpantin, spilit, radyotartit, kireçtaşı blokları

Şekil 2. Çankırı-Çorum Havzasının stratigrafik dikme kesiti [3].

Çalışmanın amacı, Lütesiyen’de gelişen sığ denizel istifin kireçtaşı seviyeleri ile alt ve üst düzeylerdeki killi birimlerin (Kocaçay Formasyonu) ostrakodlara dayalı faunal ve paleoortamsal özelliklerinin ortaya konulmasıdır.

Yapılan çalışmada, belirtilen kuyulardan alınmış kırıntılı ve kireçli örnekler değerlendirilmiştir. Bu çalışmaya özgü yeni bir dikme kesit için yeterli veri olmadığından, literatür çalışmalarından alınan dikme kesitin kullanılması daha uygun bulunmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma alanı ve yakın civarını kapsayan bölgenin genel jeolojisi ve stratigrafisini kapsayan [4-11] çalışmalar, bölgenin jeolojisi ve tektoniğini ortaya koymak amacıyla yapılan [12-18] çalışmalar, biyostratigrafik-paleontolojik veriler sunan [19-24] çalışmalar, bölgede yüzeleyen kömürler ile ilgili ise [25-27] çalışmalar yapılmıştır.

Ünal ve Harput [4] yaptıkları çalışmada Çankırı havzasının batı kenarına ilişkin Maestrihtiyen, Paleosen ve Eosen yaşlı çökellerin kaynak kaya olanakları araştırılmış, sedimantolojik ve hidrokarbon açısından değerlendirme yapılmıştır.

Tüysüz ve Dellaloğlu [12-1] tarafından Çankırı Havzası ve çevresinin erken Paleojen’deki tektonik evrimi ile yine bu havzanın tektonik birlikleri yanı sıra jeolojik evrimi açıklanarak detaylı genel jeoloji çalışması yapılmıştır.

Erdoğan ve arkadaşları [13]’de Yozgat Bölgesinin jeolojisi çalışılmış, Çankırı Havzasının tektonik evrimi üzerine bilgi verilmiştir.

Akyazı ve Tunç [14] Ilgaz-Çankırı’da, Esat [15] Çankırı-Eldivan’da, Savaşçı ve Seyitoğlu [16] Çankırı Havzası’nda genel jeoloji-tektonik ağırlıklı çalışmışlardır. Şengüler [25] tarafından Çankırı yöresinin kömür potansiyeli araştırılırken; Okan ve Hoşgör [19] Erken Eosen’de paleontolojik bulgularını açıklamışlardır. Sarp ve Aydoğdu [2], Uğur [26]’da Çankırı-Yenice kömür havzasının

depolanma özellikleri ile ilgili sedimantoloji çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çorum Havzası’nda Ocakoğlu [5] tarafından Lütesiyen istifleri genel jeoloji kapsamında değerlendirilmiş; Akpınar ve arkadaşları [6] genel jeoloji, Tepecik [7] ise sedimantoloji ve petrol jeolojisi üzerine çalışmışlardır. Oyal ve arkadaşları [20,21], Gürsoy ve Görmüş [22] gibi çalışmacılar yörede paleontolojik bulguları ortaya koymuşlardır.

Çankırı-Çorum Havzası’nda Birgili ve arkadaşları [3], Karadenizli [8], Karadenizli ve Kazancı [9] tarafından ayrıntılı genel jeoloji ve sedimantoloji çalışmaları yapılmıştır. Sönmez ve Aydındağ [10]’da hidrokarbon-tuz, Yalçın-Erik ve arkadaşları [27]’da kömür jeokimyası, Gürsoy ve arkadaşları [23] stratigrafik ve paleocoğrafik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kastamonu-Çorum arasında Yoldaş [11]’da genel jeoloji çalışması; Orta Anadolu’da Nairn ve arkadaşları [17], Tuzgözü Havzası’nda Gül ve arkadaşları [18] tarafından tektonostratigrafik evrim-genel jeolojik araştırmaları yapılmıştır. Kalecik’de Yıldız ve arkadaşları [24] tarafından biyostratigrafik-paleontolojik çalışma gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma 1/25.000 ölçekli Çankırı G30-a₂,a₃,b₄ paftaları içerisinde açılmış olan sondaj kuyu örneklerinde yapılmıştır (Şekil 1, Şekil 3). Mikropaleontolojik inceleme için Ç-1, Ç-15, Ç-22, Ç-26, Ç-27 nolu kuyulardan alınan 15 adet kırıntılı örnek yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Kırıntılı örnekten 100 gram alınıp, 24 saat %15’lik hidrojen peroksit (H₂O₂) eriyiği içerisinde bekletildikten sonra 60, 120, 230 meshlik eleklerden kurulu bir takım tazyikli su altında yıkanıp ayrıldıktan sonra etüvde kurutulmuş ve elek numaralarına göre ayrı ayrı torbalara konmuştur. Yıkanan örnekler ayıklama tablasında işleme alınmış, tabla içerisinde bulunan mikrofosiller seçilmiştir. Mikrofosil tablasına seçilerek aktarılan bu türler ostrakodlara ağırlık verilerek tanımlanmıştır. 5 adet sondaj

kuyusundan alınan 15 örnekten tanımlanan ostrakod topluluğunda 4 cins, 4 tür bulunmuştur. Fosil cins ve tür ayrımı yapıldıktan sonra bu çalışmada tanımlanan ostrakodlardan oluşan 1 adet levha (Levha 1) oluşturulmuştur. Ostrakod cins ve türlerinin tür tayinlerinde ve sistematik tanımlamalar için [28-31] yararlanılmıştır. Ostrakod sınıflamasında Hartmann ve Puri [32] sınıflaması esas alınmıştır. Tanımlanan cins ve türler sayılmış, ostrakodların yanal ve düşey yayılımları hesaplanmış ve sayısal bollukları belirlenmiştir. Bu dağılım tablosunda ostrakodların frekansını açıklayan semboller kullanılmıştır. Çok nadir (1-2 kapak) frekanslar +, nadir (3-5 kapak) frekanslar □, yaygın (6-15 kapak) frekanslar ■, sık (16- 25 kapak) frekanslar ○ ve çok sık (>25 kapak) frekanslar ● gibi sembollerle gösterilmiştir. Frekans dağılımı tablosu hazırlanmasında Sisingh [33]'den yararlanılmıştır. Çalışmada ostrakod cins ve türlerinin formasyonda, adı geçen kuyularda, belirtilen seviyelerde bulunduğu gözlenmiştir. İstatiksel ve göreceli değerlendirilen bu veriler baz alınarak, inceleme alanının paleoortam yorumu [28,31,34]'ten yararlanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Stratigrafi

Gül ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada, Çankırı Havzası'nın Orta Anadolu kuzey iç havzaları oluşturduğu; Çankırı ve Yozgat havzalarının, Sakarya ile Kırşehir Blokundan oluşan iki farklı temel üzerinde geliştiği belirtilmiştir. Çankırı ve Yozgat havzalarında Sakarya Bloğu üzerinde Üst Maastrichtiyen-Orta Eosen aralığında denizel istifleri, Kırşehir Bloku üzerinde ise Alt Eosen-Orta Eosen denizel istiflerin çökelmiş olduğu açıklanmıştır.

Bu çalışma bölgesi de Sakarya Bloğu üzerindeki Üst Maastrichtiyen-Orta Eosen aralığında yerleşmiş denizel istiflerin içerisinde yer almaktadır.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında, Kocaçay Formasyonu içerisindeki ostrakod faunası ele alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

4.2. Litostratigrafi

Kocaçay Formasyonu: Litoloji: Kireçtaşı, şeyl, kumtaşı ve sığ deniz tortulları içermektedir [7].

Alt ve Üst sınır: Formasyon tabanda erken Eosen yaşlı Yoncalı Formasyonu ile uyumlu ve yanal geçişli olup, orta Miyosen yaşlı Kızılırmak ve Bozkır formasyonları tarafından uyumsuzlukla üzerlenmektedir [35,36,7,22].

Birim, çalışma alanında geç Kretase yaşlı Eldivan Ofiyolitleri üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Formasyonun üzerinde uyumsuz olarak İncik Formasyonu yüzeylemekte olduğu (Sarp ve Aydoğdu [2], Gürsoy ve Görmüş, [22]) çalışmalarında belirtilmiştir. Birgili ve arkadaşları [3]'de Kocaçay Formasyonu'nun Osmankahya Formasyonu üzerinde uyumsuz, üst sınırında İncik Formasyonu ile uyumlu olarak yer aldığı gözlenmektedir (Şekil 2).

Kocaçay Formasyonu'nun üst sınırı ise bu çalışmada gözlenememiş olup, sadece sondajlarda alınan formasyona ait sedimanter istif değerlendirilebilmiştir.

Yayılım: İnceleme alanında açılan 5 adet kuyunun bulunduğu Budakpınar, Bozkuş, Kervankonağı, Çatkese ve Hacımuslu mevkiilerinde yayılım göstermektedir.

Kalınlık: 500 m kalınlığındadır.

Yaş: Formasyonun yaşı Orta Eosen (Lütesiyen)'dir [3].

Sarp ve Aydoğdu [2] tarafından Çankırı Merkez'de yapılan çalışmada inceleme alanı sınırları içinde görülen en alttaki birimin Mesozoyik yaşlı ofiyolitik karmaşık olduğu, üzerine uyumsuzlukla Paleosen yaşlı Sulakyurt granitinin geldiği belirtilmiştir. Eosen yaşlı *Nummulites*'li kireçtaşlarından oluşan Kocaçay Formasyonu'nun granitinin üzerinde açılı uyumsuzlukla yer aldığı açıklanmıştır.

Bu çalışmada da Kocaçay Formasyonu'nun kireçtaşı seviyeleri içerisinde ara ara *Nummulites* bentik foraminifer cinsi gözlenmiştir.

Oyal ve arkadaşları [20] tarafından Çorum Havzası'nın Eosen ve Oligosen dönemleri boyunca derin denizden akarsu ve bataklık ortamlarına kadar değişen her türlü ortam koşulları altında çökelmiş sedimanter kayalar içerdiği belirtilmiştir. Bu kayaların önceki çalışmalarda Orta Eosen dönemine kadar İskilip Grubu adı altında toplanmış olan Hacihalil, Dizilitaşlar, Yoncalı, Karabalçık, Bayat, Osmankahya ve Kocaçay Formasyonları ile Orta Eosen sonrası İncik ve Kızılırmak formasyonlarından oluşmuş olduğu açıklanmıştır.

Kocaçay Formasyonu Gürsoy ve Görmüş [22] tarafından Bayat/Çorum yöresinde de çalışılmış olup, bölgede Lütesiyen'de Karabalçık, Bayat, Osmankahya ve Kocaçay formasyonlarının gelişmiş olduğu, Kocaçay Formasyonu'nun sığ denizel fasiyeste gözlendiği belirtilmiştir. Çalışmacılar tarafından Ayvalıca mevkiinden alınan ölçülü kesitte, Kocaçay Formasyonu'nun kırmızı renkli konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn ile sarımsı gri sığ denizel kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı ve marndan oluştuğu açıklanmıştır. Bu çalışmada da formasyon bu litoloji özelliği ile tanımlanarak içerdiği sığ denizel ostrakod faunası değerlendirilmiştir.

İnceleme alanındaki sondaj kuyularının ostrakod içeriği MTA tarafından açılan kuyulardan 5 tanesi içerisinden kırıntılı örnek alabilme olanağı olmuştur. Bu kuyular Ç-1, Ç-15, Ç-22, Ç-26, Ç-27 nolu kuyular olup, kuyulardaki ostrakodların tanımlandığı metreler ve ostrakod cins ve türleri şöyledir:

Ç-1 Kuyusu, Çankırı-1/25000 ölçekli G30-a3 paftasında, Çankırı İli, Atkaracalar İlçesi, Budakpınar mevkiinde x: 4523980, y: 0511500, z: 1285 koordinatlarında açılmış, 752 metre derinlikli kuyudur. Bu kuyudaki kireçtaşından 680. Metrede kırıntılı kireçtaşları içerisinde

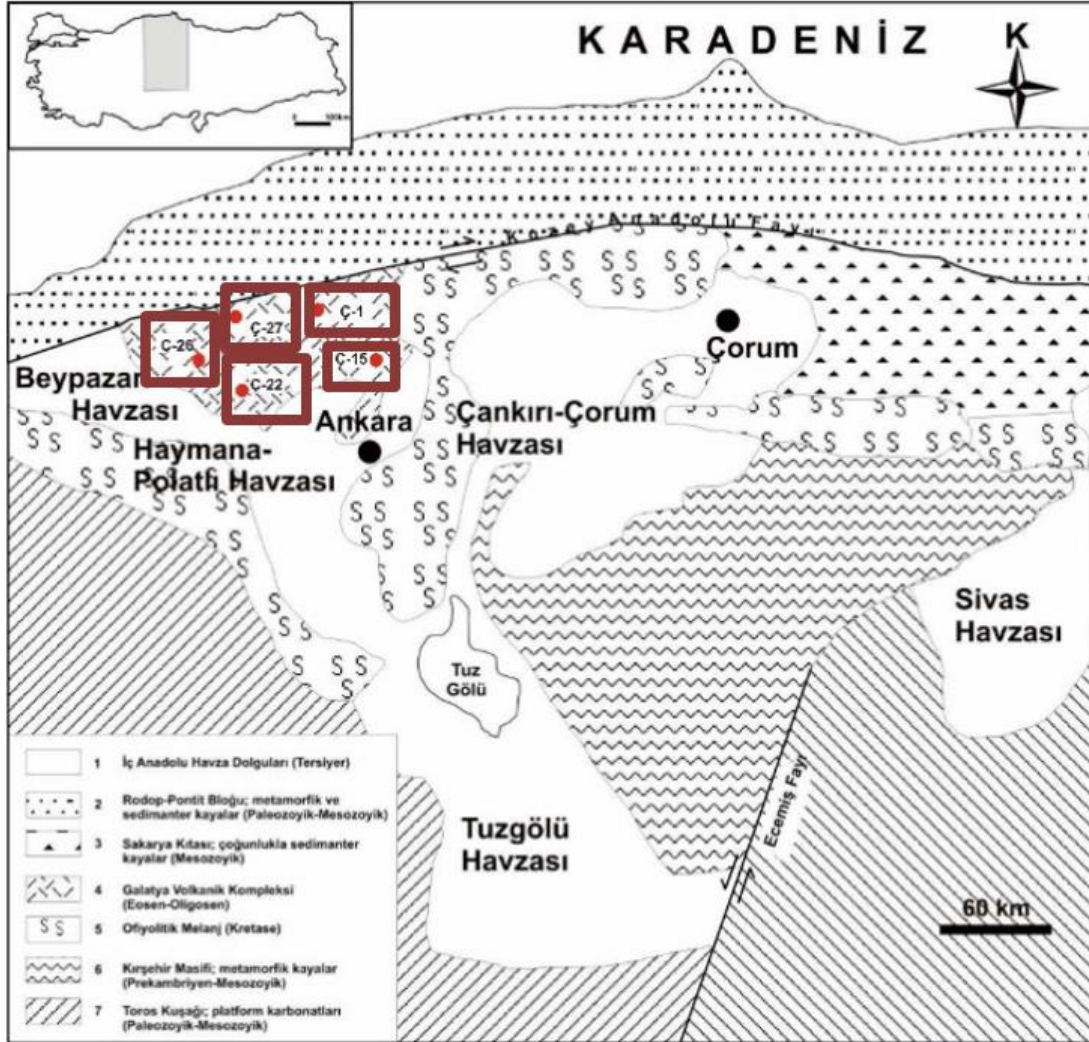
Monsmirabilia triebeli yaygın (6-15 kapak, ■, Sissingh [33]'den), 693. metrede kireçtaşı seviyesinde *Vetustocytheridea* sp. nadir (3-5 kapak, □, Sissingh [33]'den) olarak bulunmuştur.

Ç-27 Kuyusu, Çankırı-1/25000 ölçekli G30-a3 paftasında, Çankırı İli, Atkaracalar İlçesi, Bozkuş mevkiinde x: 4520796, y: 0511484, z: 1248 koordinatlarında açılmış, 449 metre derinlikli kuyudur. Bu kuyuda kumlu, marn içeren killi, kireçli seviyelerde 400. metrede *Schuleridea perforata* ve *Vetustocytheridea* sp. yaygın (6-15 kapak, ■, Sissingh [33]'den) olarak tanımlanmıştır.

Ç-22 Kuyusu, Çankırı-1/25000 ölçekli G30-a3 paftasında, Çankırı İli, Kurşunlu İlçesi, Kervankonağı mevkiinde x: 4521576, y: 0514097, z: 1258 koordinatlarında açılmış, 326 metre derinlikli kuyudur. Bu kuyuda kumlu, kireçli seviyelerden alınan örnekte 312. metrede *Monsmirabilia faveolata* ve *Vetustocytheridea* sp. yaygın (6-15 kapak, ■, Sissingh [33]'den) olarak tanımlanmıştır.

Ç-15 Kuyusu, Çankırı-1/25000 ölçekli G30-a2 paftasında, Kurşunlu İlçesi, Çatkesse mevkiinde x: 4561508, y: 0517139, z: 1245 koordinatlarında açılmış, 378 metre derinlikli kuyudur. Bu kuyuda 318. metredeki yumuşak kireçtaşları içerisinde *Schuleridea perforata* yaygın (6-15 kapak, ■, Sissingh [33]'den) ve *Vetustocytheridea* sp. sık (16-25 kapak, ○, Sissingh [33]'den) olarak tanımlanmıştır.

Ç-26 Kuyusu, Çankırı-1/25000 ölçekli G30-b4 paftasında, Çankırı İli, Kurşunlu İlçesi, Hacımuslu mevkiinde x: 4523918, y: 0525936, z: 1227 koordinatlarında açılmış, 152 metre derinlikli kuyudur. Bu kuyuda 140. metrede, marn içerisinde *Monsmirabilia oblonga* nadir (3-5 kapak, □, Sissingh [33] den), *Monsmirabilia triebeli* yaygın (6-15 kapak, ■, Sissingh [33]'den), *Vetustocytheridea* sp. sık (16-25 kapak, ○, Sissingh [33]'den) olarak bulunmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanı açılan sondaj kuyularının yeri (Karadenizli ve Kazancı [9]'dan değiştirilerek)

5. KRONOSTRATİGRAFİ

Schuleridea perforata Belçika'da İpresiyen-Bartoniye [37]; Fransa, Paris Havzası'nda İpresiyen-Bartoniye [38,39], Geç Eosen'de [30]; Akiten Havzası'nda Lütesiyen-Rupeliye [40, 41]; İngiltere'de İpresiyen-Bartoniye [42,43]; Türkiye/Trakya'da: Bartoniye [44];, Ankara (Polatlı)'da İlderiyen [29]'de, *Monsmirabilia triebeli* Belçika'da İpresiyen'de [37]; Fransa'da Lütesiyen-Bartoniye'de [37]; Paris Havzası'nda Geç Eosen'de (Oertli, 1985) [30], Akiten Havzası'nda Geç Eosen'de [30],

Türkiye/Malatya'da Lütesiyen [31], *Monsmirabilia oblonga* Belçika'da İpresiyen'de [37]; Fransa'da Lütesiyen-Bartoniye'de [37]; Paris Havzası'nda Geç Lütesiyen'de [30], Türkiye/Malatya'da Lütesiyen [31], *Monsmirabilia faveolata* Fransa'da Paris Havzası'nda Geç Eosen'de [30] bulunmuştur.

Sondajlardan alınan örneklerdeki ostrakod türleri Türkiye'de Trakya, Ankara, Malatya'da; Fransa'da Paris ve Akiten Havzası'nda; İngiltere ve Belçika'da da Orta Eosen, Orta-Geç Eosen'de tanımlanmış olan türlerdir. Çalışmada tanımlanan türlerle bu bölgelerde yapılan ostrakod

çalışmalarındaki türlerin kronostratigrafik benzerlik sunduğu görülmektedir.

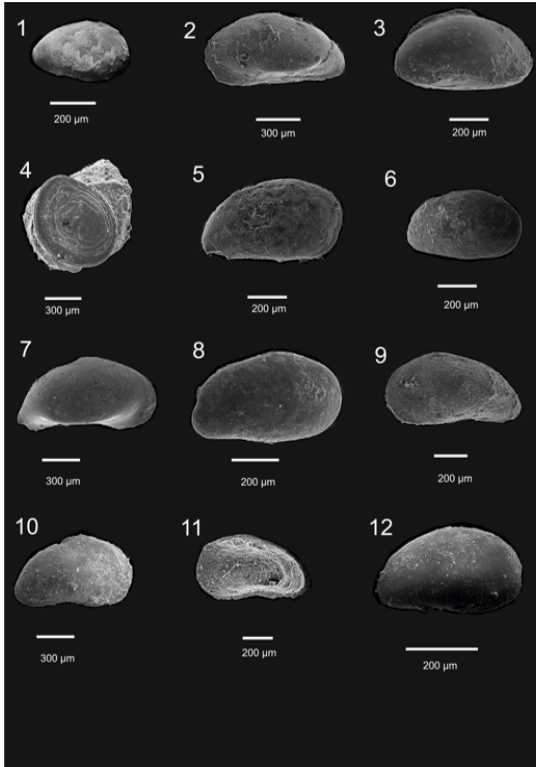
6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çankırı Havzası'nda 2018 yılında MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü tarafından kömür arama amaçlı olarak açılmış sondaj örnekleri incelenmiştir. İnceleme alanı olan Çankırı İli'nin Atkaracalar ve Kurşunlu İlçelerinde açılmış sondaj kuyularının örneklerindeki Kocaçay Formasyonu'na ait Lütesiyen yaş aralığında 4 ostrakod cins ve türü saptanmıştır. Bu türlerin stratigrafik dağılımlarının paleocoğrafik konumları incelenmiştir. Çalışma alanı ve çevresinde Lütesiyen'de ortam olarak, litoral ve sığ denizel

nitelikli bir ostrakod faunasının geliştiği gözlenmiştir.

7. TEŞEKKÜR

Çalışmacı MTA Doğu Akdeniz Müdürlüğü'ne, Jeoloji Mühendisi Sayın Ertuğrul Tufan'a, makalenin çizimlerinin oluşmasında emeği geçen Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans öğrencim Sayın Hande Sonsun'a içten teşekkür ederim. Ostrakod fotoğraflarının çekilmiş olduğu Çümerlab (Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı) birimine ve Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.



Levha 1:

Şekil 1. *Monsmirabilia triebeli* (Keij) Kabuk, sağ dış görünüm, Ç-26 Kuyusu, 140.m

Şekil 2. *Vetustocytheridea* sp. Sol kapak, içten görünüm, Ç-15 Kuyusu, 318.m

Şekil 3. *Monsmirabilia faveolata* (Bosquet) Kabuk, sağ dış görünüm, Ç-22 Kuyusu, 312.m

Şekil 4. Balık otoliti, Ç-22 Kuyusu, 312.m

Şekil 5. *Schuleridea perforata* (Roemer) Sol kapak, dış görünüm, Ç-27 Kuyusu, 400.m

Şekil 6. *Monsmirabilia oblonga* Apostolescu Sol kapak, dış görünüm, Ç-26 Kuyusu, 140.m

Şekil 7-8. *Schuleridea perforata* (Roemer) 7. Sağ kapak, dış görünüm, Ç-15 Kuyusu, 318.m, 8. Sağ kapak, dış görünüm, Ç-15 Kuyusu, 318.m

Şekil 9-11. *Vetustocytheridea* sp. 9. Kabuk, sol dış görünüm, Ç-15 Kuyusu, 318.m, 10. Sağ kapak, dış görünüm, Ç-1 Kuyusu, 694.m, 11. Sağ kapak, içten görünüm, Ç-1 Kuyusu, 694.m

Şekil 12. *Monsmirabilia oblonga* Apostolescu, Sol kapak, dış görünüm, Ç-22 Kuyusu, 312.m

8. KAYNAKLAR

1. Tüysüz, O., Dellaloğlu, A., 1994. Orta Anadolu'da Çankırı Havzası ve Çevresinin Erken Tersiyer'deki Paleocoğrafik Evrimi,

Türkiye 10. Petrol Kongresi, Bildiriler, Jeoloji, TMMOB Petrol Mühendisleri Odası/Türkiye Petrol Jeologları Derneği/Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, 56-76.

2. Sarp., S., Aydoğdu, Ö., 2012. Çankırı-Merkez-

- Süleymanlı ve Aşağı Pelitözü Jeotermal Arama Ruhsat Sahaları Jeoloji Etüdü, MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı'nın 2012-3313-05-3 Özel Proje Kod Numaralı Çankırı-Kırıkkale Jeotermal Enerji Aramaları Projesi, Ankara.
3. Birgili, S., Yoldaş, R., Ünal, G., 1975. Çankırı-Çorum Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları: M.T.A. Raporu, Rapor No:5621 Ankara (yayımlanmamış).
 4. Ünal, G., Harput, B., 1983. Çankırı Havzasının Batı Kenarına İlişkin Üst Kretase ve Alt Tersiyer Yaşlı Çökellerde Kaynak Kaya İncelemeleri, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 177-186.
 5. Ocakoğlu, F., 1997. Çankırı-Çorum Havzasındaki Lütesiyen Yaşlı Çökel İstiflerinin Evrimi, İç Anadolu, Türkiye Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 158.
 6. Akpınar, Z., Koçbulut, F., Öztürk, A., 2003. Boğazkaya (Mecitözü-Çorum) Bölgesinin Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, 20(1), 14-24.
 7. Tepecik, A., 2007. Bayat (Çankırı-Çorum Havzası) Dolaylarının Jeolojisi ve Tuz Petrol İlişkilerinin İncelenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 48.
 8. Karadenizli, L., 1999. Çankırı-Çorum Havzasındaki Orta Eosen-Erken Miyosen Tortullarının Sedimentolojisi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, 51-195.
 9. Karadenizli, L., Kazancı, N., 2000. Çankırı-Çorum Havzasındaki Paleoyükselti ve Alt Havzalar, Cumhuriyetimizin 75. Yıldönümü ve Madencilik Kongresi MTA, 209-227.
 10. Sönmez, İ., Aydındağ, K., 2017. Çankırı-Çorum Havzasında Halit (NaCl), Globerit ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$) ve Blodit ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) Oluşumları, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 23, 13-26.
 11. Yoldaş, R. 1982. Tosya (Kastamonu) ile Bayat (Çorum) Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Doktora Tezi, Ankara, 311.
 12. Tüysüz, O., Dellaloğlu, A.A., 1992. Çankırı Havzasının Tektonik Birlikleri ve Jeolojik Evrimi, Türkiye 9. Petrol Kongresi Jeoloji Bildirileri, 333-349.
 13. Erdoğan, B., Akay, E., Uğur, M.S., 1996. Geology of the Yozgat Region and Evolution of the Collisional Çankırı Basin, International Geology Review, 38, 788-806
 14. Akyazı, M., Tunç, M., 1998. Sarıalan Formasyonunun (Ilgaz-Çankırı) Tanımlanması, Türkiye Jeoloji Bülteni, 41(2), 79-93.
 15. Esat, K., 2004. Çankırı-Eldivan Arasının Stratigrafisi ve Tektoniği, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 57.
 16. Savaşçı, D., Seyitoğlu, G., 2004. Çankırı Havzasına Ait Kumartaş ve Hançili Formasyonları İçerisinde Çökelleme ile Eş Yaşlı Tektonik Yapılar, Türkiye Jeoloji Bülteni, 47(1), 61-73.
 17. Nairn, S.P., Robertson, A.H.F., Ünlügenç, U.C., Taslı, K., İnan, N., 2013. Tectonostratigraphic Evolution of the Upper Cretaceous-Cenozoic Central Anatolian Basins: An Integrated Study of Diachronous Ocean Basin Closure and Continental Collision. Geological Society, London, Special Publications, 372, 343-384.
 18. Gül, M.A., Ercan, A., Kaymaz, T.A., Gümüş, H., 2013. Tuz Gölü Havzasının Tektonostratigrafisi, 19th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, Turkey, May 15th-17th, Abstract&Proceedings Book, 325-330.
 19. Okan, Y., Hoşgör, İ., 2009. Early Eocene (middle-late Cuisian) Molluscs Assemblage from the Harpactocarcinid Beds, in the Yoncalı Formation of the Çankırı Basin, Central Anatolia and Implications for Tethys Paleogeography, Türkiye Jeoloji Bülteni, 52(1), 1-30.
 20. Oyal, N., Gürsoy, M., Ertekin, İ.K., Karadenizli, L., Süreççi, S., 2016. Çankırı-Çorum Havzasındaki Yeni Eosen-Oligosen Fosil Bulguları ve Bunların Havza Stratigrafisindeki

- Önemi, 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, 540-541.
21. Oyal, N., Şen, Ş., Karadenizli, L., Saraç, G., Antoine, P.O., Metais, G., Özer Kayseri, M.S., Tunoğlu, C., 2017. Çankırı-Çorum Havzası ve Çevresinde, En Büyük Kara Memelisi Olan Baluchitherium'un ve Eşlik Eden Diğer Omurgalıların Bulgu Yerlerinin Araştırılması ve Bölgenin Paleocoğrafyası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13600 Ankara (yayımlanmamış).
22. Gürsoy, M., Görmüş, M., 2020. Characteristic Mollusc, Larger Foraminifera Findings and Environmental Interpretations of the Middle Eocene Kocaçay Formation Deposits Around Ayvalıca (Bayat, Çorum). M.T.A. Dergisi, 162, 235-267.
23. Gürsoy, M., Demircan, H., Aydın, A., Görmüş, M., Tunoğlu, C., 2019. Çankırı-Çorum Havzası Eosen-Oligosen Stratigrafisi ve Paleocoğrafyası, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 28, 49-53.
24. Yıldız, A., Karahasan, G., Demircan, H., Toker, V., 2000. Kalecik (Ankara) Güneydoğusu Alt Maastrichtiyen-Paleosen Biyostratigrafisi ve Paleokolojisi, *Yerbilimleri* 22, 247-259.
25. Şengüler, İ., 2007. Orta-Şabanözü Çankırı Yöresinin Jeolojisi ve Kömür Potansiyeli, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(1), 15-24.
26. Uğur, B., 2012. Çankırı-Yenice Kömür Havzasının Jeolojisi ve Depolanma Ortamının Özellikleri, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111.
27. Yalçın-Erik, N., Aslan, Y., Büyüksaraç, A., 2018. Alpagut-Dodurga (Çorum) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal Özellikleri, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(3), 566-575.
28. Morkhoven, F.P.C.M., 1963. Post-Palaeozoic Ostracoda, V.II, 478.
29. Duru, M., 1984. Polatlı (GB Ankara) Güneyindeki Alt Paleojen İstifinin Ostrakod Biyostratigrafisi, Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 140.
30. Oertli, H.J., 1985. Atlas des Ostracodes de France. Mémoires Elf- Aquitaine, 9, Paléogène.
31. Şafak, Ü., 1990. Malatya Kuzeybatısının (Medik-Ebreme Yöresi) Üst Lütisiyen Ostrakod Faunası, Ç.Ü. Mühendislik, Mimarlık, Fakültesi Dergisi, 5(1), 135-156.
32. Hartman, G., Puri, H., 1974. Summary of Neontological and Paleontological Classification of Ostracod.
33. Sissingh, W., 1972. Late Cenozoic Ostracode of the South Aegean Island Arc. Bull. Utrecht. Micropaleont., 6, 1-187.
34. Şafak, Ü., Güldürek, M., 2016, The Ostracoda Assemblage of the Eocene, Oligocene Transition in Northwestern Thrace: Kırklareli-Edirne area (northwestern Turkey). *Journal of African Earth Sciences*, 117, 62-85.
35. Akgün, F., Akay, E., Erdoğan, B., 2002. Tertiary Terrestrial to Shallow Marine Deposition in Central Anatolia: A Palynological Approach, *Turkish J. Earth Sci.*, 11, 127-16.
36. Hoşgör, İ., Okan, Y., 2006. The annelid Polychaete *Rotularia Spirulaea* Lamarck, 1818 from the Early Middle Eocene (Middle-late Cuisian) of Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey). *Yerbilimleri*, 27(3), 173-179.
37. Keij, A., 1957. Eocene and Oligocene Ostracoda of Belgium. Institut Royale Science Naturelles Belgique, Brussels, Mémoires No. 136:1-210.
38. Apostolescu, V., 1955. Description de Quelques Ostracodes du Lutetian du Bassin de Paris. *Cahiers Geologiques*, 28-29, 241-279.
39. Apostolescu, V., 1956. Contribution à l'étude des Ostracode de l'Eocène Inférieur (s.l.) du Bassin de Paris. *Rev. Inst. Franç. Pétrole Ann. Combust. Liquides*, 11, 1327-1352.
40. Ducasse, O., 1959. Les Ostracodes de l'Éocène du Sous-sol Bordelais. Répartition, Intérêt Stratigraphique et Paleogeographique. Thèse 3e Cycle, Univ. Bordeaux, 40, 281-134.
41. Deltel, B., 1961. Les Ostracodes du Paleogene Moyen et Superieur d'Aquitaine meridionale. Univ.de Bordeaux, 3 Cycle no. d'ordre, 95.
42. Haskins, C.W., 1969. Tertiary Ostracoda from the Isle of Wight and Barton, Hampshire, England: Part IV, N. 3, *Rev. Micropaléont.*, 149-170, Paris.
43. Gökçen, N., 1970. Londra Havzası Batısının İpresiyen Ostrakodları, MTA Dergisi, 75, 91-107.

- 44.** Sönmez-Gökçen., N. 1973. Etude Paleontologique (Ostracodes) et Stratigraphique de Niveaux du Paleogene du Sud-Est de la Thrace. MTA Dergisi, 147, 1-117.

Tüketicinin Demografik Özelliklerinin Konut Satın Alma Davranışı Üzerindeki Etkileri

Hatice Kübra BAŞ ARAS¹, Gözde TANTEKİN ÇELİK*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 17.05.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Tüketicilerin konut satın alma davranışlarının ve bu davranışların altında yatan parametrelerin analiz edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada tüketicinin satın aldığı ya da almayı düşündüğü konutta önem verdiği nitelikler belirlenmiştir. Ayrıca tüketicinin cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim, gelir düzeyi ve meslek gibi demografik özelliklerinin konut tercihleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmaya katılanların genelini ihtiyaç sebebiyle konut satın almayı düşünen ve orta gelir düzeyine sahip bireylerden oluştuğu tespit edilmiştir. Elde edilen hipotez testleri sonuçları değerlendirildiğinde tüketicinin konut tercihinde eğitim durumu ve cinsiyet değişkenlerine göre anlamlı ilişki bulunmuş ancak satın alma kararı, yaş, medeni durum, meslek ve gelir düzeyi değişkenleri ile anlamlı ilişki bulunmadığı gözlenmiştir. Tüketicinin konut tercihlerinde öncelikli olarak konutun depreme dayanıklı olması, konum, ulaşım, odaların yüzölçümü, doğalgaz bağlantısı ve yalıtım gibi konulara önem verdiği; akıllı ev sistemlerinin konutta varlığına ise diğer kriterler kadar ilgi göstermediği görülmüştür. Çalışma sonunda bu bilgiler ışığında yüklenicilere hedef kitlenin belirlenmesi ve pazarlama çalışmaları ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pazarlama, Tüketici, Konut satın alma davranışı, Tüketici konut tercihi

The Effects of the Demographic Characteristics of the Consumers on the House Buying Behavior

Abstract

In this study, in order to analyze the consumer behavior in buying houses and the parameters underlying these behaviors, the qualities that consumer considers to be important in the house they buy or intend to buy were determined. In addition, the effects of demographic characteristics of the consumer such as gender, age, marital status, education, income level and occupation on housing preferences were investigated. It has been determined that the majority of the participants in the study consist of individuals with a middle income level who are considering buying a house due to need. When the results of the hypothesis tests were evaluated, it was observed that there was a significant relationship in the consumer's housing preference according to the variables of education and gender, however, there was no significant relationship with the variables of purchasing decision, age, marital status, occupation and income level. Moreover, it has been observed that the consumer primarily attaches importance to issues such as earthquake resistance of the house, location, transportation, surface area of the rooms, natural gas connection and insulation; while the presence of smart home systems in the house does not show as much

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gözde TANTEKİN ÇELİK, gantekin@cu.edu.tr

interest as other criteria. As a result of the study, in the light of the obtained findings, suggestions were presented to the contractors regarding the determination of the target audience and marketing activities.

Keywords: Marketing, Consumer, Housing buying behavior, Consumer housing preferences

1. GİRİŞ

Her birey yaşamının farklı evrelerinde farklı ihtiyaçlar duymaktadır. Pek çok birey eğitim hayatını tamamladıktan ve bir iş sahibi olduktan sonra otomobil ve konut sahibi olmayı hedeflemektedir. Konut, bireylerin en temel gereksinimlerinden biri olan barınma ihtiyacını karşılayan fiziksel bir mekân olmasının yanı sıra ekonomik, değişim, kullanım ve estetik değerlerin bir bütünü olarak ifade edilebilir. Satın alınan bir konut, bireyin yaşamı boyu kullandığı ve hatta kendi hayatı son bulduktan sonra gelecek nesillere aktarılabilen uzun vadeli tüketim özelliğine sahip bir varlık türüdür [1].

Birçok birey hayatı boyunca bir ya da iki kere konut satın alabilmekte ve satın aldığı konutta uzun yıllar oturmaktadır. Sık değiştirilebilen bir yatırım olmaması sebebiyle tüketiciler konut satın alırken detaylı düşünmekte ve araştırmaktadır. Tüketicinin konut satın alırken pek çok unsurun etkili olduğu yapılan çalışmalarda [2-7] görülmüştür. Tüketicinin demografik özellikleri, psikolojik unsurlar, sosyal ihtiyaçlar gibi pek çok unsur tüketicinin konut satın alma davranışını etkileyebilmektedir [2-8]. Şenyurt çalışmasında tüketicinin konut satın alma davranışını etkileyen 13 faktör belirlemiş ve faktörlerin genelini demografik özelliklerden; cinsiyet ve medeni durum ile ilişkili olduğunu belirtmiştir [1]. Yapılan farklı çalışmalarda ise gelir düzeyi gibi sosyo-ekonomik unsurların [2] ve tüketicinin yaşam tarzı gibi sosyal unsurların da konut satın alma davranışı üzerinde etkileri olduğu bilinmektedir [3]. Tüketicinin kendini güvende hissetme [4] ve gizlilik-özel alan [5] ihtiyacı da konut tercihini etkileyen psikolojik unsurlar arasında yer almaktadır.

Türkiye’de gerek kentsel dönüşüm gerekse artan nüfus ve gelişen teknoloji sebebiyle büyüyen şehirlerde konut yapım işi ile uğraşan yüklenicilerin hitap ettiği müşteri portföyünü belirleyerek,

ihtiyaca uygun tasarımlar yapması ve pazarlama çalışmalarını bu doğrultuda yürütmesi gerekmektedir [2-4]. Literatürde tüketicinin konut tercihlerini etkileyen pek çok çalışma [2-8] bulunmakla beraber bu tercihlerin anlamlı ve az sayıda faktör altında gruplanması ile ilgili fazla çalışmaya [1,6,9-11] rastlanmamıştır. Şenyurt konut satın alma davranışını 13 faktör altında incelemiştir [1]. Kellekci ve Berköz konut ve çevresel kalite memnuniyetini inceledikleri çalışmalarında konutu dış çevresi ile değerlendirmişler ve altı ana boyut belirlemişlerdir [7]. Yalçın ve diğerleri ikamet amaçlı ve yatırım amaçlı konut satın alan tüketicinin satın alma davranışını inceledikleri çalışmalarında her iki örneklem için de üç faktörlü bir yapı elde etmişlerdir [8]. Aktürk ve Tekman konut satın alma kararında etkili olan faktörleri 5 ana faktör altında incelemişlerdir [6]. Güremen ise konut ve yerleşim alanı kullanıcı algısının memnuniyet ve tercih davranışına etkisi üzerine yaptığı çalışmasında; kullanıcının memnuniyetini 6 faktör altında incelemiştir [9].

Tüketicinin konut tercihlerini etkileyen unsurların faktör yapısının araştırılması ve faktör bazında da incelenmesi ile alıcı değerlendirmeleri ve mülk özellikleri daha iyi analiz edilebilir [12].

Bu çalışmanın amacı şehirde yaşayan günümüz tüketici grubunun konut satın alma davranışlarının araştırılması, konut tercihlerinde önem verdikleri konuların belirlenmesi ve yaşam tarzları, değerleri ve aile yapıları ile uyumlu ve empatik yanıtlar önerilmesidir [13]. Başarılı bir konut sektörü kurmanın anahtarı, yüklenici firmaların bu sorunları yeterince belirleme becerileridir [14].

Literatürde yapılan çalışmaların geneli tüketicinin konut satın alma davranışını etkileyen dış faktörlere (sosyo-kültürel faktörler, pazarlama faktörleri, durumsal faktörler) ve iç faktörlere (psikolojik faktörler, kişisel faktörler) yoğunlaşmaktadır [2-

4,15,16]. Tüketicinin konut tercihini etkileyen pek çok alt faktör olması zaman zaman tüketicinin bile karar verme sürecini olumsuz etkileyen bir döngüye dönüşebilmektedir. Konut tercihini etkileyen her bir unsurun kendi göreceli önemi olduğundan, konut tercihlerinin çok kriterli karar vermeyi içeren ve tüketicinin demografik özelliklerinden de etkilenebilen bir karar mekanizması bulunmaktadır [17]. Bu çalışmada tüketicinin tercihlerinde konutun sahip olduğu özellikler (mimari tasarım, malzeme kullanımı, fonksiyonellik vs.) üzerinde de durulmuştur. Ayrıca tüketicinin cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim, gelir düzeyi, meslek gibi demografik özelliklerinin konut tercihlerine etkileri ve değerlendirmeye alınan demografik özelliklerden cinsiyet ve eğitim durumu unsurlarının diğer faktörlere nasıl etkileri olabileceği araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda ortaya çıkan sonuçların konut yapım işinde uzmanlaşan inşaat firmalarına arsa seçimi ya da konut niteliğinin saptanması gibi konularda yol gösterici olacağı ayrıca tüketicinin önem verdiği konulara yoğunlaşan bir reklam ve pazarlama stratejisi belirlemeleri açısından da yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, açıkça tanımlanmış bir stratejinin, bu genişleyen ve dinamik sektördeki tasarımcılara ve yöneticilere çeşitli ve yüksek kaliteli konut programları oluşturmalarında yardımcı olacağı öngörülmektedir [13]. Konut pazarının benzersiz gereksinimlerini karşılamada etkili bir tasarım yapabilmek ve doğru belirlenen hedef kitlenin ihtiyaçlarına nokta atışı yapan bir pazarlama stratejisi uygulamak; kuşkusuz, firmalar için önemli bir rekabet avantajı sağlayacaktır [14].

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı tüketicinin konut satın alma davranışını etkileyen konut ile ilgili tercihlerinin belirlenmesidir. Ayrıca çalışma kapsamında tüketicinin demografik özelliklerinin konut ile ilgili tercihlerine olan etkisi de araştırılmıştır. Çalışma kapsamında rastgele seçilmiş tüketicilere uygulanmak üzere iki ana bölümden oluşan bir

anket tasarlanmıştır. Anketin ilk bölümünde tüketicinin demografik özellikleri (cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, meslek, gelir düzeyi) ve konut satın alma sebebi (ihtiyaç, yatırım, koşulları iyileştirme) ile ilgili sorular sorulmuş, ikinci bölümünde ise satın aldığı ya da satın almayı düşündüğü konuta ait özellikler ile ilgili sorular sorulmuştur. Anketin ikinci bölümünde yer alan sorular 5'li Likert tipi ölçeğe göre cevaplanmıştır. Çalışma, araştırmacının imkanları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Anket 2000 kişiden fazla tüketiciye mail yoluyla ulaştırılmış fakat 235 değerlendirmeye uygun geri dönüş yapılmıştır.

Anketin güvenilirliği Cronbach Alpha (α) katsayısı hesaplanarak ölçülmüştür. Verilerin normal dağılıma uygunluğu ise Kolmogrov-Smirnov testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Anketin ilk bölümündeki verilerin yüzde ve frekans değerleri hesaplanmıştır. Anketin ikinci bölümünde yer alan sorular normallik varsayımını karşılamadığı için, verilerin değerlendirilmesinde medyan (ortanca) değerleri kullanılmıştır.

Tüketicinin konut satın alma davranışı, konuttaki tercihlerinin ve bu tercihlerin faktör yapısının araştırılmasının amaçlandığı bu çalışmada uygulanan açımlayıcı faktör analizi için sosyal bilimlerde 200 örneklem büyüklüğünün yeterli olduğu bilinmektedir [10,11]. Çalışmadan elde edilen 235 örneklem sayısının çalışma kapsamında yapılan açımlayıcı faktör analizi için yeterli olduğu kabulü ile değerlendirmeler yapılmıştır.

Tüketicinin satın aldığı ya da almayı düşündüğü konut ile ilgili tercihlerinin sorulduğu 19 sorudan oluşan ölçeğe Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis – PCA) yöntemi ile açımlayıcı faktör analizi uygulanmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Faktör analizi sonucu ortaya çıkan faktör yapısına bağlı olarak tüketicinin demografik özellikleri ile konut tercihi arasında ilişkinin araştırılması amacıyla Mann-Whitney U ve Kruskal Wallis analizleri kullanılarak Çizelge 1'de verilen hipotezler test edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan analizler MS Excel 2016 ve SPSS 18 paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma hipotezleri

Hipotez No	H ₀ Hipotezleri
H ₀₁	Tüketicinin konut tercihi ile satın alma kararı arasında anlamlı ilişki yoktur.
H ₀₂	Tüketicinin konut tercihi ile cinsiyeti arasında anlamlı ilişki yoktur.
H ₀₃	Tüketicinin konut tercihi ile yaşı arasında anlamlı ilişki yoktur.
H ₀₄	Tüketicinin konut tercihi ile medeni durumu arasında anlamlı ilişki yoktur.
H ₀₅	Tüketicinin konut tercihi ile eğitim durumu arasında anlamlı ilişki yoktur.
H ₀₆	Tüketicinin konut tercihi ile mesleği arasında anlamlı ilişki yoktur.
H ₀₇	Tüketicinin konut tercihi ile gelir düzeyi arasında anlamlı ilişki yoktur.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tüketicinin konut tercihi anketi için hesaplanan Cronbach Alpha değeri 0,954 çıkmıştır. Cronbach Alpha değerinin 0,8'in üzerinde olması kullanılan anketin "yüksek" derecede güvenilir olduğunu göstermektedir [18]. Verilerin normal dağılıma uygunluğunu test etmek amacıyla Kolmogrov-Smirnov testi uygulanmış ve tüm maddelerin anlamlılık düzeylerinin %5'ten küçük olduğu ve normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Tüketicinin konut tercihi anketi normal dağılıma uymadığı için anket sonuçları medyan değerleri verilerek sunulmuştur.

Katılımcılara ait demografik bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Ankete %45,96'sı erkek, %54,04'ü kadın olmak üzere toplam 235 kişi katılmıştır. Katılımcıların genelini 40 yaş altı bireyler oluşturmaktadır. Ankete katılanların %57,45'i evli, %42,55'i ise bekâr bireylerden oluşmaktadır. Katılımcıların genelinin lisansüstü düzeyde eğitim seviyesine sahip olduğu Çizelge 2'de görülmektedir. Katılımcıların %49,36'sının devlet memuru ve %40,00'nin özel sektör çalışanı olduğu görülmüştür. Çalışmaya katılanların genelini %46,81'lik bir oranla 5.501-8.500 TL arası geliri olan bireyler oluşturmaktadır. Bireylerin %5,53'ü çalışmanın yapıldığı dönemde asgari ücret olan 2.020,90 TL ve altı gelire sahipken, %11,06'sı

2.021-3.500TL arası, %17,87'si 3.501-5.500 TL arası, %11,49'u 8.501-12.500 TL arası, %5,53'ü 12.501-20.000 TL arası ve %1,70'i 20.001 TL ve üzeri gelire sahiptir. Ankete katılanların genelinin orta gelir grubunda ve lisansüstü eğitime sahip olduğu görülmektedir.

Tüketicilere konut satın alma sebepleri sorulduğunda, genelinin ihtiyaç sebebi ile konut satın aldığı, koşulları iyileştirme ya da yatırım amaçlı konut satın alanların ise daha az olduğu görülmüştür (Çizelge 3).

Tüketicinin konut satın alırken tercihleri ile ilgili sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Tüketicinin konut satın alırken; konutun depreme dayanıklı oluşuna, konumuna, ulaşım olanaklarına, yüzölçümüne, doğalgaz bağlantısı ve yalıtım konularına çok önem verdiği görülmüştür. Akıllı ev sisteminin ise en son sırada yer aldığı ve tüketiciler tarafından çok önemsenmediği görülmüştür.

Tüketicinin konut tercihlerini belirlemek amacıyla rastgele seçilmiş 235 bireye bir anket çalışması uygulanmıştır. Tüketicilerin genelini 26-40 yaş arası, lisansüstü mezunu ve 5501 TL üstü geliri olan bireylerin oluşturduğu görülmüştür. Katılımcıların genelinin ihtiyaçtan dolayı ev satın aldığı ya da almayı düşündüğü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda tüketicinin satın aldığı konut ile ilgili olarak; depreme dayanıklı oluşuna, konumuna, ulaşım olanaklarına, yüzölçümüne, doğalgaz bağlantısı ve yalıtım konularına çok önem verdiği görülmüştür. Ülkede yaşanan depremler sonrası "depreme dayanıklı konut üretimi" firmalar tarafından da reklamlarında vurgulanan bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır. Yaşanan doğal afetlerin tüketicinin tercihlerinde öne çıkması doğal karşılanmaktadır [19]. Bu durum incelendiğinde konum, ulaşım gibi unsurlar konutun lokasyonu ile alakalı konuları oluştururken, sağlam olması ve yeterli büyüklüğe sahip olması gibi unsurlar konutun sabit yani tüketici tarafından değiştirilemez özelliklerini kapsamaktadır. Tüketicinin konut satın alırken işyerine yakınlık ya da şehir merkezine yakınlık gibi konulara önem verdiği ayrıca çocuk sahibi olan bireylerin okula yakınlık unsurundan dolayı konutun konumuna önem verdikleri görülmüştür [20]. Diğer unsurlar olan; doğalgaz

bağlantısı ve yalıtım ise evde tadilat gerektiren ve masraflı sayılabilecek unsurlardır. Daha az önem verilen mutfağın ve banyonun tasarımı, estetik değerler gibi unsurlar ise tüketicinin tadilat ile değiştirebileceği unsurlardır. Bunların yanı sıra; balkon sayısı, kat yüksekliği, cephesi, site içerisinde oluşu gibi unsurlarda tüketici için daha az öneme sahiptir. Akıllı ev sisteminin ise en son sırada yer aldığı ve tüketiciler tarafından çok da önemsenmediği görülmüştür. Örneklemin genelini orta gelir grubu oluşturmaktadır ve genelde akıllı ev sistemleri üst segmente hitap eden evlerde daha çok kullanılmaktadır. Akıllı ev sisteminin orta gelir grubu tarafından önemli bir ihtiyaç olarak algılanmadığı görülmüştür.

Tüketicinin satın aldığı ya da almayı düşündüğü konutun sahip olması gereken özelliklerinin ölçüldüğü 19 sorudan oluşan ölçeğe Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis-PCA) yöntemi ile açıklayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Tüketicilerin konut tercihleri ölçeğine ait 19 soru bir faktör altında toplanmıştır. Çizelge 5’de tüketicinin konut tercihleri ölçeğine ait açıklayıcı faktör analizi sonuçları verilmiştir. Madde yükleri 0,839 ile 0,587 arasında değişmektedir. Bir faktörün toplam varyansa yaptığı katkı %56,169’dur. Tüketicinin satın aldığı ya da almayı düşündüğü konutun sahip olması gereken özellikler ölçeğinin tek faktörlü yapısı “tüketicinin konut tercihi” faktörü olarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 2. Katılımcıların demografik özellikleri

Profil	n	%
Cinsiyet		
Erkek	108	45,96
Kadın	127	54,04
Toplam	235	100
Yaş		
25 yaş ve altı	22	9,36
26 - 30 yaş	83	35,32
31 - 35 yaş	42	17,87
36-40 yaş	42	17,87
41-45 yaş	24	10,21
46 yaş ve üzeri	22	9,36
Toplam	235	100
Medeni Hal		
Bekar	100	42,55
Evli	135	57,45
Toplam	235	100
Eğitim Durumu		
İlköğretim	0	0
Lise	3	1,28
Üniversite	67	28,51
Lisans Üstü	165	70,21
Toplam	235	100
Meslek		
Öğrenci	11	4,68
Devlet Memuru	116	49,36
Özel Sektör	94	40,00
Serbest Meslek	6	2,55
Emekli	3	1,28
İşsiz	5	2,13
Toplam	235	100
Gelir Düzeyi (TL)		
2.020,90 TL ve altı	13	5,53
2.021 - 3.500 TL arası	26	11,06
3.501 - 5.500 TL arası	42	17,87
5.501 - 8.500 TL arası	110	46,81
8.501 - 12.500 TL arası	27	11,49
12.501 - 20.000 TL arası	13	5,53
20.001 TL ve üzeri	4	1,70
Toplam	235	100

Çizelge 3. Tüketicilerin konut satın alma sebepleri

Konut satın alma davranışı altında yatan sebepler	n	%
İhtiyaç	129	54,89
Koşulları iyileştirme (Daha büyük veya daha yeni bir ev gerekliliğinin oluşması vb.)	50	21,28
Yatırım	49	20,85
Diğer	7	2,98
Toplam	235	100

Çizelge 4. Tüketicinin önem verdiği konut özellikleri

Maddeler	Medyan (Ortanca)
1 Deprem yönetmeliğine uygun oluşu	5
2 Konumu	5
3 Ulaşım olanakları	5
4 Odaların yüzölçümü	5
5 Doğalgaz tesisatı/bağlantısı	5
6 Yalıtımı	5
7 Mutfağının tasarımı (modern dizaynı, konsept dizaynı, yüzölçümü vb.)	4
8 İkinci el konut satın alırken, yenilenmiş ve iyileştirilmiş oluşunu önemserim.	4
9 Cephesi (Güneş alma durumu)	4
10 Banyosunun tasarımı (küvet, jakuzi, duşa kabin, ebeveyn banyosu vb.)	4
11 İç mekan tasarımı - Estetik değerler (Malzeme ve renk kullanımı vs.)	4
12 Odaların birbiriyle olan ilişkisi (fonksiyonellik)	4
13 Dairenin bulunduğu kat yüksekliği	4
14 Dolap sayısı, depolama imkanı	4
15 Ek imkânlar (Otopark, güvenlik, çocuk parkı, spor salonu, havuz vb.)	4
16 Manzaralı oluşu (Deniz manzarası, şehir manzarası vb.)	4
17 Balkon sayısı	4
18 Site içerisinde olması	4
19 Akıllı ev sistemlerine sahip oluşu	3

Çizelge 5. Tüketicinin konut tercihi anketi faktör yapısı

Anket soruları	Tüketicinin konut tercihi anketinin faktör yükleri
9	0,839
10	0,826
5	0,810
1	0,809
13	0,799
17	0,791
15	0,778
4	0,770
14	0,762
11	0,754
8	0,740
12	0,736
3	0,729
7	0,727
19	0,702
16	0,697
2	0,669
18	0,666
6	0,587

KMO = 0,950 Barlett Küresellik Testi sig. = 0,000

Tüketicinin demografik özelliklerinin konut tercihlerindeki etkisini araştırmak amacıyla oluşturulan hipotezler Mann-Whitney U ve Kruskal Wallis analizleri ile yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6'da paylaşılmıştır. Hipotez testleri sonucunda anlamlılık değeri %0,05'ten küçük çıkan hipotezler reddedilmiştir. Yapılan hipotez testleri sonucunda tüketicinin konut tercihinde eğitim durumu ve cinsiyete göre anlamlı ilişki bulunmuş; satın alma kararı, yaş, medeni durum, meslek ve gelir düzeyi ile anlamlı ilişki bulunmadığı gözlemlenmiştir.

Cinsiyet ve eğitim düzeyine göre bireylerin konuta ait hangi tercihlerinde farklılık olduğunun detaylı analiz edilmesi için tüketicinin konut tercihi anketinde bulunan her bir madde için Mann-Whitney U (cinsiyet) ve Kruskal Wallis (eğitim düzeyi) analizi uygulanmıştır. "Tüketicinin konuta yönelik tercihlerinde (19 madde için) cinsiyete göre anlamlı farklılık yoktur" hipotezine ait sonuçlar Çizelge 7'de özetlenmiştir. "Tüketicinin konuta yönelik tercihlerinde (19 madde için) eğitim düzeyine göre anlamlı farklılık yoktur" hipotezine ait sonuçlar ise Çizelge 8'de özetlenmiştir.

Yapılan hipotez testleri sonucunda tüketicinin ev satın alma sebebi ile konut tercihleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Tüketicinin demografik özelliklerinden; cinsiyet ve eğitim düzeyi ile konut tercihleri arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Kadın katılımcıların; mutfak ve banyonun tasarımı, ikinci el konutlarda konutun

yenilenmiş olması, yüz ölçümü, kat yüksekliği, fonksiyonellik, doğalgaz bağlantısının varlığı, dolap/depo imkânı, balkon sayısı, konum, ulaşım, cephe ve site içerisinde oluşu konularına erkek katılımcılardan daha fazla önem verdiği gözlenmiştir [21]. Konut satın alırken kadınların konutu ve imkânlarını çok daha aktif kullandığı ve bu sebeple erkeklere göre çok daha detaylı düşündüğü görülmektedir.

Eğitim düzeyine göre incelendiğinde; üniversite ve lisansüstü mezunlarının lise mezunlarına göre konutun; deprem yönetmeliğine uygun oluşu, iç mekân tasarımına, yüz ölçümüne, akıllı ev sistemi, kat yüksekliği, yalıtım, dolap/depo imkânı, balkon sayısı, cephesi, site içi imkânlar, ek imkânlar ve ikinci el konutun yenilenmiş olması gibi konulara daha fazla önem verdiği görülmüştür [22]. Lisans ve lisansüstü mezunlarının depreme dayanıklılık konusunda daha titiz davranmaları daha bilinçli olmalarına bağlanabilir. Genel olarak, lisans ve lisansüstü mezunlarının gelir düzeyi lise mezunlarından daha yüksek olmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde; lisans ve lisansüstü mezunlarının her evin taşınması gereken ana ve optimum özelliklere (fonksiyonellik, doğalgaz, konum, ulaşım, manzara, mutfak ve banyonun tasarımı vs.) ek olarak iç mekân tasarımı, yalıtım, dolap/depo imkanı, balkon sayısı, cephe, site içi olma durumu ve ek imkanlar gibi farklı özellikleri lise mezunlarına göre daha fazla önemsedikleri görülmüştür.

Çizelge 6. Tüketicinin konut tercihi ile ilgili genel hipotezler

Hipotez no	H ₀ Hipotezleri	Anlamlılık	Kabul/Red
H ₀₁	Tüketicinin konut tercihi ile satın alma kararı arasında anlamlı ilişki yoktur.	0,329	
H ₀₂	Tüketicinin konut tercihinde cinsiyete göre anlamlı farklılık yoktur.	0,000	Red
H ₀₃	Tüketicinin konut tercihinde yaşa göre anlamlı farklılık yoktur.	0,144	
H ₀₄	Tüketicinin konut tercihinde medeni durumuna göre anlamlı farklılık yoktur.	0,136	
H ₀₅	Tüketicinin konut tercihinde eğitim durumuna göre anlamlı farklılık yoktur.	0,026	Red
H ₀₆	Tüketicinin konut tercihinde mesleğine göre anlamlı farklılık yoktur.	0,057	
H ₀₇	Tüketicinin konut tercihinde gelir düzeyine göre anlamlı farklılık yoktur.	0,422	

Çizelge 7. Tüketicinin konut tercihi ve cinsiyeti ile ilgili yapılan hipotezler

Hipotez no	H ₀ Hipotezleri	Anlamlılık	Kabul/Red	Açıklama
H ₀₈	Tüketicinin “Deprem yönetmeliğine uygun oluşu” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,230		
H ₀₉	Tüketicinin “Konum” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,001	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₀	Tüketicinin “Ulaşım olanakları” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,006	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₁	Tüketicinin “Odaların yüzölçümü” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,017	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₂	Tüketicinin “Doğalgaz tesisatı/bağlantısı” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,000	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₃	Tüketicinin “Yalıtım” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,162		
H ₀₁₄	Tüketicinin “Mutfağının tasarımı (modern dizaynı, konsept dizaynı, yüzölçümü vb.)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,000	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₅	Tüketicinin “İkinci el konut satın alırken, yenilenmiş ve iyileştirilmiş oluşunu önemserim.” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,002	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₆	Tüketicinin “Cephe (Güneş alma durumu)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,000	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₇	Tüketicinin “Banyosunun tasarımı (küvet, jakuzi, duşa kabin, ebeveyn banyosu vb.)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,001	Red	Kadın>Erkek
H ₀₁₈	Tüketicinin “İç mekan tasarımı - Estetik değerler (Malzeme ve renk kullanımı vs.)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,059		
H ₀₁₉	Tüketicinin “Odaların birbiriyle olan ilişkisi (fonksiyonellik)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,018	Red	Kadın>Erkek
H ₀₂₀	Tüketicinin “Dairenin bulunduğu kat yüksekliği” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,016	Red	Kadın>Erkek
H ₀₂₁	Tüketicinin “Dolap sayısı, depolama imkanı” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,000	Red	Kadın>Erkek
H ₀₂₂	Tüketicinin “Ek imkânlar (Otopark, güvenlik, çocuk parkı, spor salonu, havuz vb.)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,071		
H ₀₂₃	Tüketicinin “Manzaralı oluşu (Deniz manzarası, şehir manzarası vb.)” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,095		
H ₀₂₄	Tüketicinin “Balkon sayısı” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,038	Red	Kadın>Erkek
H ₀₂₅	Tüketicinin “Site içerisinde olması” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,033	Red	Kadın>Erkek
H ₀₂₆	Tüketicinin “Akıllı ev sistemlerine sahip oluşu” tercihinde cinsiyete göre farklılık yoktur.	0,052		

Çizelge 8. Tüketicinin konut tercihi ve eğitim düzeyi ile ilgili yapılan hipotezler

Hipotez no	H ₀ Hipotezleri	Anlamlılık	Kabul/Red	Açıklama*
H ₀₂₇	Tüketicinin “Deprem yönetmeliğine uygun oluşu” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,003	Red	lü>ü>li
H ₀₂₈	Tüketicinin “Konum” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,131		
H ₀₂₉	Tüketicinin “Ulaşım olanakları” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,186		
H ₀₃₀	Tüketicinin “Odaların yüzölçümü” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,014	Red	lü>ü>li
H ₀₃₁	Tüketicinin “Doğalgaz tesisatı/bağlantısı” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,100		
H ₀₃₂	Tüketicinin “Yalıtım” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,005	Red	lü>ü>li
H ₀₃₃	Tüketicinin “Mutfağının tasarımı (modern dizaynı, konsept dizaynı, yüzölçümü vb.)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,230		
H ₀₃₄	Tüketicinin “İkinci el konut satın alırken, yenilenmiş ve iyileştirilmiş oluşunu önemserim.” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,034	Red	ü>lü>li
H ₀₃₅	Tüketicinin “Cephe (Güneş alma durumu)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,025	Red	lü>ü>li
H ₀₃₆	Tüketicinin “Banyosunun tasarımı (kület, jakuzi, duşa kabin, ebeveyn banyosu vb.)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,071		
H ₀₃₇	Tüketicinin “İç mekan tasarımı-Estetik değerler (Malzeme ve renk kullanımı vs.)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,019	Red	ü>lü>li
H ₀₃₈	Tüketicinin “Odaların birbiriyle olan ilişkisi (fonksiyonellik)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,284		
H ₀₃₉	Tüketicinin “Dairenin bulunduğu kat yüksekliği” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,013	Red	lü>ü>li
H ₀₄₀	Tüketicinin “Dolap sayısı, depolama imkânı” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,034	Red	lü>ü>li
H ₀₄₁	Tüketicinin “Ek imkânlar (Otopark, güvenlik, çocuk parkı, spor salonu, havuz vb.)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,025	Red	lü>ü>li
H ₀₄₂	Tüketicinin “Manzaralı oluşu (Deniz manzarası, şehir manzarası vb.)” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,097		
H ₀₄₃	Tüketicinin “Balkon sayısı” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,021	Red	lü>ü>li
H ₀₄₄	Tüketicinin “Site içerisinde olması” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,017	Red	lü>ü>li
H ₀₄₅	Tüketicinin “Akıllı ev sistemlerine sahip oluşu” tercihinde eğitim düzeyine göre farklılık yoktur.	0,012	Red	ü>lü>li
	*ü: Üniversite mezunu, lü: Lisansüstü mezunu, li: Lise mezunu			

Tüketicinin konut ile ilgili tercihlerinin ve bu tercihlerin önem seviyelerinin araştırıldığı bu çalışmada ilk olarak tüketicinin konut satın alma davranışı altında yatan parametrelere bakılmış ve büyük bir çoğunluğun ihtiyaç dolayısıyla konut satın aldığı görülmüştür. Bu sonuca paralel bir şekilde Moral (2018)'da çalışmasında katılımcıların %62,2 oranında oturma amaçlı konut satın almayı planladıkları sonucuna ulaşmıştır [7,23]. Tüketicilerin konutta önem verdiği özellikler sorulduğunda ise; konutun depreme dayanıklı oluşu, konumu, ulaşım olanakları, yüzölçümü, doğalgaz bağlantısı ve yalıtım gibi özelliklerin öne çıktığı görülmüştür. Karagöz ve diğerleri (2015) çalışmalarında bu sonuçları destekler nitelikte bulgulara ulaşmışlardır. Katılımcıların büyük bir kısmı merkezde bir konutu tercih edebileceklerini belirtirken, merkeze yakın konut tercih edenlerinde oranı merkeze uzak tercih edenlerden daha fazladır. Özellikle büyük şehirlerde artan trafik sorunu sebebiyle uzayan ulaşım zamanları sebebiyle bireylerin konut alırken şehirdeki konumuna ve ulaşım imkanlarına önem vermesi kaçınılmazdır. Tosun ve Fırat (2012) ise yaptıkları çalışmada tüketicilere konut satın alma kararında önem verdikleri dışsal faktörleri sormuşlar ve başlıca önem verilen dış faktörlerin sırasıyla; fiyat, güvenlik ve depreme dayanıklılık olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada katılımcılara konutun içi ile ilgili önem verdikleri konular sorulmuş ve sırasıyla; geniş mutfak, geniş salon ve manzara konularının öne çıktığı tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, bireylerin konut satın alırken önem verdiği konuların; konutun konumu, mimari tasarım ve özellikleri, yüzölçümü, sosyal imkânlar, depreme dayanıklılık, güvenlik ve ısınma tipi konuları etrafında toplandığı ve bireyin bu konularda seçici davrandığı belirlenmiştir. Yine benzer sonuçların elde edildiği bir çalışmada Yavuz ve Çemrek (2013) ise katılımcıların konut tercihlerinde sırasıyla; konutun bulunduğu kat, konutun metrekaresi (yüzölçümü), konutun site içerisinde yer alması, otopark bulunması, ısınma tipi ve merkeze olan konumu değişkenlerinin önemsendiğini belirlemişlerdir. Bunlara ek olarak Su (2016) çalışmasında katılımcılar tarafından sırasıyla; konutun konumu, kredi ödeme ve fiyatı, konutun büyüklüğü, mimari özellikleri, gelecekteki gelir etkisi ve reklamın konut satın alırken tercih

sebebi olduğunu ve en çok önemsenen ölçütlerin de sırasıyla; aylık gelir, konut fiyatı, konutun dayanıklılığı, malzeme ve işçilik kalitesi, şehir merkezine yakınlık, düşük faizli, uzun vadeli kredi imkânları ve ödeme koşulları ile yaşam tarzı olduğunu saptamıştır [7,15,1,24,19]. Bu bağlamda firmaların bu özellikleri hedef kitlenin beklentisi sınırları içerisinde konutta bulundurup, öne çıkarmaları gerekmektedir [7].

Bu çalışmada kurgulanan hipotez testleri sonuçları ile de tüketicinin konut tercihinin eğitim durumu ve cinsiyete ilişkilendirilebildiği; satın alma kararı, yaş, medeni durum, meslek ve gelir düzeyi ile ilişkilendirilemediği gözlemlenmiştir. Benzer biçimde Atabeyli ve Keleş (2020)'de çalışmalarında katılımcıların yaşı, medeni durumu, meslek ve çocuk sayısı gibi demografik belirleyicilerin konut tercihi üzerinde oldukça önemsiz ve hatta bazı durumlarda negatif etkisinin söz konusu olduğunu belirlemişlerdir [25].

Çalışmada konuta ait özelliklere kadın tüketicilerin erkeklerden daha fazla önem verdiği de belirlenmiştir. Atabeyli ve Keleş'in (2020) çalışmalarında ise elde ettikleri bulguların bu çalışmayla benzerlik göstermediği görülmüştür. Erkek ve kadın bireyler ile gerçekleştirilen bu çalışmada içsel gizil değişkenler olan Demografik ve Ekonomik Koşullar, Birincil İhtiyaçlara Erişim, İkincil İhtiyaçlara Erişim, Sosyal Çevre ve Komşuluk, İç Mekân Kullanımı ve Dış Mekân Kullanımı faktörlerinin kadın ve erkek bireylerin her ikisinin de Konut Tercihi dışsal gizil değişkeni üzerinde pozitif yönde önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu içsel gizil değişkenler baz alındığında konut tercihleri kadın ve erkek tüketicilerde ufak farklılıklara rağmen aynı etkenler üzerinde şekillenmektedir [25]. Memiş (2018) çalışmasında konutun iç özellikleri açısından kadın ve erkek bireyler arasında farklılıklar söz konusu olduğunu ve bu farklılıkların kadınlardan kaynaklandığı belirlemiştir. Dolayısıyla kadınların tercih edilecek konutun iç özelliklerine bakarak karar verdikleri söylenebilir [26].

Çalışmada ayrıca katılımcıların eğitim düzeylerinin konut tercihlerine etki ettiği sonucuna da ulaşılmıştır. Zorlu ve Sağsöz'ün (2010) müstakil

konut sitelerinde kullanıcı tercihlerini belirlemeye yönelik çalışmaları sonucu elde ettikleri bulguların bu çalışmayla paralellik göstermediği görülmüştür. Konutta oturulmuş süre, gelir düzeyi, aile büyüklüğü ve yine konutun kullanımında en etkin kişi olan kadın bireyin eğitim durumu, yaş ve mesleğinin konutta yapılan değişikliklerin türü ve hedeflenen özellikler arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır [27]. Tremblay ve Dillman (1983) ise çalışmalarında bu çalışma sonuçlarına benzer biçimde katılımcıların eğitim düzeylerinin konut tercihlerinde etkili bir faktör olduğunu, eğitim düzeyi yüksek olan kişilerin konut tercihlerinde uluslararası yönelim ve gelişmelere daha eğilimli olduklarını saptamıştır [26,28].

Öte yandan bir yatırım veya ihtiyaç olarak konutun, çoğu insanın ömründe ya hiç ya da bir kez sahip olabileceği bir yatırım olması durumu dikkate alındığında, bireylerin bu konuya titizlikle yaklaşarak isabetli kararlar verme istekleri kaçınılmaz olmaktadır [7]. Satın alınması planlanan konutta dair fiziksel özelliklerin ve firmaların sunduklarının konut talebi üzerinde oldukça belirleyici bir etkisi bulunması gerçeği de düşünüldüğünde; konut yapım işi ile uğraşan yüklenicilerin arsa seçiminde ve konut tasarımında özellikle ve öncelikle hedef kitleyi iyi belirleyip, bu kitlenin istek ve beklentileri doğrultusunda şekillenen proje dizaynlarıyla, ulaşım imkânları iyi olan, mümkün olduğunca merkeze yakın yerler seçmeleri gerekmektedir. Örneğin çocuklu ailelerin hedeflendiği bir müşteri kitlesi için park ve okul yakınlarında ya da site içi rekreasyon alanlarının olduğu bir tasarımın yapılması; sanayi bölgelerindeki ihtiyaca yönelik projelerde ise çok odalı geniş konutlar yerine daha küçük, bireyselliğe önem veren ve bireyin gündelik ihtiyaçlarına ev ve iş lokasyonlarından çok uzaklaşmadan tek bir bölge içerisinde karşılayabildiği konutların olduğu tasarımların yapılması ve konutun bu özelliklerinin reklamlarda vurgulanması tüketicinin ilgisini çekecektir.

4. SONUÇLAR

Konut sektörü Türk inşaat sektörünün en büyük alt sektörü niteliğindedir. Rekabetin yoğun yaşandığı, risklerin ve belirsizliklerin fazla olduğu inşaat

sektöründe firmaların müşteri portföyünü belirleyerek, tüketici ihtiyaçlarına göre konut tasarımları yapmaları yeni konutların satışında firmayı finansal olarak rahatlatacaktır. Konut satışında iyi planlanmış bir pazarlama stratejisi benimsemek firmanın pazarda uzun süre varlığını sürdürmesine de yardımcı olacaktır.

Pazarlama çalışmalarının temelinde “müşteri istek ve ihtiyaçlarının belirlenmesi” yer almaktadır. Konut sektöründe tüketicinin “satın alma davranışı” ilerleyen teknoloji, değişen aile yapısı, büyüyen şehirler gibi unsurlar sebebiyle değişken bir yapı sergilemektedir. Konut sektöründe akıllı ev sistemlerinin kullanımı, daha küçük aile yapısının ortaya çıkması, günümüz aile yapısında kadının da çalışması, büyüyen şehirlerde ulaşımın gün içinde kapladığı zamanın önemli bir hale gelmesi, sosyal mekanları olan site oturumlarına olan talebin artması, kentsel dönüşüm sonucu yapılan konutların beklentiyi karşılama durumu gibi pek çok unsur da inşaat sektöründe konut satın alma davranışının araştırılmasını gerektirmekte ve değişen koşulların varlığı da bu konunun önemini korumasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada konut satın alma davranışı hem mimari yönden değerlendirilmiş, hem de örneklemin demografik özellikleri açısından tüketici tercihlerinin altında yatan sebepler olarak incelenmiştir.

Çalışmada, örneklemin genelini lisans ve lisansüstü eğitim seviyesine sahip bireyler oluşturmaktadır. Eğitim düzeyinin belli bir seviyede olması bireylerin yeni teknolojiler (akıllı ev sistemleri) ve enerji verimliliği (yalıtım) gibi konular hakkında bilgi sahibi olma ihtimalini arttırmakta ve katılımcıların bilinçli tercihler yaptığını düşündürmektedir. Çalışma sonucunda yapılan hipotez testi sonucuna göre katılımcıların eğitim seviyeleri ile konut tercihleri arasında anlamlı ilişki bulunması da bu durumu desteklemektedir. Ayrıca cinsiyete göre de konut tercihlerinde farklılık olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle ailelere satış yapmayı hedefleyen firmaların mutfak, banyo ve kiler tasarımına önem vermeleri ve reklamlarında bunu öne çıkarmaları faydalı olacaktır.

Konut pazarlamasında reklam kanalının dışında müşteri ile birebir iletişimde etkisi büyüktür.

Hatta asıl satın alma kararı genelde bu birebir görüşmeler esnasında netleşmektedir. Bu noktada tüketicinin kadın ya da erkek oluşuna göre ev ile ilgili vurgulanan özellikler daha da önemli hale gelebilmektedir. Aşağıda tüketicinin çok önem verdiği konular özetlenmiştir.

Çalışma sonucunda orta gelir grubunun genelini ihtiyaç ya da koşulları iyileştirme sebebi ile konut satın aldığı tespit edilmiştir. Tüketicinin önem verdiği konular incelendiğinde, depremlerin çok yaşandığı ülke koşullarında ilk sırada “deprem yönetmeliğine uygun oluşu” maddesinin bulunması normal karşılanmaktadır. Her bireyin can güvenliğinin en önemli kriter olması ve psikolojik olarak bunun verdiği rahatlık konut satın alma tercihlerine de yansımaktadır. Son yıllarda yapılan yasal düzenlemeler ve yapı denetim sisteminin tüm ülkede uygulanması yeni yapılan konutlarda deprem güvenliği kaygısının önüne geçmektedir. Bununla beraber halen bazı yüklenici firmalar reklamlarında bu konuyu kullanmaktadır. Anket sonuçlarına göre halen tüketicinin “depreme dayanıklılık” ile ilgili vurgulamalara önem verdiği gözlenmiştir. Yüklenici firmalar konut reklamlarında bu konuyu ön plana çıkartmasa bile yine de müşteri ile birebir görüşmeler de bu konunun da vurgulanması olumlu bir etki yaratabilir.

Yüklenici firmaların konutun konumuna karar verirken orta gelir ya da düşük gelir grubu için şehir merkezine daha yakınlık ve ulaşım olanaklarına önem vermesi ve reklamlarında bunu vurgulaması önerilmektedir.

Tüketicinin önem verdiği diğer bir konu da konutun yüzölçümüdür. Bu noktada konutların verimli kullanılması, depolama imkanının fazla olması ve mekanlara fonksiyona bağlı olarak optimum tefriş elemanın (örneğin bir çocuk odasına; 1 yatak, 1 komidin, bir gardrop ve 1 çalışma masasının sığması) sığmasına imkan verecek boyutta tasarlanmasına önem verilmesi gerekmektedir.

Doğalgaz tesisat bağlantısının varlığı da konut tercihlerini etkileyen bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Sonradan yapılan tadilatlar mevcut malzemeye ve tasarıma zarar verebileceği için satın

alınacak konutun doğalgaz tesisatının olması önemli görülmektedir. Yalıtım konusunda özellikle satış esnasında hane başına düşen enerji giderlerinin azaltılmasındaki önemi ve çevreye olumlu etkilerinin vurgulanması önerilmektedir. Yüklenici firmalar tarafından; yalıtımın enerji giderlerine olan olumlu etkisinin vurgulanması tüketicinin de bilinçlenmesine katkı sağlayacaktır.

Yüklenicilerin tüketici tercihlerine göre ürettikleri projeleri uygun reklam çalışmaları ve pazarlama stratejileriyle vurgulaması önerilmektedir.

Çalışma genel olarak orta gelir grubuna uygulanmıştır, çalışmaya alt ve üst gelir grubunun da dahil edilmesi ile sonuçların yüklenici firmalar için daha da aydınlatıcı olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Su, Ö., 2016. Oturum Amaçlı Konut Pazarlamasında Müşteri Tercihleriyle İlgili Bir Araştırma, İstanbul Aydın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 101.
2. Şenyurt, Ö., 2001. Konut Pazarlamasında Tüketicinin Satın Alma Davranışları ve Bir Uygulama, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 146.
3. Wang, D., Li, S., 2006. Socio-economic Differentials and Stated Housing Preferences in Guangzhou, Habitat International, China, 305-326.
4. Su, Ö., Kaplan, B., 2017. Konut Pazarlamasında Pazarlama Karması Stratejileri Üzerine Bir Araştırma, Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1-26.
5. Gür, M., Sezer, F.Ş., 2018. Popularity in House Preferences - a Research on Usersatisfaction: Bursa Balat Sample, International Refereed Journal of Design and Architecture, 1-27.
6. E., Mulliner, Algrnas, M., 2018. Preferences for Housing Attributes in Saudi Arabia: a Comparison Between Consumers' and Property Practitioners' Views, Cities, 152-164.
7. Aras Baş, H.K., 2020. Tüketicilerin Konut Satın Alma Davranışlarının Markalaşma Faktörü Kapsamında İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 121.

8. Koklic, M., Vida, I., 2009. A Strategic Household Purchase: Consumer House Buying Behavior, *Managing Global Transition International Research Journal*, 75-96.
9. Ö.L., Kellekci, Berköz, L., 2006. Konut ve Çevresel Kalite Memnuniyetini Yükselten Faktörler, *İtü Dergisi/a*, 167-178.
10. Yalçın, A., Dumanoglu, S., Alpaslan, H.İ., 2009. Uzun Vadeli Konut Finansmanı Sisteminin (Mortgage) Türk Konut Sektörü İçerisindeki Yeri ve Satılma Eğiliminin Belirlenmesine Yönelik Uygulama, *MUFAD Journal*, 74-79.
11. Güremen, L., 2016. Konut ve Yerleşim Alanı Kullanıcı Algısının Memnuniyet ve Tercih Davranışına Etkisi Üzerine Bir Araştırmada Amasya Örneği, *Technological Applied Sciences*, 24-64.
12. Ratchatakulpat, T., Miller, P., Marchant, T., 2009. Residential Real Estat ePurchase Decisions in Australia: Is it More Than Location?, *International Real Estate Review*, 273-294.
13. Ayman, H., Al-Momani, 2000. Structuring Information on Residential Building: a Model of Preference, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 179-190.
14. Ayman, H., Al-Momani, 2003. Housing Quality: Implications for Design and Management, *J. Urban Planning & Development*, 177-194.
15. Yavuz, S., Çemrek, F., 2013. Konjoint Analizi ile Sağlık Çalışanlarının Konut Tercihlerinin Belirlenmesi, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 379-396.
16. Karunarathne, L., Ariyawansa, R., 2015. Analysis of House Purchase Intention, *Sri Lankan Journal of Management*, 28-51.
17. Moghimi, V., Jusan, M., 2015. Priority of Structural Housing Attribute Preferences: Identifying Customer Perception, *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 36-52.
18. Kalaycı, Ş., 2008. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, *Asil Yayın*, 426.
19. Karakurt Tosun, E., Fırat, Z., 2012. Kentsel Mekândaki Değişimler ve Kişilerin Konut Tercihleri: Bursa Örneği, *Business and Economics Research Journal*, 173-195.
20. Chia, J., Harun, A., Kassim, A., Martin, D., Kepal, N., 2016. Understanding Factors that in Fluence House Purchase Intention Among Consumers in Kota Kinabalu: an Application of Buyer Behavior Model Theory, *Journal of Technology Management and Business*, 94-110.
21. Baran, H., 2007. Ailelerin Konut Satın Alma Tutum ve Davranışları Üzerinde Bir Araştırma, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 129.
22. Demir, G., 2018. Tüketicilerin Konut Satın Alımını Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma, *Toros Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 133.
23. Moral, S., 2018. Konut Satım Alımlarında Tüketici Davranışı ve Marka Algısı ile Bilinirliğinin Satın Alıma Etkisi, *Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 96.
24. Karagöz, Y., Eş, A., Yavuz, S., 2015. Nominal İlişki Ölçüleriyle Konut Satın Almaya Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi: Bolu İli Örneği, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 247-260.
25. Atabeyli, O.C., Keleş, Ş., 2020. Konut Tercihinde Cinsiyet Etkili mi? Davranışsal İktisat ve Rasyonelite Paradoksu, *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 126-145.
26. Memiş, S., 2018. Tüketicilerin Konut Seçimini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma, *International Journal of Academic Value Studies (Javstudies)*, 652-665.
27. Zorlu, T., Sağsöz, A., 2010. Müstakil Konut Sitelerinde Kullanıcı Tercihlerine Bağlı Fiziki Müdahaleler: Trabzon Örneği, *METU. JFA*, 189-206.
28. Trembley, R.K., Dillman, A.D., 1984. Beyond the American Housing Dream: Accommodation to the 1980s, *University Press of America*, 11(1), 45-46.

Akasya Zamkı (Arabik Gam) ile İyileştirilen Nehir Kumunu ve Geri Dönüştürülmüş Kumun Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması

Ufuk TUNÇ¹, Baki BAĞRIAÇIK^{*1}, Abdulazim YILDIZ¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 20.05.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Özet

Günümüzde zemin iyileştirme için kullanılan geleneksel katkıların yerine, atık ve doğaya zarar vermeyen alternatif malzemelerin kullanılabilirliği çalışmacıların ilgisini çekmiştir. Bu çalışmada kum zeminlerin geleneksel katılara alternatif bir katkı olan Akasya zımkı (Arabik Gam-AG) biyopolimerinin zemin iyileştirmede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde geri dönüştürülmüş kum (GDK) ve nehir kumu (NK) kullanılmıştır. Bu bağlamda, kum zemin numunelerine ağırlıkça %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 olarak ıslak karışım yapılarak 1, 7, 14 ve 21 günlük kür süreleri için bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kür süresi arttıkça standart basınç dayanımlarında kayda değer bir artış ve zeminin permeabilitesinin ise kayda değer oranda düşerek zeminlerin geçirimsiz hale geldiği gözlenmiştir. Bu çalışma ile inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen GDK'nın NK yerine kullanılacak alternatif bir inşaat malzemesi olarak kullanılabilirliği anlaşıldı. Ayrıca AG'nin bu tür zeminlerin mühendislik özelliklerinin çevreye zarar vermeden iyileştirilebileceği de belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, Akasya zımkı, Geri dönüştürülmüş kum, Standart basınç deneyi, Geçirgenlik

Investigation of Engineering Properties of River Sand and Recycled Sand Improved with Acacia Gum (Arabic Gum)

Abstract

Today, instead of the traditional additives used for soil improvement, the use of alternative materials that do not harm nature and waste has attracted the attention of researchers. In this study, the usability of Arabic gum (AG) biopolymer, which is an alternative additive to the traditional additives of sandy soils in soil improvement, was investigated. Recycled sand (GDK) and river sand (NK) were used in the experiments. In this context, a series of experiments were carried out for different curing times (1, 7, 14, and 21 days) by adding different amounts of AG (2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10.0%) to the samples. As a result, it was observed that as the curing time increased, the standard compressive strength increased significantly, and the permeability of the soil decreased significantly. With this study, it was determined that recycled sand could be used as an alternative construction material to river sand. In addition, AG was found to be an environmentally friendly additive that could be used to improve the engineering properties of both soils.

Keywords: Soil improvement, Acacia gum, Recycled sand, Standard compressive strength, Permeability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bakibagriacik@gmail.com

1. GİRİŞ

Yapıların inşa edileceği zeminler her zaman istenilen mühendislik özelliklerine sahip olmayabilir. Mühendislik özellikleri bakımından yeterli kriterleri sağlamayan zeminler ya uygun bir zemin ile değiştirilir ya da uygun görülen iyileştirme yöntemi ile iyileştirilir.

Literatürde, genellikle zemin iyileştirmede eski yıllardan beri, kireç, uçucu kül ve çimento gibi geleneksel katkıları kullanılmaktadır. Bu katkıları kullanıldığında, zeminin mühendislik özelliklerinde iyileşmeler sağlanmaktadır. Ancak bu katkıların bazı olumsuz yanları da vardır. Bu katkıların üretimi ve kullanımı sırasında ortaya çıkan karbondioksit (CO₂) çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Bu yüzden bu katkıları alternatif çevreci malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Zemin iyileştirme inşaat mühendisliğinin en eski uygulamalarından biri olmasına rağmen, yine de teknolojik gelişmelere bağlı olarak son yıllarda git gide önem kazanmaktadır [2]. Bu teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanılan malzeme çeşitliliği de sürekli artmaktadır. Son dönemlerde atık malzemelere ve çevre dostu ürünlere karşı ilgi artmaktadır. Bu atık malzemelere kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan binalardan dolayı yüksek oranlarda ortaya çıkan inşaat ve yıkım atıkları da girmektedir. Bu atıklar, depolama alanlarında yer kaplamakla kalmamakla birlikte, aynı zamanda çevresel bozulmaya ve hoş olmayan manzaralara da yol açmaktadır. Bu atığın bertaraf edilmesi yukarıda bahsedilen durumlar açısından önem arz etmektedir [3]. Bu atığın yeniden değerlendirilmesi ile hem depolama alanlarındaki atıklar bertaraf edilmekte hem de ekonomiye fayda sağlanmaktadır. Kianimehr ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada, killi zeminlerin kesme/basınç dayanımlarını ve deformasyon özelliklerini iyileştirmek için geri dönüştürülmüş agregaların kullanımının uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Geri dönüştürülmüş kumun, zemine karıştırılmasının özellikle yol kaplamalarının alt temel zemini için, dayanımın daha fazla olması ve daha az deformasyon göstermesinden dolayı bu malzemenin kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir [4]. Choi ve

arkadaşları (2020) çimento esaslı malzemelerin üretimi boyunca karbondioksit ve nitrojen oksit yaymakta olduğunu ifade etmişlerdir [5]. Bu tür çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüştürülmüş kum ve agrega malzemelerinin zemin iyileştirmede hem tek başına hem de birden fazla bağlayıcı eklenerek zemin iyileştirme olumlu etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır. Son dönemlerde zemin iyileştirmede kullanılan bir diğer katkı malzemesi ise biyopolimerlerdir. Biyopolimer kullanımı çevreci bir katkı olması nedeni ile sıklıkla kullanılmaktadır. Literatürde geleneksel katkıları (çimento, uçucu kül vb.) alternatif olarak biyopolimer kullanımı kullanılabilirliğine işaret eden çalışmalar mevcuttur [6]. Albayrak ve Gencer (2021), kil zeminlerin iyileştirilmesinde keçiyoynuzu biyopolimeri kullanarak, zeminin likit limit değerinin arttığını, kuru birim hacim ağırlıklarının azaldığını, standart basınç dayanımlarının arttığını ve hidrolik iletkenlik değerlerinin iyileştiğini ifade etmişlerdir [7]. Barani ve Barfar (2021) çevre dostu Xanthan gum biyopolimerlerinin zemin iyileştirmede kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sonuç olarak, Xanthan gum biyopolimerinin yüksek su içeriklerinde kırılma dayanımı üzerinde sınırlı etkilere sahip olduğu, suyun buharlaşması ile biyopolimer ile karıştırılmış kilin saf kile göre dayanımın arttığı sonucuna ulaşmışlardır [8]. Shariatmadari ve arkadaşları (2020), Chitosan biyopolimerinin zeminlerin iyileştirmesinde kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, biyopolimerin çevre dostu bir malzeme olduğunu, ağır metalleri ortadan kaldırmak gibi farklı geoteknik uygulamalarda kullanılabilirliğini, hidrolik iletkenliği azaltmak için ve erozyon kontrolünü sağlamak için kullanıldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca kumlu zeminler için uzun vadede; killi zeminler için ise kısa vadede verimli olduğunu, kumlu zeminler için su geçirgenliğini azaltabileceğini belirtmişlerdir [9]. Ni ve arkadaşları (2020) ve Choi ve arkadaşları (2020) zeminlere farklı oranlarda çevre dostu biyopolimerler karıştırarak yaptıkları deneyler sonrasında, zeminlerin mukavemet ve geçirgenlik özelliklerinin iyileştirilebileceğini göstermişlerdir [10]. Lemboye ve arkadaşları (2020) ve Kahiyah

(2020) Akasya zankı (Arabik gam) biyopolimeri kullanarak yapmış oldukları deneyler neticesinde, bu biyopolimerin zeminlerin dayanım parametrelerini artırdığını, zeminlerin geçirgenlik özelliklerini iyileştirdiğini ve erozyon direncini önlediğini belirtmişlerdir [11,12].

Literatüre bakıldığında, inşaat yıkıntı atıkları ve biyopolimerlerinin zemin iyileştirmede ayrı ayrı kullanılmasına yönelik çalışmaların bulunduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmalardan, inşaat yıkıntı atıkları ve biyopolimerlerin zemin iyileştirmede kullanımı ile zeminlerin mukavemet ve geçirgenlik özelliklerinin iyileştirildiği anlaşılmıştır. Bunlara ilave olarak, inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen kum ve agrega malzemelerinin farklı bağlayıcılarla kullanılmasının da önerildiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, inşaat sektöründe kullanılan nehir kumuna alternatif bir malzeme olarak inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüştürülmüş kumun kullanılabilirliğinin araştırılması planlandı. Buna ilave olarak, her iki kum zeminin Akasya zankı (Arabik Gam) biyopolimeri ile iyileştirilmesi sonrasında mukavemet ve geçirgenlik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

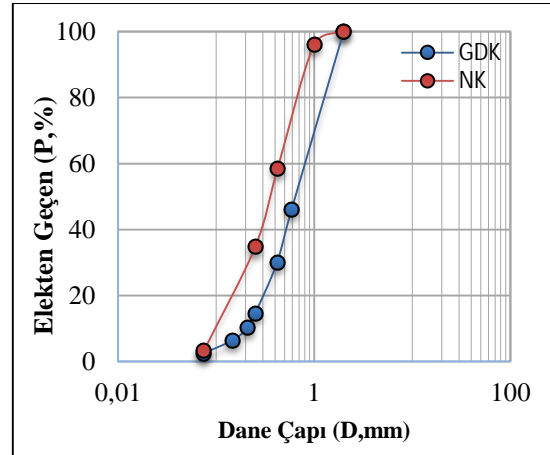
2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan iki farklı kum numunesi Adana ilinden elde edilmiştir. Bu kum numunelerinin birisi inşaat yıkıntı atığından elde edilen geri dönüştürülmüş kum (GDK) diğeri ise nehir kumudur (NK). Her iki numunenin dane boyutları No10 ve No200 elekleri (2 mm ve 0,075 mm) arasında olacak şekilde eleklerden elenip hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan zemin numuneleri öncelikle elek analizi yapılarak dane çapı dağılım eğrileri elde edilmiştir. Dane çapı dağılım eğrileri yardımı ile malzemenin endeks özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen endeks özellikleri, Çizelge 1’de sunulmuştur. Bu endeks özelliklerine bağlı olarak kullanılan zeminler, Birleşik Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) göre kötü derecelenmiş kum (SP) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Parametreler ve açıklamalar

Parametre	Açıklama
D ₁₀	%10 geçen karşılık gelen çap, mm
D ₃₀	%30 geçen karşılık gelen çap, mm
D ₆₀	%60 geçen karşılık gelen çap, mm
C _u	Üniformluluk katsayısı
C _c	Eğrilik katsayısı
SP	Zemin sınıfı
(γ_k) _{mak}	Mak. kuru birim hacim ağırlık, kN/m ³
(γ_k) _{min}	Min. kuru birim hacim ağırlık, kN/m ³
γ_s	Özgül ağırlık

GDK ve NK için yapılan deneyler neticesinde elde edilen gradasyon eğrileri Şekil 1’de, endeks parametreleri Çizelge 2 ve Çizelge 3’te sunulmuştur.



Şekil 1. Dane çapı dağılım eğrileri

Çizelge 2. Geri dönüştürülmüş kum endeks özellikleri

Parametre	Veriler
D ₁₀	0,2
D ₃₀	0,4
D ₆₀	0,8
C _u	4,00
C _c	1,00
SP	Kötü derecelenmiş kum
(γ_k) _{mak}	17,2
(γ_k) _{min}	15,2
γ_s	26,7

Çizelge 3. Nehir kumu endeks özellikleri [13,14]

Parametre	Veriler
D ₁₀	0,18
D ₃₀	0,30
D ₆₀	0,50
C _u	2,78
C _c	1,00
SP	Kötü derecelenmiş kum
(γ_k) _{mak}	17,06
(γ_k) _{min}	15,03
γ_s	26,8

Akasya zamkı olarak bilinen ayrıca arap zamkı olarak da adlandırılan Arabik gam bu çalışmada bağlayıcı biyopolimer olarak kullanılmıştır. Bitkilerden elde edilen açık turuncu veya soluk beyaz arabik gam parçaları, suda çözünme özelliğine sahip ve bu bitkilerin coğrafi dağılımı Afrika'nın batısından Hint yarımadasına kadar değişen bir bölgededir. Arabik gam, bitkilerden kurutulmuş yarı saydam kütleler olarak hasat edilmekte, yabancı maddelerden arındırılarak öğütüldükten sonra kullanıma hazır hale gelmektedir. Arabik gam adını, kendisini Avrupa'ya tanıtan Arap tüccarlardan almıştır. Stabilize edici, koyulaştırıcı ve bağlayıcı özellikleri nedeniyle, dondurmalar, jöleler, şekerler, alkolsüz içecekler, içecekler, şuruplar ve sakızlar gibi çeşitli gıda içeriklerinde de yer almaktadır. İçeriğinde, genellikle bulunan mineraller Ca, Na, K, P ve Pb, Co, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr ve Mn'dir [15]. Bu çalışmada kullanılan AG biyopolimeri, Kimbiotek firmasından temin edilmiştir. Bu biyopolimerin görüntüsü Şekil 2 ve özellikleri ise Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Akasya zamkı (Arabik gam) kimyasal ve fiziksel özellikler

Özellikler	Veriler
pH	4,7
Renk	Sarımsı beyaz toz
Nem	%9,4
Toplam kül	%3,3
Toplam ağır metal	<5 ppm
Kurşun	<1 ppm
Arsenik	<3 ppm
Cıva	<1 ppm
Katmanyum	<1 ppm



Şekil 2. Akasya zamkı (Arabik Gam) biyopolimeri

2.2. Metot

Çalışmada kullanılan kum numunelerinin endeks özelliklerinin belirlenmesi için elek analizi, piknometre (özgül ağırlık) ve rölatif sıklık deneyleri TS 1900-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için standart basınç ve permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zemin numunesine ağırlıkça %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 biyopolimer eklenerek karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım, kalıplara sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Kalıplardan çıkarılan numuneler kürlenme için desikatörlerde bekletilmiştir. Kür süreleri 1, 7, 14 ve 21 gün şeklindedir. Kür sürelerinin sonunda standart basınç dayanımlarının tayini için standart basınç testleri gerçekleştirilmiştir.

GDK ve NK için standart basınç dayanımlarından elde edilen optimum biyopolimer oranı için, 1, 7, 14 ve 21 günlük kür sürelerinin sonunda permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Karışım Yöntemi ile Biyopolimerin Aktifleştirilmesi

AG biyopolimeri zemin numunesine ağırlıkça %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 karıştırılmadan önce, ağırlıkça belirlenen biyopolimerler ıslak karışım yöntemi ile sabit devirli karıştırıcı ile üç dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırıcının görüntüsüne Şekil 3'te yer verilmiştir.



Şekil 3. Sabit devirli karıştırıcı

2.2.2. Biyopolimerin Kum Zemin Numuneleri ile Karıştırılması ve Kalıplara Yerleştirilmesi

Aktifleştirilen biyopolimer, her iki kum içinde belirlenen kütle ve numune sayısına göre numune hazırlanmıştır. Karıştırma kabı içerisinde el ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra standart basınç testi için yapılacak numuneler plastik borulardan yapılan boyutları; çapı 45 mm, yüksekliği 90 mm olan kalıplara 3 tabaka halinde her tabaka için 25 vuruş olacak şekilde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Numuneler rölatif sıklık deneyinden elde edilen maksimum birim hacim ağırlık değerine eş değer yoğunlukta hazırlanmıştır. Şekil 4'te numune hazırlama, kalıplara yerleştirme işlemleri yer almaktadır.



Şekil 4. Numune karıştırma işlemi ve standart basınç deney numuneleri hazırlanması

2.2.3. Kütleme İşlemi

Akasya zıncı ilavesi yapılan zeminlerde, küre süresinin etkisinin belirlenebilmesi için 1, 7, 14 ve 21 gün olmak üzere 4 farklı küre süresi için sabit nem ve sabit sıcaklıkta tutulan desikatörde bekletilmiştir.

2.2.4. Standart Basınç Deneyleri

4 farklı (%2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0) biyopolimer oranı, 4 farklı küre süresi (1, 7, 14 ve 21 gün), 2 farklı zemin numunesi için toplamda her bir deney 3'er tekrarlı yapıldığı için 96 adet numune oluşturulmuştur. Zemin numunelerinin, standart basınç mukavemeti, kırılma anında ki en yüksek yük değerinin numune en kesit alanına bölünmesi ile elde edilmiştir. Deneyler, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.5. Permeabilite Deneyleri

Zemin numunelerinin geçirimsizliğini belirlemek için bir dizi sabit seviyeli permeabilite deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deney yöntemi taneli zeminlerin (kum ve çakıl türü) geçirimsizliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Deneydeki numuneler, AG biyopolimeri ile karıştırılmış hem GDK hem de NK için elde edilen maksimum standart basınç dayanımına karşılık gelen biyopolimer oranı için hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 1, 7, 14 ve 21 günün sonunda deneye tabi tutularak zemin geçirimsizlikleri elde edilmiştir. Deney düzeninde zemin numunesi üzerindeki hidrolik yük sabit tutularak, belirli bir zaman süresi içinde zeminden geçen su miktarı ölçülmektedir. Deney düzeneği Şekil 5'te, hesaplamalarda kullanılan formüller ise Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de gösterilmiştir [16].

$$Q = A.v.t = A.k.i.t \quad (1)$$

$$k = (Q.L) / (\Delta h.A.t) \quad (2)$$

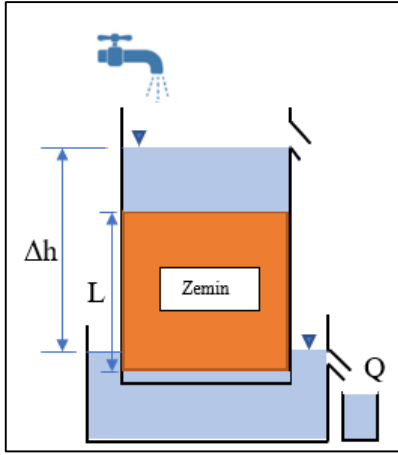
Q : Zeminden geçen su miktarı

T : Belirli zaman süresi

Δh : Hidrolik yük

L : Numune boyu

A : Numune kesit alanı

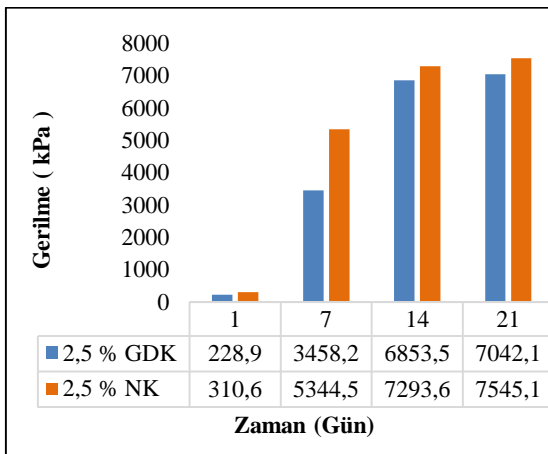


Şekil 5. Sabit seviyeli geçirimsizlik düzeneği

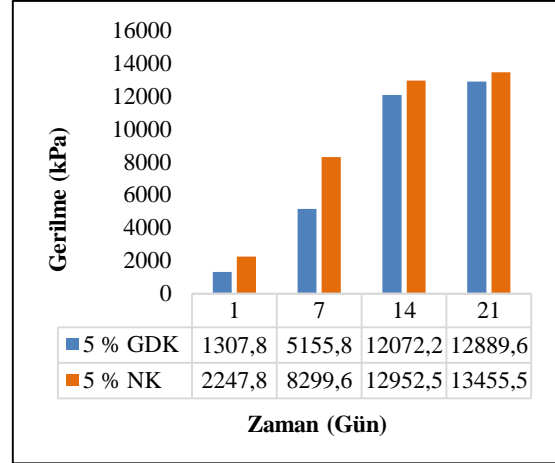
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. AG ile İyileştirilen Zeminlerin Standart Basınç Dayanımları

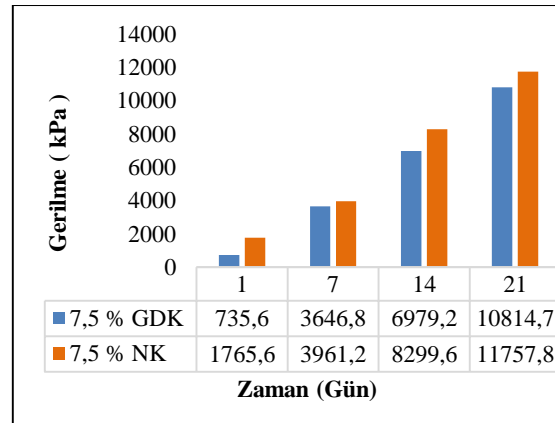
Zemin numunelerine (GDK ve NK), ağırlıkça %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 AG biyopolimeri karışımları için, 1, 7, 14 ve 21 günün sonundaki standart basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ağırlıkça %2,5 AG, %5,0 AG, %7,5, %10,0 ve tüm karışım oranlarının toplu olarak karşılaştırıldığı standart basınç deney sonuçları sırasıyla Şekil 6-10'da sunulmuştur.



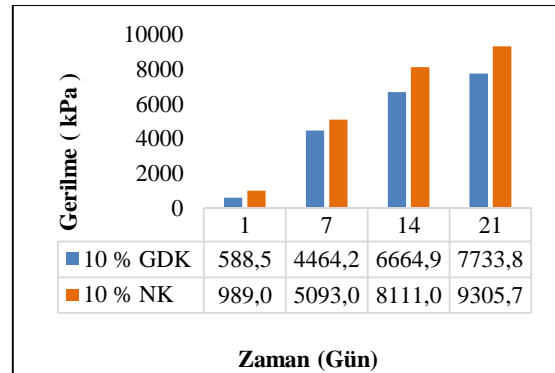
Şekil 6. %2,5 AG ile iyileştirilen zeminlerin standart basınç dayanımları



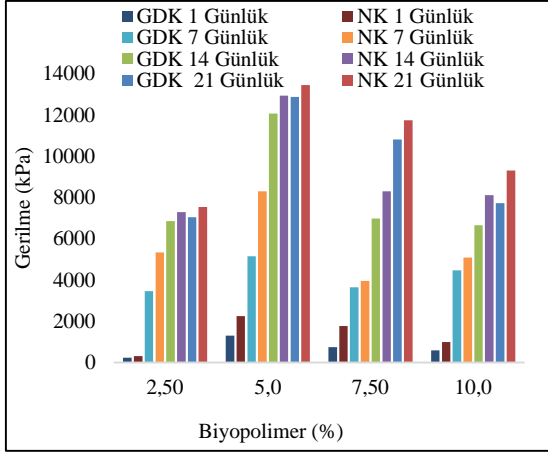
Şekil 7. %5,0 AG ile iyileştirilen zeminlerin standart basınç dayanımları



Şekil 8. %7,5 AG ile iyileştirilen zeminlerin standart basınç dayanımları



Şekil 9. %10,0 AG ile iyileştirilen zeminlerin standart basınç dayanımları



Şekil 10. Tüm karışım oranları için Standart basınç test sonuçları

GDK'ya %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 AG ilave edildiğinde, 7, 14 ve 21. günlerin sonlarında basınç dayanımlarında sırasıyla 15,11, 29,94, 30,76; 3,94, 9,23, 9,86; 4,96, 9,49. 14,70 ve 7,59, 11,33, 13,14 oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Aynı şekilde, NK'ya %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 AG ilave edildiğinde ise, 7, 14 ve 21. günlerin sonlarında basınç dayanımlarında sırasıyla 17,21, 23,48, 24,29; 3,69, 5,76, 5,99; 2,24, 4,70, 6,66 ve 5,15, 8,20, 9,41 oranlarında artışlar meydana gelmiştir. NK ve GDK'ya, %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 AG ilave edildiğinde 1, 7, 14 ve 21. günler için, sırasıyla NK'da 1,36, 1,55, 1,06, 1,07; 1,72, 1,61, 1,07, 1,04; 2,40, 1,09, 1,19, 1,09 ve 1,68, 1,14, 1,22, 1,20 oranlarında fazladan basınç dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir. Buradan tüm günler ve tüm oranlar için, AG ile iyileştirilen NK'nın basınç dayanım değerlerinin GDK'dan daha yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Ancak, GDK'nın AG ilavesi ile yapılan iyileşme sonrasında, basınç dayanım artış oranının ise NK'dan daha iyi olduğu gözlenmiştir. GDK ile hazırlanan numunelerin NK'ya göre daha düşük dayanıma sahip olmasının sebebinin ise, GDK'nın inşaat yıkıntı atıklarından elde edilirken deforme olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. GDK ve NK için en yüksek basınç dayanımına 21. günün sonunda ve %5 AG ilavesinde ulaşılmıştır. Bu nedenle, optimum AG oranı hem GDK hem de AG için %5 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonrasında,

numunelerin kırılma şekillerinin, literatürdeki çalışmalarla uyumlu ve diyagonal çatlaklar şeklinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 11).



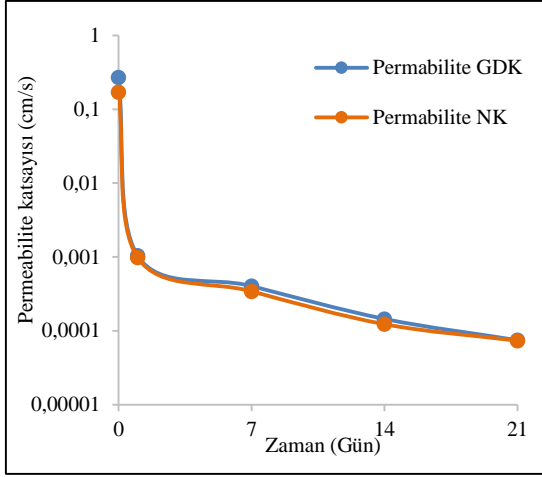
Şekil 11. Standart basınç testi kırılma şekilleri

3.2. AG ile İyileştirilen Zeminlerin Permeabilite Değerleri

Optimum AG oranından hazırlanan GDK ve NK üzerinden bir seri permeabilite deneyi yapılmıştır. Yapılan permeabilite deney sonuçları Çizelge 5 ve Şekil 12'de sunulmuştur. Yüzdesi olarak ifade edilen bu durum için ve aynı kür sürelerinde permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. GDK ve NK zeminlerine AG biyopolimeri eklenmeden önce, permeabilite değerleri sırasıyla, $2,69 \times 10^{-1}$ cm/sn ve $1,70 \times 10^{-1}$ cm/sn olarak belirlenmiştir. AG biyopolimeri GDK ve NK'ya eklendiğinde, tüm zamanlar için permeabilite değerlerinde kayda değer düşüşle gözlenmiştir. AG biyopolimerinin, zeminlerin daneler arasındaki boşlukları doldurarak geçirimsizliği azalttığı anlaşılmıştır. Bu yüzden, AG biyopolimeri kullanılarak, GDK ve NK'nın geçirimsiz hale getirilebileceği anlaşılmıştır.

Çizelge 5. Permeabilite (k) deney sonuçları

Zaman (Gün)	NK k (cm/sn)	GDK k (cm/sn)
1	$9,81 \times 10^{-4}$	$1,04 \times 10^{-3}$
7	$3,43 \times 10^{-4}$	$4,04 \times 10^{-4}$
14	$1,23 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-4}$
21	$7,35 \times 10^{-5}$	$7,47 \times 10^{-5}$



Şekil 12. Optimum biyopolimer karışımının zamana göre permeabilite katsayısının karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, akasya zamkı (Arabik gam-AG) biyopolimeri ile iyileştirilen nehir kumu (NK) ve geri dönüştürülmüş kumun (GDK) standart basınç dayanımları ve permeabilite özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

AG biyopolimeri ile iyileştirilen GDK ve NK için kür süresine bağlı olarak standart basınç dayanımlarının kayda değer oranlarda arttığı gözlenmiştir. Ancak, NK'nın basınç dayanımlarının tüm karışım oranları ve tüm kür sürelerinde GDK'dan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin GDK'nın inşaat yıkıntı atıklarından elde edilmesi sebebi ile danelerinin deforme olduğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

NK'nın basınç dayanımlarının GDK'dan her AG oranı ve her kür süresinde yüksek olmasına rağmen, standart basınç dayanım artış oranının ise sırasıyla 30,76 ve 24,29 kata kadar artış göstererek, GDK'da daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Permeabilite deney sonuçları, AG biyopolimerinin, GDK ve NK'nın geçirimsiz bir katman oluşturmak için kullanılabileceğini göstermiştir.

AG'nin ile su karışması ile hidratasyona bağlı olarak jelimsi bir yapı şeklinde oluşan hidrojeller, GDK ve NK'nın danelerinin arasında bir bağlayıcılık göstermektedir. Oluşan bu bağlayıcılık, zamana bağlı olarak karışımdaki suyun azalmasıyla da daha da güçlü bir hale dönüşmektedir. Bu hidrojellerin oluşturduğu bağlayıcılık sayesinde de GDK ve NK'nın hem dayanım özellikleri hem de permeabilite özellikleri kayda değer bir şekilde iyileşmiştir.

Bu çalışma ile, NK'ya alternatif olarak bir malzeme olarak inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen GDK'nın kullanılabileceği ve AG biyopolimerinin, her iki zeminin de mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince, FYL-2021-13696 nolu proje numarası kapsamında desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Jang, J., 2020. A Review Of The Application of Biopolymers on Geotechnical Engineering and The Strengthening Mechanisms Between Typical Biopolymers and Soils, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol:2020, 16.
2. Selçukhan, O., Ekinçi, A., 2021. Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 481-496.
3. Esfahani, M.A., 2018. Evaluating The Feasibility, Usability and Strength of Recycled Construction and Demolition Waste in Base and Subbase Courses, *Road Materials and Pavement Design*.
4. Kianimehr, M., Shourijeh, P.-T., Binesh, S.-M., Mohammadnia, A., Arulrajah, A., 2019. Utilization of Recycled Concrete Aggregates for Light-Stabilization of Clay Soils, *Construction and Building Materials*, Vol:227.

5. Choi, S.G., Chang, I., Lee, M., Lee, J.H., Han, J.T., Kwon, T.H., 2020. Review on Geotechnical Engineering Properties of Sands Treated by Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP) and Biopolymers, *Construction and Building Materials*, 246, 118415.
6. Keçecioglu, M., 2016. Kum Zeminlerin Biyopolimer ile İyileştirilmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 64.
7. Albayrak-Kurt, Z.N., Gencer, G., 2021. The Usability of Clay/Pumice Mixtures Modified with Biopolymer as an Impermeable Liner, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(1), 28-36.
8. Barani, R.O., Barfar, P., 2021. Effect of Xanthan Gum Biopolymer on Fracture Properties of Clay, *Journal Materials Civil Engineering*, 33(1), 04020426.
9. Shariatmadari, N., Reza, M., Tasuji, A., Ghadir, P., Javadi, A.A., 2020. Experimental Study on Effect of Chitosan Biopolymer on Sandy Soil Stabilization, *Web of Conferences*, 195, 06007.
10. Ni, J., Li, S.S., Ma, L., Geng, X.Y., 2020. Performance of Soils Enhanced with Eco-friendly Biopolymers in Unconfined Compression Strength Tests and Fatigue Loading Tests, *Construction and Building Materials*, 263, 120039.
11. Lemboye, K., Almajed, A., Alnuaim, A., Arab, M., Alshibli, K., 2020. Improving Sand Wind Erosion Resistance Using Renewable Agriculturally Derived Biopolymers, *Aeolian Research*, 49(2021), 100663.
12. Kahiyah, M.T.M.A., 2020. Investigation of Engineering Properties of Clayey Soils Improved with Biopolymers, MSc Thesis, Cukurova University, Adana.
13. Bağrıçık, B., Laman, M., 2011. Donatısız ve Donatılı Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilmelerin Değişimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4), 787-800.
14. Bağrıçık, B., Yigittekin, E., Uslu, F.M., Dincer, S., 2018. Improvement of Engineering Properties of Sandy Soils by *Bacillus Simplex*, 4th. International Conference on Environmental Science and Technology, Kiev, Ukraine.
15. Patel, S., Goyal, A., 2015. Applications of Natural Polymer Gum Arabic: A Review, *International Journal of Food Properties*, 18(5), 986-998.
16. Özaydın, K., 2006. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul.
17. Uzuner, B. A., 2016. Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon.
18. TS 1500, 2000: İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. TS 1900-1, 2006: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
20. TS 1900-2, 2006: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
21. TS EN 12390-3, 2003: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlansın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Makale ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, yıl, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.

Kitap ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, yıl, kitabın tam adı, cilt numarası, varsa editörü, yayınlandığı yer, son sayfa no.

Bildiri ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, yıl, bildirinin tam başlığı, konferansın adı, yapıldığı yer.

Elektronik ortamdan alınmış ise: Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yıl, bildirinin adı, konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir."

Tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, son sayfa no.

Rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yıl, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayınlandığı yer.

Web Sitesi ise: Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, varsa yayınlandığı yıl, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün, ay, yıl.

Kurum/Kuruluşlara ait ise: Kurum adı, varsa yayınlandığı yıl, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), Erişim Tarihi: gün, ay, yıl.

Elektronik kitap/rapor ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, varsa yayınlandığı yıl, konunun tam adı, Erişim Tarihi: gün, ay, yıl.