

YAYINCI
PUBLISHER



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 10 Sayı/Issue: 3 Eylül/September 2022



İmtiyaz Sahibi / Owner

Deanery of Engineering Faculty, Suleyman Demirel University, Isparta, TURKIYE

Editörler / Editors

Gultekin OZDEMİR

Suleyman Demirel University, Isparta
(Baş Editör / Editor-in-Chief)

Mehmet AVCAR

Suleyman Demirel University, Isparta
(Editör Yrd. / Co-Editor)

Erdal AYDEMİR

Suleyman Demirel University, Isparta
(Editör Yrd. / Co-Editor)

Turgay AYDOĞAN

Suleyman Demirel University, Isparta
(Editör Yrd. / Co-Editor)

Ali AGCAL

Suleyman Demirel University, Isparta

Çağlayan BALKAYA

Suleyman Demirel University, Isparta

Atilla BAYRAM

Van Yuzuncu Yıl University, Van

Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Ali BELEN

Artvin Coruh University, Artvin

Habib GURBUZ

Suleyman Demirel University, Isparta

Barış GUREL

Suleyman Demirel University, Isparta

Tahir Serkan IRMAK

Kocaeli University, Kocaeli

Mesud KAHRIMAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Ayberk KAYA

Recep Tayyip Erdoğan University, Rize

Şemsettin KILINCARSLAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Karani KURTULUŞ

Suleyman Demirel University, Isparta

Alper KUSCU

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Onur OLGUN

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet OZCELİK

Suleyman Demirel University, Isparta

Muhammed Maruf OZTURK

Suleyman Demirel University, Isparta

Savas OZUN

Suleyman Demirel University, Isparta

Yunus PAMUKOĞLU

Suleyman Demirel University, Isparta

Olcay POLAT

Pamukkale University, Denizli

Fatih Ahmet ŞENEL

Suleyman Demirel University, Isparta

Hakan TONGAL

Suleyman Demirel University, Isparta

Volkan UZ

Izmir Institute of Technology, Izmir

Mehmet Ali YALCINKAYA

Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir

Kerim YAPICI

Suleyman Demirel University, Isparta

Demet YILMAZ

Suleyman Demirel University, Isparta

Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Michael G. KAY
North Carolina State University, USA

Bedri TUC
Baskent University, Ankara, TR

Yun-Chia LIANG
Yuan Ze University, Taoyuan, TW

Erol TUTUMLUER
University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA

Alice E. SMITH
Auburn University, Auburn, USA

Fatma YALCINKAYA
Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic

Ravi SANKAR
University of South Florida, Florida, USA

Gerhard-Wilhelm WEBER
Poznan University of Technology, Poznan, PL

Yayın Editörleri / Technical Editors

Ayşe BIYIKLI
Suleyman Demirel University, Isparta

Yasemin SIMSEK TURKER
Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet KIR
Suleyman Demirel University, Isparta

Onur Mustafa UZUM
Suleyman Demirel University, Isparta

Sıla YAMAN
Suleyman Demirel University, Isparta

Dizin ve İndeksler / Abstracting & Indexing

TR-DIZIN / EBSCOhost / SCILIT / ROAD / EuroPUB / SOBIAD / Google Scholar / CrossRef

Duyurular / Announcements

Dergiye 01 Haziran 2022 tarihinden itibaren özgün "Araştırma Makalesi" türü dışındaki başvurular kabul edilmemektedir.

As of 01 June 2022, submissions other than the original "Research Paper" type will not be submitted.

İçindekiler / *Contents*

Araştırma / *Research*

- [1. TAŞIT AERODİNAMİĞİNDE KULLANILAN AHMED CİSMİNİN AKIŞ MODELİ İÇİN PRİZMATİK AĞ KATMANI OLUŞTURURKEN İZLENECEK STRATEJİ](#)
Sinan KEİYİNCİ Mustafa Atakan AKAR Oğuz BAŞ Mustafa ÖZCANLI Sayfa: 776-785
- [2. DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS AND TECTONO-SEDIMENTARY DEVELOPMENT OF THE KARGI-İSKİLİP EOCENE SUBMARINE FAN SYSTEMS \(ÇORUM, N-TURKEY\)](#)
Murat ŞENTÜRK Ezher TAGLIASACCHİ Tülay ALTAY Fuzuli YAGMURLU Sayfa: 786-803
- [3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ\(HTEA\): İMALAT ATÖLYESİNDE ANLIK HATA VE DURUM İZLEME UYGULAMASI](#)
Ceren ARSLAN KAZAN Halil KORUCA Buket KARATOP Sayfa: 804-815
- [4. GÖRÜNTÜ STEGANOĞRAFİSİNDE YAYGIN KULLANILAN VERİ GİZLEME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ](#)
Murat UZUN Serdar SOLAK Sayfa: 816-830
- [5. CREATING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM \(GIS\) DATABASE WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES \(UAV\) IN ARCHAEOLOGICAL AREAS; THE CASE OF ANEMURIUM ANCIENT CITY](#)
Fanise USLU KOÇYİĞİT Süleyman Savaş DURDURAN Tansu ALKAN Sayfa: 831-843
- [6. GÖRÜNTÜ FİLTRELEME İLE DENETİMSİZ RETİNA DAMAR BÖLÜTLENMESİ İÇİN PARAMETRE ENİYİLEŞTİRİLMESİ](#)
Cem YAKUT Sezer ULUKAYA Sayfa: 844-855
- [7. DÖKÜM PARÇA TAŞLAMA İŞLERİNDE EL-KOL TİTREŞİMİNİN ÖLÇÜLMESİ VE MARUZİYETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ](#)
Onur ŞAHİN Müge ENSARİ Rüştü UÇAN Sayfa: 856-868
- [8. YER FISTIĞI KABUĞU KÜLÜNÜN SIFCON'UN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ](#)
Yusuf Tahir ALTUNCI Cenk ÖCAL Sayfa: 869-877

- [9. ÜSTYAPI DURUM İNDEKSİ VE SÜRÜŞ KONFORU ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN MODELLENMESİ](#)
Ufuk KIRBAŞ Mustafa KARASAHİN Sayfa: 878-890
- [10. GIDA SEKTÖRÜNDE YÖNETİM SİSTEMİ DENETİMLERİ VE KARŞILAŞILAN SORUNLAR](#)
Mustafa Kemal DEMİRAG A. Zeki HEPCİMEN Fırat ÖZEL Ömer Kemal KEMAHLIOĞLU Sayfa: 891-898
- [11. ANTALYA VE ISPARTA YAĞIŞ VERİLERİNİN TREND ANALİZİ](#)
Elif Gülen KIR Veysel GÜLDAL Sayfa: 899-907
- [12. DEVELOPMENT OF MULTICARRIER VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEM USING ARM CORTEX-M3 MICROCONTROLLER](#)
Özhan ARIOĞLU Koray GURKAN Sayfa: 908-916
- [13. MONTHLY STREAM FLOWS ESTIMATION IN THE KARASU RIVER OF EUPHRATES BASIN WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPROACH](#)
Okan Mert KATIPOĞLU Sayfa: 917-928
- [14. SOĞUK ZİNCİR LOJİSTİĞİNDE GEZGİN SATIN ALICI PROBLEMİ İÇİN İKİ AŞAMALI BİR ÇÖZÜM YÖNTEMİ](#)
İlker KÜÇÜKOĞLU Sayfa: 929-942
- [15. AKTİF ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI ANALİZİ \(A-ÇKYDA\)YÖNTEMİNDE VERİ TOPLAMA VE TABAKA PARAMETRELERİNİN TEMEL MOD DISPERSİYON EĞRİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ](#)
Hakan KARSLI Mustafa ŞENKAYA Sayfa: 943-962
- [16. DETERMINING THE EFFECT OF LEVEL OF FLOOR, EXTERNAL WALL THICKNESS AND JACKETING ON ACOUSTIC COMFORT IN EXISTING RESIDENTIAL BUILDINGS IN TURKEY](#)
Murat CEVİKBAS Sayfa: 963-972
- [17. TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA](#)
Hande ALADAĞ Sayfa: 973-986
- [18. AYRIK PSO ALGORİTMASI İLE KONSOL DÖŞEMELERİN GÜVENİLİRLİK TABANLI KESİT OPTİMİZASYONU](#)
Mehmet K. DERDİMAN Sayfa: 987-999
- [19. ANALYSIS OF DATA SECURITY AND CYBER-ATTACK METHODS IN DIGITAL CURRENCY](#)
İsa AVCİ Sayfa: 1000-1013
- [20. DETECTION OF STANDARD PLANE FROM ULTRASOUND SCANS BY DEEP LEARNING METHODS FOR THE DIAGNOSIS OF DEVELOPMENTAL HIP DYSPLASIA](#)
Kerim Kürşat ÇEVİK Şeyda ANDAÇ Sayfa: 1014-1026

[21. URGANLI \(MANİSA\) TRAVERTENLERİNİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE TEKTONİZMA İLE İLİŞKİSİ](#)

Zülfü DEMİRKIRAN Hakan ELÇİ

Sayfa: 1027-1042

[22. PANDEMİ SÜRECİNDE ŞEHİR İÇİ YOLCU TAŞIMA SAYILARININ VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ: KAYSERİ ÖRNEĞİ](#)

Gülçin CANBULUT

Sayfa: 1043-1053

[23. APPLICATION OF LABOR PRODUCTIVITY ANALYSIS IN TROUSERS SEWING LINE](#)

Meral İŞLER Mehmet KÜÇÜK

Sayfa: 1054-1065

[24. FARKLI DUVAR MALZEMELERİNE SAHİP YIĞMA BİR BİNANIN 2007 VE 2018 DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI](#)

Bilal BARAN Kanat Burak BOZDOĞAN İsmail İsa ATABEY

Sayfa: 1066-1075

[25. TARIMSAL BİR ATIK OLAN HAVUÇ YAPRAĞININ BİTKİ ÇAYI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ](#)

Beyza TÜRKÖZ Merve Seçil BARDAKÇI Ayşe BIYIKLI Erkan KARACABEY

Sayfa: 1076-1083

[26. STRUCTURAL FLOOD ANALYSIS BASED ON THE HYDRAULIC MODEL OF THE KÜÇÜK AKSU RIVER](#)

Tahsin BAYKAL Özlem TERZİ Erhan ŞENER

Sayfa: 1084-1096

Derleme / Review

[27. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNE SENTETİK ESASLI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN YIKAMA İŞLEMLERİNİN ETKİSİ](#)

Fatma GÜNDÜZ BALPETEK Aslı DEMİR Esen ÖZDOĞAN

Sayfa: 1097-1106

[28. TÜRK TEKSTİL VE HAZIR GİYİM İŞLETMELERİNDE DÖNGÜSEL EKONOMİYE GEÇİŞ-KISA BİR DEĞERLENDİRME](#)

Sule ALTUN KURTOĞLU

Sayfa: 1107-1116

[29. 4D BASKI TEKNOLOJİLERİ VE TEKSTİLDE KULLANIM ALANLARI](#)

Duygu ERDEM AKGÜN

Sayfa: 1117-1127

[30. HTLS İLETKENLERİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ](#)

Yiğit AKYOL Altuğ BOZKURT

Sayfa: 1128-1140



TAŞIT AERODİNAMİĞİNDE KULLANILAN AHMED CİSMİNİN AKIŞ MODELİ İÇİN PRİZMATİK AĞ KATMANI OLUŞTURURKEN İZLENECEK STRATEJİ

Sinan KEİYİNCİ¹, Mustafa Atakan AKAR¹, Oğuz BAŞ^{2*}, Mustafa ÖZCANLI¹

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

² Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

HAD,
Ahmed Cismi,
Taşıt Aerodinamiği,
Sınır Tabakası,
Çözüm Ağı.

Öz

Bu makalede, otomotiv aerodinamiği literatüründe sıklıkla kullanılan Ahmed cismi için bir HAD benzetiminde ağ oluşturma stratejisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalarda, türbülanslı sınır tabaka bölgelerini modellemek için prizmatik ağ katmanı oluştururken farklı yöntemler gözlemlenmektedir. Yetersiz bir prizmatik ağ katmanı sınır tabakasını çözmede eksik kalırken, bu katmanın gereğinden fazla olması ise ağ sayısını, dolayısıyla çözüm sürelerini artırmaktadır. Bu çalışmada, Ahmed cisminin akış yapısı, Ansys-Fluent™ programı ile akış hızına ($U_{\infty}=40$ m/s) ve gövde uzunluğuna bağlı Reynolds sayısı $Re=2.83 \times 10^6$ olacak şekilde incelenmiştir. Matematiksel ifadelerden yararlanılarak oluşturulan prizmatik ağ katmanı ve bu ağın sonuçları hem nitel hem de nicel yönden incelenip, farklı bir strateji geliştirilen son bir ağ ile sonuçlar tekrar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kabaca oluşturulan ilk ağ ile sonradan geliştirilen ağlar arasında, sınır tabakası üzerindeki akış profilini modellemede daha iyi bulgular elde edilmiştir. Ayrıca C_D ve C_L için deneysel yöntemle elde edilen sonuçlara, geliştirilen ağlarda, kabaca uygulanan ağa göre daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

A STRATEGY FOR CREATING PRISMATIC MESH LAYERS FOR MODELLING FLOW OF THE AHMED BODY USED IN VEHICLE AERODYNAMICS

Keywords

CFD,
Ahmed Body,
Vehicle Aerodynamics,
Boundary Layer,
Mesh.

Abstract

In this paper, a mesh generation strategy was investigated on a CFD simulation for Ahmed body which is commonly used in automotive aerodynamics. Generally, in these studies, different kinds of methods can be seen for creating prismatic mesh layers to solve turbulent boundary layers. An insufficient prismatic mesh layer is missing in solving the boundary layer, while the excess of this layer also increases the number of meshes, hence the solution time. In this study, the flow structure of the Ahmed body was studied by using the ANSYS-Fluent™ software at the Reynolds number of $Re=2.83 \times 10^6$ depending on the flow rate ($u_{\infty}=40$ m/s) and the body length. The Prismatic mesh layer was generated using mathematical expressions and the results of this mesh were examined both quantitatively and qualitatively and further results were evaluated again with a final mesh with a different strategy. To conclude, better results were obtained with developed meshes for modeling the flow profile on the turbulent boundary layer compared to the roughly generated initial mesh. In addition, closer results to the experimental value of C_D and C_L were obtained at developed meshes compared to the mesh that was roughly applied.

Alıntı / Cite

Keiyinci, S., Akar, M.A., Baş, O., Özcanlı, M., (2022). Taşıt Aerodinamiğinde Kullanılan Ahmed Cisminin Akış Modeli İçin Prizmatik Ağ Katmanı Oluştururken İzlenecek Strateji, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 776-786.

* İlgili yazar / Corresponding author: oguz.bas@amasya.edu.tr, +90-358-211-5053

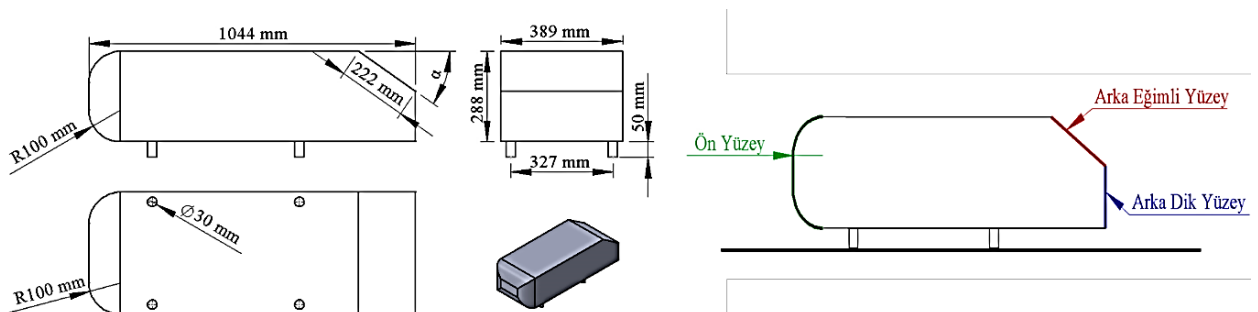
Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
S. Keiyinci, 0000-0003-2948-3846	Başvuru Tarihi / Submission Date 09.08.2021
M.A. Akar, 0000-0002-0192-0605	Revizyon Tarihi / Revision Date 15.02.2022
O. Baş, 0000-0003-2301-2306	Kabul Tarihi / Accepted Date 19.03.2022
M. Özcanlı, 0000-0001-6088-2912	Yayın Tarihi / Published Date 30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

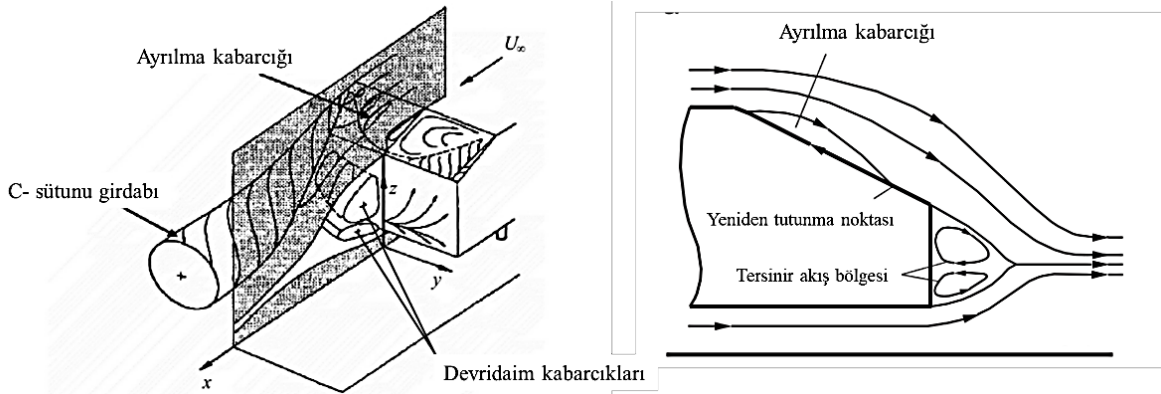
Enerji verimliliği ve taşıt dinamiğini etkileyen en önemli konulardan olan araç aerodinamiğini iyileştirmek için bilim insanları önemli çalışmalar yapmaktadırlar. Öte yandan taşıt aerodinamiği konusu, son yıllarda artan elektrikli araç girişimlerinin de etkisiyle birlikte daha önemli hale gelmiştir. Yapılan son çalışmalar göstermektedir ki, sürüklenme katsayısı (C_D) için elde edilen %10'luk bir iyileştirme, elektrikli araçlar için yaklaşık %5-8 menzil artışı, içten yanmalı araçlar için ise %5 yakıt tasarrufu anlamına gelmektedir (Bayındırlı vd., 2018; Palin vd., 2012). Ayrıca kaldırma katsayısının da (C_L) araç üzerindeki sürüş güvenliği, yere basma kuvveti ve yol tutuşu gibi parametreleri önemli ölçüde etkilediği düşünüldüğünde taşıt aerodinamiğinin önemi ayrı bir anlam daha kazanmaktadır.

Bu anlamda uzun yıllar boyunca yapılan araç aerodinamiği araştırma ve iyileştirme çalışmalarında, bir kara taşıtına benzer boyutlara sahip Ahmed cismi araştırmacıların çalışma konusu olmuştur. Bu makalenin yazarlarının bilgisine göre, görece olarak daha basit bir araç modeli oluşturulması fikri 1978 yılında Morel tarafından yapılan deneysel çalışma ile ortaya çıkmıştır (Morel, 1978). Bu çalışmada araç üzerinde oluşan kuvvetler incelenmiş ve sonuç olarak, cismin aerodinamik kuvvetlerinin büyük ölçüde arka eğim açısına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, modelin arka eğim açısının değerine göre üç farklı akış rejimine sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Ancak bu modelin boyut oranları gününün binek araçlarının boyut oranlarını yansıtmaktan uzaktır (Le Good ve Garry, 2004).

1984 yılında Ahmed 'in (Ahmed vd., 1984) oluşturduğu model ise şekil olarak Morel' in ortaya attığı modele birebir benzemektedir. Ancak, Ahmed cisminin daha uzun ve ince bir forma getirilmesiyle beraber, modelin arka kısmındaki akış, ön kısımdan bağımsız hale getirilmiş, ayrıca model, klasik bir aile arabasının boyut oranlarını yansıtmaya başlamıştır (Şekil 1). Bu sebeptir ki, aslında kronolojik olarak, ilgili modelin çok benzeri Morel tarafından daha önce literatüre sunulmasına karşın, bu model aerodinamik literatüründe "Ahmed cismi" olarak tanınmaktadır. Yine bu çalışmada, araç üzerinde oluşan sürüklenme kuvvetinin büyük oranda cismin arka bölgesinden kaynaklandığını belirtilmiştir. Ayrıca, bu sürüklenme kuvvetinin, yaklaşık %85 oranına kadar basınç sürüklemesinden kaynaklandığı ortaya koyulmuştur. Ahmed, çalışmasında, Morel' in bulgularına paralel olarak cismin arka eğim açısının (α) sürüklenme kuvvetinin değişimine büyük etkisi olduğunu ve bu açıya bağlı olarak üç farklı akış rejimi oluştuğunu yinelemiştir. Rejim I' de, $\alpha < 12.5^\circ$ iken, akım arka eğimli yüzeye tamamen tutunmuştur ve yakın iz bölgesinde boylamasına bir girdap çifti oluşur. Bu bölgede $C_D=0.25$ 'dir ve arka eğim açısından hemen hemen bağımsızdır. Rejim II' de ise $12.5^\circ < \alpha < 30^\circ$ aralığında iz bölgesindeki boylamasına uzun girdaplar daha güçlüdür ve 3 boyutlu forma sahiptir. Ancak arka eğim açısı 30° 'ye yaklaştıkça, akış eğimli yüzeyden koparak D formunda ayrılma kabarcıkları oluşturur ve bu kopma eğimli yüzeyde düşük basınç bölgesi oluşturur (Şekil 2). Bu bölge iz bölgesindeki girdapları şiddetli bir şekilde artırır. Bu sebeple, sürüklenme katsayısı, bu açıda en yüksek değerine ulaşır. Arka eğim açısı 30° ' den büyük olduğu durumlarda ise akış eğimli yüzeyden tamamen kopmuştur ve cismin arka yüzeyine tekrar tutunma eğilimi yoktur. Bu sebeple $\alpha=30^\circ$ olan duruma göre C_D değeri önemli bir miktarda azalır, dengeye ulaşır ve 35° 'de arka eğim açısından hemen hemen bağımsız hale gelmektedir.



Şekil 1. Orijinal Ahmed cisminin geometrik ölçüleri (Dimensions of original Ahmed body)



Şekil 2. $\alpha=25^\circ$ için Ahmed cismi arkasında oluşan akış yapısı
(Flow structure of Ahmed body with $\alpha=25^\circ$) (Vino vd., 2005)

Öte yandan, bu modeller üzerinde yapılan çalışmalarda deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, deneysel yöntemlerin pahalılığı, ulaşılabilirliği, sistemlerin kalibre edilmeleri ve uygulanabilirlikleri gibi pek çok sınırlamalar olduğundan sayısal yöntemler son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Özellikle bilgisayar donanımlarının güçlenmesi ve yeni sayısal metotların ortaya çıkması ve yaygınlaşması, sayısal yöntemleri daha da ilgi çekici hale getirmiştir. Sayısal yöntemlerden ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ya da uluslararası bilinen adıyla CFD, yazılım ve donanım alanındaki gelişmeler de dikkate alındığında araştırmacıların sıklıkla kullandığı bir yöntem haline gelmiştir. Ancak bu yöntem kullanılırken doğru sonuçlar alınabilmesi için, geometri oluşturma, ağ oluşturma, türbülans modeli, sınır koşulları ve çözücü ayarı gibi pek çok konunun kusursuza yakın olması gerekmektedir. Özellikle ağ oluşturma, çok zaman alıcı, zahmetli ve belki de bir HAD işleminin en önemli aşamasıdır (Cengel ve Cimbala, 2006). Bununla birlikte HAD kullanıcıları, bazen çok önemli uluslararası çalışmalarda bile ağ oluşturmada önemli hususları ihmal etmekte ya da ciddi hatalar yapmaktadırlar. Bu makalenin yazarlarının deneyimine göre ağ oluşturmada en önemli aşamalardan biri olan ve pek çok kez hata yapılan bir aşama ise sınır tabakanın çözümü için oluşturulan prizmatik ağ katmanlarıdır. Bu katmanlar, sınır tabakanın çözümü ya da modellemesi için her açıdan doğru bir strateji ile oluşturulmalı ve sınır tabakanın, akış kompası başlayana kadar ki bölümünü kapsamalıdır (Soares ve De Souza, 2015a). Özellikle taşıt aerodinamiğinin sınır tabakasının türbülanslı olması (Aljure vd., 2018) ve taşıt modellerinin küt cismine bağlı olarak akış profilinin yüksek gradyanlı olması (Zafer ve Haskaraman, 2017) dikkate alındığında prizmatik ağ elemanlarının doğru oluşturulmasının önemi daha da belirgin olmaktadır. Türbülanslı sınır tabakası ve önemi hakkında daha fazla bilgi olmak isteyen okuyucular Schlichting ve Gersten tarafından oluşturulan ilgili kaynağa (Schlichting ve Gersten, 2016) başvurabilirler.

Ahmed cismi için bir HAD çalışmasında, dış akışı ve aerodinamik performansı modellerken doğru bir prizmatik ağ oluşturulması bu çalışmanın ana kapsamıdır. Bu çalışma ile HAD araştırmacıları için bir rehber oluşturmak ve ilgili çalışmalarda türbülanslı sınır tabakanın daha doğru ve bilimsel yaklaşım ile çözülmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Ahmed cismi, Ansys-Fluent™ programı ile sayısal olarak incelenmiştir. Akış hızı, akış hızı ve uzunluğa bağlı Reynolds sayısı sırasıyla $U_\infty=40$ m/s ve $Re=2.83 \times 10^6$ olarak belirlenmiştir. Arka eğim açısı $\alpha=35^\circ$ ve türbülans modeli $k-\omega$ SST (RANS) olarak seçilmiştir ki bu seçimler rastlantısal değildir. Bu seçimlerin nedeni ve sayısal yöntem için daha fazla detay 2. bölüm olan Sayısal Yaklaşım başlığı altında paylaşılmıştır.

2. Sayısal Yaklaşım (Numerical Approach)

2.1. Ön İşlemler (Pre-Processing)

Modelin oluşturulması, yoğunlaştırılacak ağ bölgelerinin belirlenmesi, çözücü için akış alanı ve sınır koşullarının belirlenmesi için bir CAD yazılımı olan SpaceClaim programından yararlanılmıştır. Model orijinal Ahmed cisminin boyutlarına ve 35° lik bir arka eğim açısına sahiptir.

Akış alanı oluşturulurken Ahmed cismi için önceki yapılan HAD çalışmaları da dikkate alınarak yeterince büyük olması sağlanmıştır. Tablo 2'de akış paylaşılan akış alanının büyüklükleri benzer çalışmalardaki

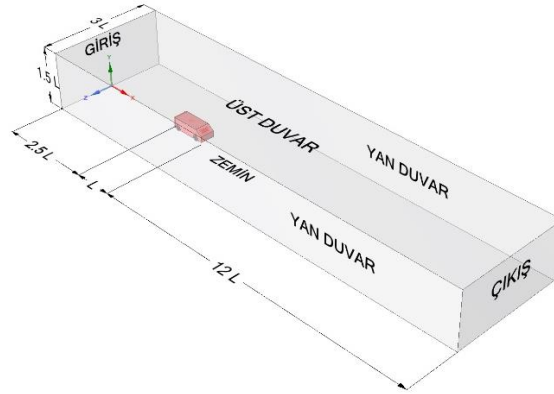
büyüklikler de dikkate alınarak seçilmiştir. Böylelikle akış profilinin hesaplama alanının girişinden cisme ulaşırken tam gelişmiş olması, cismin arkasındaki iz alanının (wake region) tam olarak kapsanması ve blokaj etkilerinin asgari düzeyde tutulması amaçlanmıştır. Blokaj oranı ($A_{\text{ön}}/A_{\text{test}}$) $< \%3$ olarak belirlenmiştir. Çengel ve Cimbala bu oranın $\%7.5$ ' ten küçük olmasını önermişlerdir (Cengel ve Cimbala, 2006). Ayrıca şunu da belirtmek gerekir ki, rüzgâr ve su tüneli gibi deneysel metotlarda sabit olan yan ve üst duvarları, bu sayısal çalışmada literatürde de sıklıkla kullanılan bir yöntemle simetri sınır koşulu (symmetry boundary condition) olarak ayarlanmıştır. Bu yöntemle, üst ve yan duvarlar serbest kayma koşulu tanımlaması yapılarak blokaj etkilerinin hemen hemen bertaraf edildiği söylenebilir. Ayrıca $Re=2.83 \times 10^6$ koşulunun sağlanması için giriş hızı üniform $U_{\infty}=40$ m/s olarak girilmiştir. Hesaplama alanı ve bu alandaki sınır koşullarına dair detaylar Şekil 3, Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Bu Çalışmadaki kullanılan sınır koşulları (Boundary conditions used in this study)

	Giriş	Çıkış	Zemin	Yan ve üst duvar	Araç yüzeyi
Sınır koşulu	Hız Girişi	Basınç çıkışı	Sabit duvar	Serbest Kayma Sınır Koşulu	Sabit duvar
Değer	40 m/s (üniform)	0 Pa	Kaymamazlık koşulu	Serbest kayma	Kaymamazlık koşulu

Tablo 2. Hesaplama alanı özellikleri (Properties of the computational domain)

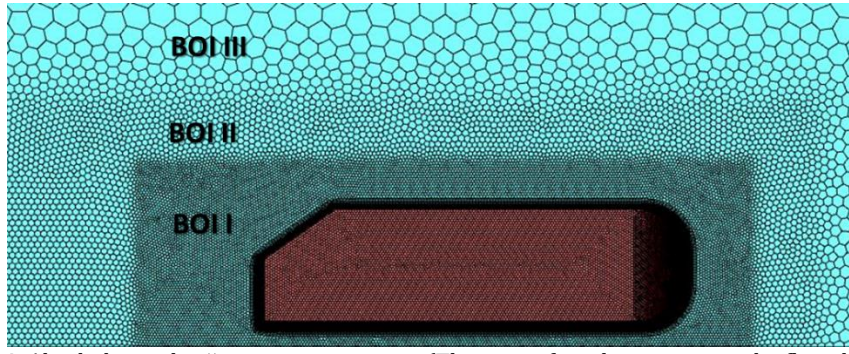
Akış Alanı	Yarı-3D, daimî, türbülanslı ve sıkıştırılmaz
Boy X En X Yükseklik	15.5L X 3L X 1.5L (16182 mm X 3102 mm X 1566 mm)
$A_{\text{ön}}$	113532 mm ²
$A_{\text{ön}}/A_{\text{test}}$ (Blokaj oranı)	1.444%



Şekil 3. 3-Boyutlu hesaplama alanı (3-D Computational domain)

2.2. Ağ Hazırlama (Meshing)

Bu sayısal çalışmada ağ hazırlanırken Ansys'in Fluent-Meshing'de sunduğu Watertight Geometry Workflow görev-tabanlı ağ geliştirme yazılımı kullanılmıştır. HAD çalışmalarında ağ oluşturulurken temel amaç sayısal doğruluktan ödün vermeden uygun kalite ve sayıda eleman ile ağ yapısı oluşturmaktır. Böylelikle hesaplama zamanı ve sayısal doğruluk arasındaki denge sağlanabilmektedir. Bu amaçla, akış alanında çözüm hassasiyeti kritik olan alanlarda, ağı etkileme bölgeleri (Body of Influence ya da BOI) kullanılarak akışın uzak bölgelerinde kullanılan ağ sayısına oranla kademeli olarak daha fazla ağ elemanı oluşturulmuştur. 3 bölgeden oluşan ağ yoğunlaştırma bölgeleri Şekil 4'te görülebilir. Ağdan bağımsızlık testlerinde de BOI maksimum eleman sayısı artırılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uygun kalitede ağ üretmek için yazılımın, hacim ve yüzeylerde ağ iyileştirme özelliklerinden faydalanılmıştır. Bu sayede ağ kalitesinin bütün benzetim durumlarında çarpıklık (skewness) < 0.8 olması sağlanmıştır ki bu, böyle karmaşıklıkta bir akış alanı için oldukça iyi bir değerdir (Lanfrut, 2005). Bu değer yüksek olması durumunda HAD kullanıcıları yakınsamada zorluklar ve doğru olmayan sonuçlarla karşılaşabilmektedirler.



Şekil 4. Akış bölgesinde ağ yapısının görünüşü (The view of mesh structure at the flow domain)

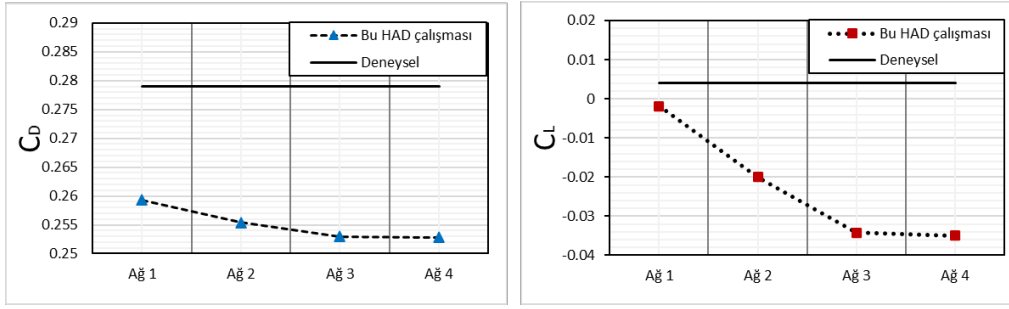
Bu çalışmada daha az ağ elemanı ile daha iyi ağ kalitesi ve sayısal sonuçlar elde etmek için son yıllarda geliştirilen Poly-Hexcore ağ elemanı tipi kullanılmıştır. Bu ağ elemanı tipi sayesinde karmaşık ve dar alanlardan serbest akış alanına geçerken daha iyi sonuçlar veren (Balafas, 2014) çok yüzeyle (Polyhedral) ağ elemanları kullanılırken, serbest akış alanında ise altı yüzeyle (Hexahedral) ağ elemanları kullanılır.

Diğer yandan türbülanslı sınır tabakasının doğru olarak çözülmesi, HAD benzetimlerinde, akışa maruz kalan cisimlerin üzerindeki kuvvetleri doğru hesaplayabilmek için önemli bir husustur (Schlichting & Gersten, 2016). Bu anlamda bazı kullanıcılar çözüm ağlarında, yetersiz prizmatik ağ katmanı ya da türbülans modeli ile uyumsuz ilk ağ yüksekliği kullanabilmektedirler. Bütün ağlarda ilk hücre yüksekliği $h_0=0.04$ mm olacak şekilde benzetimler yapılmıştır. İlk hücre yüksekliğinin bu değeri ile, bu çalışmada kullanılan türbülans modelinin ($k-\omega$ SST) doğru sonuçlar vermesi için bir gereklilik olan $y^+<5$ şartı sağlanmıştır (Menter, 1992). Türbülanslı sınır tabakası, y^+ ve nasıl hesaplandığına dair daha fazla detay için okuyucular (Cengel ve Cimbala, 2006; Schlichting ve Gersten, 2016; Soares ve De Souza, 2015b) referanslarına göz atabilirler.

Ağdan bağımsızlık testi, taşıt aerodinamiği benzetimleri için, ağ sayısı kademeli olarak artırılırken, nicel bir sonucun (yaygın olarak C_D , C_L , C_P veya cismin arkasındaki iz bölgesinden alınan hız profili vb) sabitlendiği ağ sayısının belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır (Şimşek, 2020; Yılmaz ve Çiçek, 2017). Buna göre, ağ sayısı (%50, %100 veya 10^6 vb.) artırım oranıyla artırılır ve genelde C_D ve C_L 'nin, bir önceki düşük yoğunluklu ağ sayısına göre yüzde değişiminin belirli bir limitin altına düşmesi beklenir. SAE'ye göre, yeterli bir ağdan bağımsızlık için bu limit, ağ sayısı %50 artarken C_D 'deki değişimin $\Delta C_D=0.0003$ 'ten küçük olduğu durumdur. (Huminic ve Huminic, 2017). Ancak literatürde, taşıt aerodinamiği için yapılan pek çok çalışmada, C_D 'daki değişimin %1'in altına düştüğü ağ sayısı, ağdan bağımsız ilkesinin sağlandığı seviye olarak kabul edilmiştir (Guilmineau vd., 2018; Mohammadikalakoo vd., 2020; Wang, Wu vd., 2017; Yang vd., 2018). Bu çalışmada da ağı etkileme bölgelerindeki ağ eleman sayısı değiştirilerek elde edilen 4 farklı ağ durumu (150000, 500000, 800000 ve 930000) test edilmiş ve 800000 ağ sayısından 900000 ağ sayısına geçişte C_D 'nin değişimi $\Delta C_D=\%0.1$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, C_D 'nin ağ sayısından bağımsız hale geldiği ağ sayısı 800000 olarak bulunmuştur. Ağ seviyelerinin özellikleri ve bu ağ seviyelerine göre C_D ve C_L 'nin değişimleri sırasıyla Tablo 3 ve Şekil 5' te paylaşılmıştır.

Tablo 3. Ağdan bağımsızlık testlerinde kullanılan ağların özellikleri
(Properties of the meshes used in the mesh independence study)

Ağ Seviyesi	Ağ 1	Ağ 2	Ağ 3	Ağ 4
Maksimum eleman uzunluğu (BOI I)	20 mm	10 mm	8 mm	7 mm
Maksimum eleman uzunluğu (BOI II)	40 mm	30 mm	20 mm	15 mm
Maksimum eleman uzunluğu (BOI III)	250 mm	200	150 mm	75 mm
Duvara yakın ilk ağ yüksekliği (h_0)	0.04 mm	0.04 mm	0.04 mm	0.04 mm
Prizmatik ağ elemanı sayısı (n_p)	10	10	10	10
Prizmatik ağ elemanı büyüme oranı (GR)	1.2	1.2	1.2	1.2
Toplam ağ elemanı sayısı	150000	500000	800000	930000



Şekil 5. Ağ seviyelerine göre C_D ve C_L 'nin değişimi (Variations of C_D and C_L vs. mesh levels)

2.3. Prizmatik Ağ Geliştirme Yöntemi (The Development Method of Prism Layers)

Bu çalışmada, ilk ağ seviyesi (M0) için, büyüme oranı $GR=1.2$ olan 10 prizmatik ağ katmanı kullanılmıştır. Ancak ağdan bağımsızlık testlerinden de görüleceği üzere deneysel verilere yaklaşımda bu ağ yapısının yetersiz olduğu söylenebilir (Bakınız Şekil 5). Ağ yapısının yeterliliğini sağlamak için M1 ve M2 ağ seviyeleri oluşturulmuştur. Bu ağ yapılarının özelliklerini belirlerken aşağıdaki verilen matematiksel ifadeden yararlanılmıştır:

$$P_T = \sum_{n=1}^{n=n_p} \{(h_0) \times (GR)^{n-1}\} = (h_0) \times \frac{1 - GR^{n_p}}{1 - GR} \quad (1)$$

Bu denklemde P_T , n_p , h_0 ve GR ifadeleri sırasıyla; prizmatik ağın toplam kalınlığı, prizmatik ağ katmanı sayısı, ilk ağ elemanı yüksekliğini ve büyüme oranını ifade etmektedir. Diğer yandan türbülanslı sınır tabakasının kalınlığını tahmin etmede kullanılan denklem ise aşağıdaki gibidir (Schlichting ve Gersten, 2016):

$$\delta = \frac{0.377 \times x}{Re_x^{0.2}} \quad (2)$$

Bu denklemde ise δ , x ve Re_x ifadeleri sırasıyla türbülanslı sınır tabakasının kalınlığı, karakteristik uzunluk ve karakteristik uzunluğa bağlı Reynolds sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmadaki karakteristik uzunluğun, Ahmed cisminin boyu ($l=1.044$ m) olduğu bilinmelidir. Denklem 1 ve 2'den yararlanılarak yazılan yeni ifade ile prizmatik ağ katmanının türbülanslı sınır tabakasını karşılama oranı (K.O.) şu şekilde oluşturulmuştur.

$$K.O. = \frac{P_T}{\delta} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Bu oluşturulan ifade ile prizmatik ağ katmanının sınır tabakasını çözmede yeterli olup olmadığını değerlendirmek için yararlanılan yeni bir parametre araştırılmıştır. Prizmatik ağ katmanı, HAD sonuçları bölümünde de görülen akış görselleri aracılığıyla nicel olarak ve yukarıda ifade edilen denklemlerin yardımıyla da nitel olarak geliştirilmeye çalışılmıştır. M1 ve M2 ağ seviyelerindeki temel farklılık, sınır tabakayı çözmek için, M1 ağ seviyesinde; düşük büyüme oranı-daha fazla prizmatik ağ katmanı sayısı iken, M2 ağ seviyesi için; yüksek büyüme oranı-daha az prizmatik ağ katmanı sayısıdır. Bu farklılığı oluşturmadaki temel strateji, daha az ağ elemanı sayısı ile sınır tabakayı çözerek benzer sonuçları elde etmek ve çözüm süresini azaltmaktır.

2.4. Çözücü Ayarları ve Son İşlemler (Solver Settings and Post-Processing)

Bu çalışmada çözüm için sıkıştırılamaz (incompressible) ve daimi RANS ve süreklilik denklemleri modellenmiştir. Modelleme için $k-\omega$ SST türbülans modeli kullanılmıştır. Kuşkusuz, büyük girdap benzetimleri (LES), doğrudan sayısal benzetimleri (DNS) ya da melez türbülans modelleri (DES, DDES ve IDDES gibi) bu tip akış problemlerinin çözülmesinde daha etkili olmaktadır. Ancak, bu yöntemler ciddi hesaplama zamanı gerektirmektedir. Ayrıca Guilmineau ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, $\alpha=35^\circ$ için hem Ahmed cismi üzerindeki akış kuvvetlerini hem de cismin arkasındaki iz alanının özelliklerini belirlemede daimi RANS türbülans modellerinin, $\alpha=25^\circ$ açılı Ahmed cismini modellemenin aksine, başarılı ve yeterli olabildiği vurgulanmıştır (Guilmineau vd., 2018). Bu bakımdan daha önce ifade edildiği gibi, bu çalışmada kullanılan Ahmed cisminin arka yüzey eğim açısının $\alpha=35^\circ$ olarak seçilmesi rastlantısal değildir. RANS modelleri ve uygun arka eğim açılı Ahmed cismi ikilisiyle, hesaplama zamanı açısından büyük bir kazanç sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmada RANS, LES, DNS, $k-w$ SST türbülans modeli hakkında makalenin kısa tutulması bakımından ayrıntı verilmemiştir, fakat okuyucular ilgili bu konular hakkında sırasıyla (Launder ve Spalding, 1974; Menter, 1992; Orszag, 1970; Shih vd., 1999; Tunay vd., 2016; Zhang vd., 2019) referanslarına bakabilirler.

Öte yandan son işlemlerde (post-processing), deneysel veya sayısal akış görselleştirme için hususi bir yazılım olan Techplot yazılımı tercih edilmiştir. Bu yazılım aracılığı ile türbülans viskozite oranı (TVR) ve akış profili grafikleri elde edilmiştir.

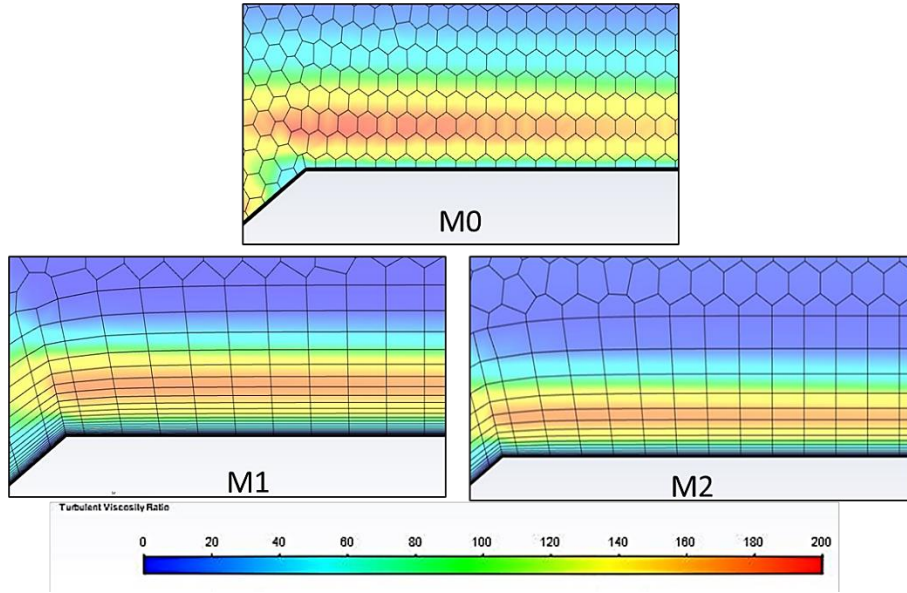
3. HAD Sonuçları (CFD Results)

Ağ seviyelerinin özellikleri ve ağ seviyelerine göre değişen C_D ve C_L sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tablodaki deneysel veriler, Meile vd. tarafından, bu çalışmayla aynı Reynolds sayısı ile elde edilmiştir (Meile vd., 2011). Buna göre nitel ve nicel verilere göre geliştirilen M1 ve M2 ağ seviyelerinin ağ eleman sayıları, M0 ağ seviyesinin eleman sayısına göre %39.78 ve %7.53 oranında artmıştır. Ayrıca M1 ve M2 ağ seviyelerinin K.O. değerleri, GR ve n_p parametreleri tekrarlı çözümlerle (iterative solution) değiştirilerek yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak M1 ve M2 ağ seviyeleri için prizmatik ağ elemanı katmanının, türbülanslı sınır tabakasını karşılama oranları sırasıyla %112 ve %124 olarak elde edilmiştir. C_D ve C_L sonuçları irdelendiğinde, geliştirilen M1 ve M2 ağ seviyeleri ile, deneysel olarak elde edilen sonuçlara daha yakın değerler elde edilmiştir. Bu sonucun, ilgili ağ seviyelerinde K.O.'larının daha yüksek olmasıyla elde edildiği söylenebilir. Öte yandan M1 ve M2 ağ seviyeleri kıyaslandığında ise, deneysel verilere yakınsamada yaklaşık olarak benzer sonuçlar ortaya çıktığı görülmektedir. M1 ağ seviyesi için deneysel C_D ve C_L sonuçlarına kıyasla hata oranı sırasıyla %5.48 ve 27.8 sayım iken, M2 ağ seviyesi için hata oranları sırasıyla %5.91 ve 31.5 sayımdır. Burada, C_L sonuçlarını kıyaslamada literatürde sıklıkla kullanılan 1 sayımın (counts), 0.0001'e eşit olduğu not edilmelidir (Josefsson vd., 2018).

Tablo 4. Farklı ağ seviyelerine göre elde edilen sonuçlar (The results obtained vs. different mesh levels)

	M0	M1	M2
Ağ Sayısı	0.93 Milyon	1.3 Milyon	1 Milyon
y^+ değeri	<5	<5	<5
İlk Hücre Yüksekliği (mm)	0.04	0.04	0.04
Prizmatik ağ katman sayısı (n_p)	10	27	20
Büyüme oranı (GR)	1.2	1.2	1.3
Prizmatik ağ elemanı kalınlığı (mm)	1.0383	27.2741	25.2066
K.O.	5%	134%	124%
C_D	0.2528	0.2637	0.2625
C_L	-0.0350	-0.0238	-0.0275
C_D için hata oranı (Deneysel yöntemle kıyasla)	9.39%	5.48%	5.91%
C_L için hata oranı (Deneysel yöntemle kıyasla)	39.00	27.80	31.50

Öte yandan HAD testlerinde, nitel (kantitatif) sonuçların yanı sıra, nicel (kalitatif) sonuçları incelemek de uygulanan yöntemler hakkında fikir verebilmektedir. Bu amaçla, öncelikle çözüm ağı ve TVR konturunun üst düşümü (super-position) grafiği elde edilmiştir. TVR konturu, türbülans viskozitesinin, dinamik viskoziteye oranını ve dolayısıyla akış gradyanlarının yüksek olduğu bölgeleri HAD kullanıcılarına görsel olarak sunar. M0, M1 ve M2 için çözüm ağı-TV R konturu üst düşümü grafiği Şekil 6' da verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, M0 ağ seviyesinde, prizmatik ağ katmanının akış gradyanlarını çözmede yetersiz kaldığı görülmektedir. Özellikle, akış gradyanlarının yüksek olduğu bölgede, Polyhedral ağ elemanı tipine keskin geçişlerin mevcut olduğu ve sınır tabakasını modelleme işinin, bu ağ tipinin çözümüne bırakıldığı anlaşılmaktadır. Öte yandan M1 ve M2 ağ seviyelerinin, akışın kopmaya başladığı arka eğimli yüzeye kadar, akış gradyanlarını modellemede daha iyi prizmatik ağ katmanlarına sahip olduğu görülmektedir. M1 ve M2 ağ seviyeleri kıyaslandığında ise, daha düşük büyüme oranına sahip olması sayesinde, özellikle prizmatik ağ katmanının ortalarında daha şiddetli gradyanlar modellenmiştir. Bu sonuç, M1 ağ seviyesinin, neden daha yüksek C_D ve C_L sonuçlarını verdiği ve deneysel verilere daha yakın sonuçlar elde edildiğinin bir göstergesidir.



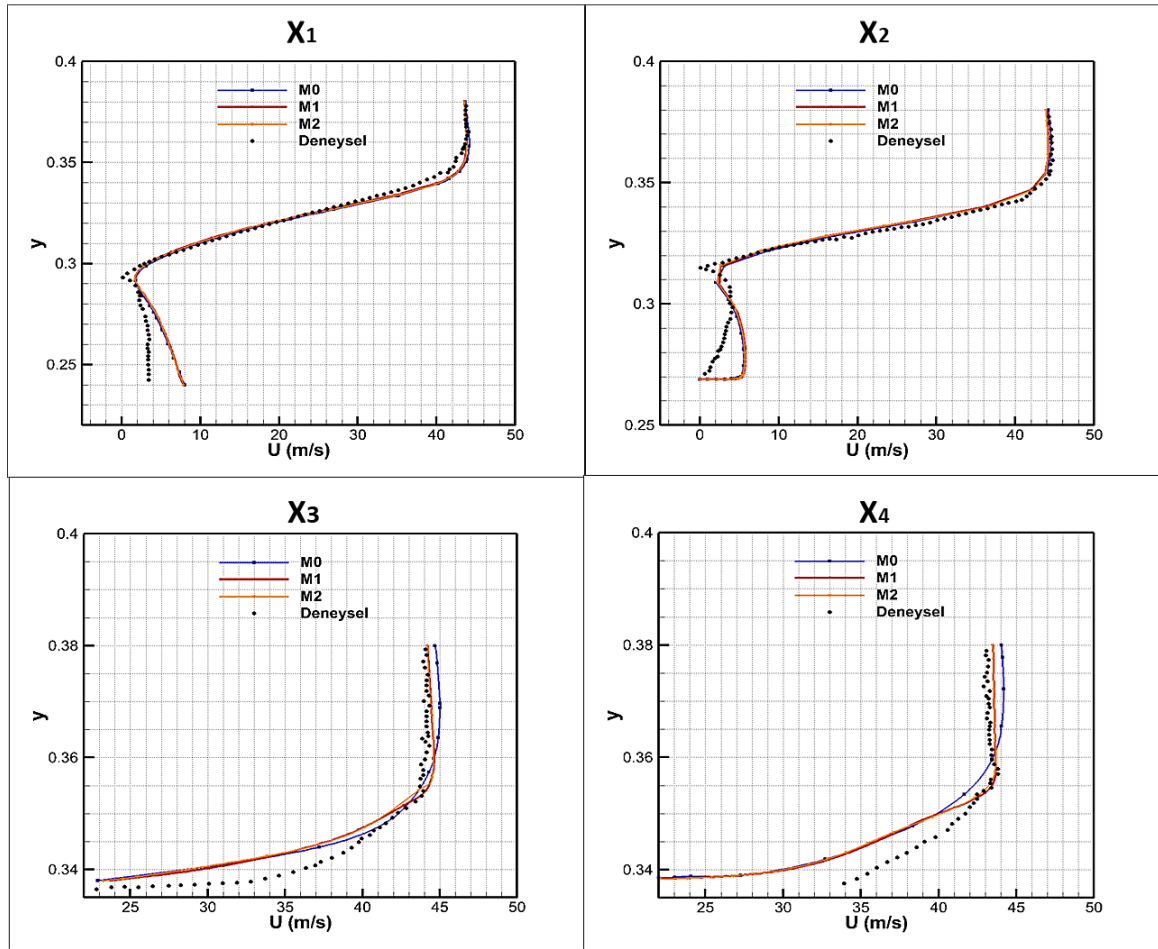
Şekil 6. Çözüm ağı - TVR konturu üst düşümü grafiği (The mesh - TVR contour super-position graphic)

Diğer taraftan, HAD kullanıcıları için Ahmed cismi gibi küt yapı bir modelde art izi bölgesindeki (wake region) türbülanslı akış yapısını modellemek oldukça güçtür. Bu akış yapısını modellemede, bu çalışmada kullanılan ağ seviyelerinin ne kadar verimli olduğunu belirlemek için cismin arka bölgesinden rastgele dört doğru seçilmiştir (Şekil 7). Bu doğrular üzerindeki akış hızı büyüklüğü profilleri Şekil 8’de verilmiştir.

Şekil 8’deki hız profilleri incelendiğinde akışın kopmaya başlamadan hemen önceki ve hemen sonraki bölgelerde (X_1 ve X_2) bütün ağ seviyeleri için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sınır tabakasının duvara yakın bölgelerinde bütün ağ seviyeleri deneysel sonuçlara göre hatalı sonuçlar verirken, duvardan uzaklaştıkça serbest akış hızına ulaşana kadar bütün ağ seviyeleri için deneysel sonuçlara çok yakın hız profili elde edilmiştir. Ancak cismin arkasına doğru gidildikçe, X_3 ve X_4 doğrularında elde edilen hız profillerinde deneysel verilere göre sapmalar artmıştır. Özellikle duvara yakın bölgelerde bu sapmaların daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, yine de geliştirilen M1 ve M2 ağ seviyelerinde, M0 ağ seviyesine kıyasla bu sapmaların çok daha az olduğu görülmektedir. M1 ve M2 ağ seviyeleri arasında ise hız profillerini modellemede belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir.



Şekil 7. Cisim arkasından seçilen doğrular (Lines which are chosen from back part of the body)



Şekil 8. X₁, X₂, X₃ ve X₄ doğrularındaki hız büyüklüğü profilleri (Velocity magnitude profiles at X₁, X₂, X₃ and X₄ lines)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu makalede, Ahmed cismi için bir HAD çalışmasında, prizmatik ağ katmanı için izlenecek strateji üzerine matematiksel ifadelerden yararlanılmış ve kabaca oluşturulan M0 ağ seviyesi üzerinde yapılan geliştirmelerle iki farklı ağ seviyesi (M1 ve M2) daha oluşturulmuştur. Bu ağ seviyelerinden M1 için düşük büyüme oranı-fazla prizmatik ağ katmanı sayısı, M2 için yüksek büyüme oranı-daha az prizmatik ağ elemanı sayısı stratejileri izlenmiştir. Bu HAD çalışmasında, akış hızı, akış hızı ve uzunluğuna bağlı Reynolds sayısı sırasıyla $U_{\infty}=40$ m/s ve $Re=2.83 \times 10^6$ olarak belirlenmiştir. Arka eğim açısı $\alpha=35^\circ$ ve türbülans modeli $k-\omega$ SST (RANS) olarak seçilmiştir. Bu sınır koşulları, geometri, türbülans modeli ve ağ seviyeleri için bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar şunlardır:

- Kabaca oluşturulan prizmatik ağ katmanı deneysel sonuçlardan uzaklaşılmasına neden olabilmektedir.
- Bunun yerine prizmatik ağ katmanı kalınlığının, türbülanslı sınır tabakasını karşılama oranı dikkate alınarak çözüm ağı geliştirilmesi cisim üzerindeki kuvvetlerin ve art izi akış bölgelerinin daha iyi belirlenebilmesini sağlamaktadır.
- $k-\omega$ SST türbülans modeli ile uyumlu, düşük ilk ağ katmanı yüksekliği ile oluşturulan çözüm ağları için yüksek büyüme oranı-daha az ağ katmanı sayısı stratejisi ağ elemanı sayısının yaklaşık %23 azalmasına karşın düşük büyüme oranı- daha fazla ağ katmanı sayısı stratejisine benzer sonuçlar vermiştir.
- Böylelikle, HAD çözümlerinin, deneysel verilere yakınsamasında doğruluktan çok fazla ödün vermeden, çözüm süreleri azaltılabilmektedir.
- Ancak, ağ geliştirmelerine rağmen, $k-\omega$ SST ve $\alpha=35^\circ$ Ahmed cismi kombinasyonu için, art izi bölgesinin akış yapısını belirlemede deneysel verilere kıyasla, dikkate değer derecede sapmalar gözlemlenmiştir.
- Daha sonraki çalışmalarda bu farklı stratejilerin, DES, DDES, IDDES, LES vb gelişmiş türbülans modelleriyle, farklı arka eğim açısına ve tekerlek ve hareketli zemin ve dönen tekerlere sahip modellerle uyumu değerlendirilecektir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ahmed, S. R., Ramm, G., & Faltin, G. (1984). Some Salient Features Of The Time-Average d Ground Vehicle. SAE Technical Paper Series, (840300).
- Aljure, D. E., Calafell, J., Baez, A., & Oliva, A. (2018). Flow over a realistic car model: Wall modeled large eddy simulations assessment and unsteady effects. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 174(December 2017), 225–240. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.12.027>
- Balafas, G. (2014). Polyhedral Mesh Generation for CFD-Analysis of Complex Structures (Technical University of Munich). Retrieved from http://www.cie.bgu.tum.de/publications/masterthesis/2014_Balafas.pdf
- Bayındırlı, C., Çelik, M., & Demiralp, M. (2018). Bir Otobüs Modeli Etrafındaki Akış Yapısının CFD Yöntemi İle İncelenmesi ve Sürükleme Kuvvetinin Pasif Akış Kontrol Yöntemi İle İyileştirilmesi. *Journal of Polytechnic*, 0900(4), 785–795. <https://doi.org/10.2339/politeknik.403993>
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Application*. McGraw-Hill, 342.
- Guilmineau, E., Deng, G. B., Leroyer, A., Queutey, P., Visonneau, M., & Wackers, J. (2018). Assessment of hybrid RANS-LES formulations for flow simulation around the Ahmed body. *Computers and Fluids*, 176, 302–319. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2017.01.005>
- Huminc, A., & Huminc, G. (2017). Aerodynamic Study of A Generic Car Model with Wheels and Underbody Diffuser. *International Journal of Automotive Technology*, 18(2), 397–404. <https://doi.org/10.1007/s12239>
- Josefsson, E., Hagvall, R., Urquhart, M., & Sebben, S. (2018). Numerical Analysis of Aerodynamic Impact on Passenger Vehicles during Cornering. SAE Technical Papers, 2018-May(May). <https://doi.org/10.4271/2018-37-0014>
- Lanfrit, M. (2005). Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT. *Fluent*, 2, 1–14.
- Lauder, B. E., & Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269–289. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(74\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(74)90029-2)
- Le Good, G. M., & Garry, K. P. (2004). On the use of reference models in automotive aerodynamics. SAE Technical Papers, 2004(724). <https://doi.org/10.4271/2004-01-1308>
- Meile, W., Brenn, G., Reppenhagen, A., Lechner, B., & Fuchs, A. (2011). Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the ahmed body. *CFD Letters*, 3(1), 32–38.
- Menter, F. (1992). Improved two-equation k-omega turbulence models for aerodynamic flows. NASA Technical Memorandum, (103978), 1–31.
- Mohammadikalakoo, B., Schito, P., & Mani, M. (2020). Passive flow control on Ahmed body by rear linking tunnels. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 205(June), 104330. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104330>
- Morel, T. (1978). Aerodynamic drag of bluff body shapes characteristic of hatch-back cars. SAE Technical Papers, 1270–1279. <https://doi.org/10.4271/780267>
- Orszag, S. A. (1970). Analytical theories of turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 41(2), 363–386. <https://doi.org/10.1017/S0022112070000642>
- Palin, R., Johnston, V., Johnson, S., D'Hooge, A., Duncan, B., & Gargoloff, J. I. (2012). The aerodynamic development of the Tesla model S-part 1: Overview. SAE Technical Papers. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0177>
- Schlichting, H., & Gersten, K. (2016). Boundary-Layer Theory. In *Boundary-Layer Theory*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52919-5>
- Shih, T.-H., Povinelli, L. A., Liu, N.-S., Potapczuk, M. G., & Lumley, J. L. (1999). A Generalized Wall Function. *National Aeronautics and Space Administration*, (July), 1–20. <https://doi.org/19990081113>
- Şimşek, O. (2020). Üstten Akışlı Kapak Akiminin Sayısal Modellemesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 808–819. <https://doi.org/10.21923/jesd.752914>
- Soares, R. F., & De Souza, J. L. F. (2015a). Influence of CFD Setup and Brief Analysis of Flow Over a 3D Realistic Car Model. SAE Technical Paper Series.
- Soares, R. F., & De Souza, J. L. F. (2015b). Tailpipe Position over a Realistic 3D Road Car Model: The Effect on Drag Coefficient Copyright. SAE Technical Paper Series.
- Tunay, T., Yaniktepe, B., & Sahin, B. (2016). Computational and experimental investigations of the vortical flow structures in the near wake region downstream of the Ahmed vehicle model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 159(January), 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.10.006>
- Vino, G., Watkins, S., Mousley, P., Watmuff, J., & Prasad, S. (2005). Flow structures in the near-wake of the Ahmed model. *Journal of Fluids and Structures*, 20(5), 673–695. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2005.03.006>
- Wang, Y., Wu, C., Tan, G., & Deng, Y. (2017). Reduction in the aerodynamic drag around a generic vehicle by using a non-smooth surface. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 231(1), 130–144. <https://doi.org/10.1177/0954407016636970>
- Yang, Y., Zhang, D., & Liu, Z. (2018). Optimization and design method for a rough rear surface on the notchback MIRA model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232(10), 1297–1309. <https://doi.org/10.1177/0954407017728840>
- Yılmaz, N., & Çiçek, İ. (2017). Standart Test Pervanesi Analizleri ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analiz Altyapısının Doğrulanması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 681–690. <https://doi.org/10.21923/jesd.400115>
- Zafer, B., & Haskaraman, F. (2017). Önden ve yanar rüzgar şartı altında Ahmed cisminin sayısal incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 237–251. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.300613>
- Zhang, C., Bounds, C. P., Foster, L., & Uddin, M. (2019). Turbulence modeling effects on the CFD predictions of flow over a detailed full-scale sedan vehicle. *Fluids*, 4(3), 1–28. <https://doi.org/10.3390/fluids4030148>



DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS AND TECTONO-SEDIMENTARY DEVELOPMENT OF THE KARGI-İSKİLİP EOCENE SUBMARINE FAN SYSTEMS (ÇORUM, N-TURKEY)

Murat ŞENTÜRK^{1*}, Ezher TAGLIASACCHI², Tülay ALTAY³, Fuzuli YAĞMURLU¹

¹ Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Isparta, Türkiye

² Pamukkale University, Department of Geological Engineering, Denizli, Türkiye

³ Afyon Kocatepe University, Department of Geological Engineering, Afyonkarahisar, Türkiye

Keywords

*Fan Delta System,
Submarine Fan,
Sedimentary Facies,
Eocene Deposits,
Kargı-İskilip,
N-Turkey.*

Abstract

The Kargı-İskilip Eocene deposits located in southern part of the North Anatolian Fault are very well exposed between Kargı and Çorum settlements in N-Turkey. These Eocene deposits are observed as submarine fan and fan delta systems. Submarine fan system is characterized by clastic sediments such as conglomerate, sandstones, siltstones, greyish coloured shale and mudstone alternations. Fan delta system is represented by pebbly sandstones, siltstones and coal seams in some parts. In this study, Kargı-İskilip Eocene sediments involved in İskilip Group were examined in detail (Hacıhalil, Yoncalı and Karabalçık formations). Thus, the sedimentary facies indicating depositional environments and processes were revealed. For this research, six measured sedimentary sections (MSS) have been taken systematically and eight sedimentary facies are described and interpreted. The facies changes in vertically and laterally indicate that Kargı-İskilip Eocene deposits present as regressive character from south to north. Well outcropped sections in the studied area show that the Kargı-İskilip deposits particularly represent as flysch character (Lower Eocene) and progressively passed to the fan delta (Middle Eocene) which characterized by coarse grained clastics alternating with fine grained sediments with coal-bearing. besides, volcanic rocks outcropped as syn-sedimentary deposition with Lower Eocene marine sediments is observed commonly. In the investigated area, which formed as a piggy-back basin, syn-sedimentary growth faults also play an active role for the deepening of the basin infill.

KARGI-İSKİLİP EOSEN YAŞLI DENİZALTI YELPAZE SİSTEMLERİNİN DEPOLANMA ÖZELLİKLERİ VE TEKTONO-SEDİMANTER GELİŞİMİ (ÇORUM, K-TÜRKİYE)

Anahtar Kelimeler

*Fan Delta Sistemi,
Denizaltı Fanı,
Tortul Fasiyes,
Eosen Çökelleri,
Kargı-İskilip,
K-Türkiye.*

Öz

Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kesiminde yer alan Kargı-İskilip Eosen çökelleri, K-Türkiye'de Kargı ve Çorum yerleşimleri arasında çok iyi yüzeylenmektedir. Bu Eosen çökelleri denizaltı yelpaze ve yelpaze delta sistemleri olarak gözlenmektedir. Denizaltı yelpaze sistemi; çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, grimsi renkli şeyl ve çamurtaşı araldanması gibi kırıntılı çökellerle karakterize edilirken, Fan delta sistemi de, yer yer çakıllı kumtaşları, silttaşları ve kömür damarları ile temsil edilmektedir. Bu çalışmada, İskilip Grubu'na dahil olan Kargı-İskilip Eosen çökelleri (Hacıhalil, Yoncalı ve Karabalçık formasyonları) detaylı olarak incelenmiş, çökeltme ortamlarını ve süreçlerini gösteren tortul fasiyesler ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma için, sistematik olarak altı adet ölçülü tortul kesit (MSS) alınmış ve sekiz adet tortul fasiyes tanımlanmış ve yorumlanmıştır. Dikey ve yanal yöndeki fasiyes değişiklikleri; Kargı-İskilip Eosen çökellerinin güneyden kuzeye doğru regresif karakterde olduğunu göstermektedir. İncelenen alanda iyi yüzeylenen kesitler, Kargı-İskilip çökellerinin özellikle fliš karakterinde (Alt Eosen) temsil edildiğini ve kademeli olarak, kömürlü ince taneli çökellerle araldanmalı iri taneli kırıntılılar ile karakterize edilen yelpaze deltasına (Orta Eosen) geçtiğini göstermektedir. Ayrıca

*İlgili yazar / Corresponding author: muratsenturk@sdu.edu.tr, +90-246-211-1336

Alt Eosen yaşlı denizel çökellerle eşyaşlı-sedimenter çökelim olarak yüzeylenen volkanik kayalar da yaygın olarak görülmektedir. "Piggy-back" bir havza şeklinde oluşan inceleme alanında, eşyaşlı-sedimenter büyüme fayları da havza dolgununun derinleşmesinde etkin rol oynamaktadır.

Alıntı / Cite

Şentürk, M., Tagliasacchi, E., Altay, T., Yağmurlu F., (2022). Depositional characteristics and Tectono-Sedimentary Development of the Kargı-İskilip Eocene Submarine Fan Systems (Çorum, N-Turkey), Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 786-803.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Şentürk, 0000-0002-9672-3021

E. Tagliasacchi, 0000-0002-1774-5012

T. Altay, 0000-0003-3526-6717

F. Yağmurlu, 0000-0002-0638-0265

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date

03.11.2021

Revizyon Tarihi / Revision Date

17.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date

21.03.2022

Yayın Tarihi / Published Date

30.09.2022

1. Introduction

Eocene sub-marine basins, which might be related to each other in a large part of Turkey, mainly represent the deep-marine environment located in the southern region of Turkey (Ketin, 1983). However, Eocene basins consisting of coal-bearing sediments are generally observed in the northern part of Turkey (Çebi and Korkmaz, 2013). The study area is situated in the northeast of Çankırı-Çorum basin and widely observed between Kargı and İskilip (Çorum) settlements at the northern Turkey (Figure 1). The Çankırı-Çorum basin is surrounded by the North Anatolian Fault segments, the Ophiolitic Melange and the Sakarya Massif in the north, and the Kırşehir Massif in the south, respectively (Figure 1).

The Çankırı-Çorum Basin contains very well developed terrestrial and submarine clastics. Therefore, since the 1940s, it has a huge research area of many geological, sedimentological, stratigraphic and tectonic studies and investigations for oil exploration due to its salt content as well as a thick sedimentary deposit. The first scientific report which for the geological investigation and in the matter of petroleum leakage in the Çorum area has been studied by Lahn (1939). Later, the significant research, preparing the detailed geological map of the Çankırı-Çorum region (1/50.000 scale), was carried out by Akarsu (1959). Şenalp (1974, 1981) has investigated in succession of marine and continental sedimentary units which ranges in age from Early Eocene to Pliocene in Çankırı-Çorum Basin.

Birgili et al. (1974,1975) reported the geology and petroleum possibilities of the Çankırı-Çorum basin. Later, Tüysüz and Dellaloğlu (1992) conducted researches on the tectonic units of the Çankırı basin and the geological evolution of the basin. Moreover, in their studies, Tüysüz and Dellaloğlu (1994) found that the closing time of the Neo-Tethys Ocean was during the Maastrichtian period, at the end of this period, the region was uplifted and exposed, while the lithologies of the Sakarya and Kırşehir massifs of the Anatolides remained under shallow sea conditions. After the mid-Eocene period, they stated that this massif has exhumed and formed the Çankırı-Çorum Basin as an intermountain basin.

Generally, previous studies were mostly related with tectonic evolution and sedimentary development of this basin and surroundings (Hakyemez et al., 1986; Dellaloğlu et al., 1992; Tüysüz and Dellaloğlu, 1992; 1994; Erdoğan et al., 1996; Görür et al., 1998; Karadenizli, 1999; Kazancı et al., 1999; Kaymakçı, 2000; Kaymakçı et al., 2009; Karadenizli, 2011).

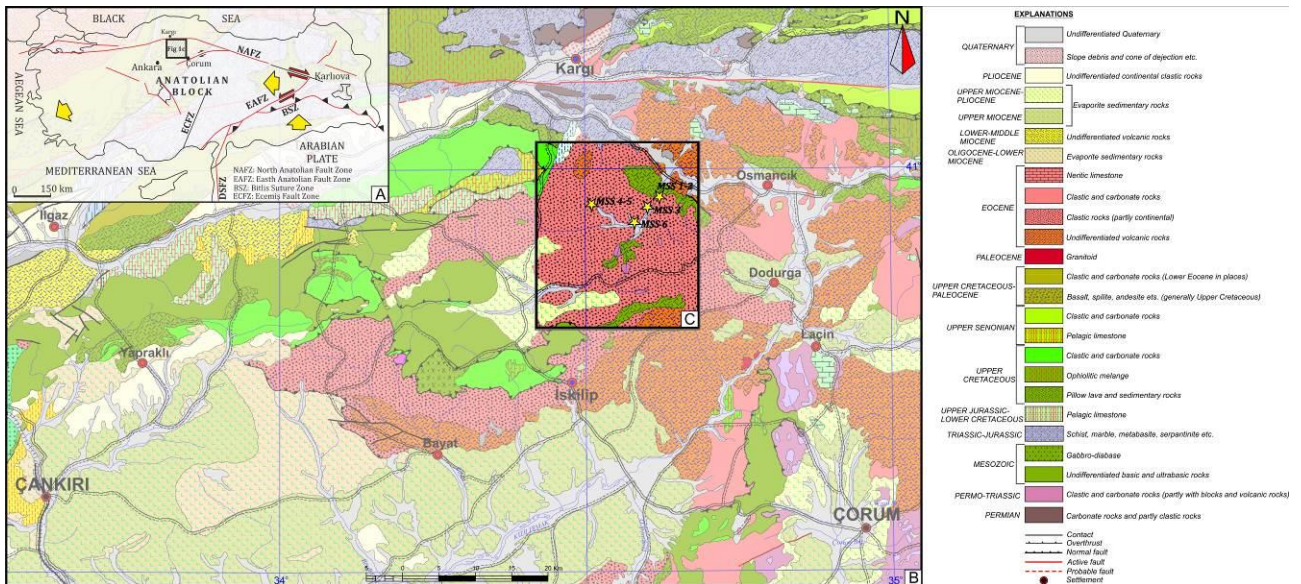


Figure 1. (A) Location map of the study area; (B) Simplified geological map of the Çankırı-Çorum Basin and (C) The satellite image of the investigated area with points of measured sedimentological sections (MSS) obtained from the north of İskilip town (1/500.000 scaled MTA was drawn from Sinop maps, Uğuz et al., 2002).

In addition, palaeoenvironmental, palaeoclimatic reconstruction of basin development based on mammal and palynological findings have been studied and thus, the Oligocene and Mio-Pliocene boundary in the Çankırı-Çorum Basin have been highlighted (Birgili et al., 1975; Akyürek et al., 1980, 1982; Yoldaş, 1982; Ünal ve Harput, 1983; Hakyemez et al., 1986; Rögl, 1999; Besbelli, 2001; Saraç, 2003; Karadeniz et al., 2004; Oyal, 2016; Kayseri-Özer et al., 2017; Oyal et al., 2017; Gürsoy et al. 2019).

Geophysical studies were also conducted in this area based on palaeomagnetic and seismotectonic investigations by several researchers (Platzman et al., 1994; Piper et al., 1996; Taymaz et al., 2007; Bilim and Ateş, 2007; Bilim and Demir, 2010; Ateş et al., 2012; Aslan et al., 2013). Bilim and Demir (2010) implied that the Çankırı Basin was separated by a possible fault or thrust fault, which are NE-SW trending and forming palaeotopographic high, according to the gravity anomalies they examined. In addition, they created 3-D model of basin and calculated the thickness of sediments. Ateş et al. (2012) also defined the Çankırı-Çorum Ophiolitic Complex (CCOC) from the maximum positions determined from the horizontal gradient of the pseudogravity anomalies of the aeromagnetic data.

In this research, it has been focused on Eocene submarine deposits in Kargı-İskilip area which belongs to Çankırı-Çorum Basin. Although there are several researches on the Çankırı-Çorum Basin, in this study particularly important to be described and interpreted in detail on submarine fan system and its depositional processes with lateral and vertical changes during the Eocene. For this reason, all facies description and depositional systems illustrated in this compact work, it could be strongly good work for who volunteer to research in this notable region.

2. Material and Method

The fieldworks, geological mapping and sedimentological investigations were carried out in this study. Geological mapping was made by using the scale 1:25.000 topographic map. Totally, six stratigraphic sections have been measured in particular where sandstone-mudstone intercalation with sedimentary structures and thick conglomeratic units are best exposed within deltaic and marine facies. The sedimentary structures have been determined in the field study. For description and interpretation of facies and depositional processes which occurred from deltaic to sub marine environments have been used Mutti and Lucci Ricci, 1972; Reineck and Singh, 1975; Walker, 1978; Miall, 1984; Pickering et al., 1986; Miall, 1988, and Stow, 1994.

3. Geological Settings

3.1. Regional Geology

The Çankırı-Çorum Basin is a post-collisional basin formed on the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone between these two continents as a result of the collision of the Sakarya Massif in the north and the Kırşehir Block in the south at the end of the Upper Cretaceous.

The Kargı-İskilip Eocene deposits, constituting the subject of the study, which are located in the north of the Çankırı-Çorum basin. These Eocene sediments are observed in a NE-SW trending basin extending between the settlements of Bayat-İskilip-Kargı-Oğuzlar and Osmancık (Çorum) (Figure 1B). The basin is surrounded by segment components belonging to the North Anatolian fault zone and lithologies of the Ilgaz metamorphic massif in the north, a Cretaceous aged ophiolitic mélange in the west and Eocene volcano-sedimentary rocks in the east (Figure 1B). The volcanics in this region are mainly composed of basalt, andesitic basalt and the accompanying agglomerates.

The basements of the study area comprise of metadetritics and ophiolitic melange which are belong to Sakarya-metamorphic massif and Ankara-Erzincan suture zone, respectively (Seymen, 1981, 1984; Tüysüz and Dellaloğlu, 1992; Erdoğan *et al.*, 1996; Kaymakçı, 2000). Sakarya metamorphic massif is characterized by medium to low grade Palaeozoic metamorphic rocks and granitic intrusions (Tüysüz and Dellaloğlu, 1992). The ophiolitic melange is belong to İzmir-Ankara-Erzincan suture zone and located mainly in the south of Sakarya and Ilgaz massifs. The Ilgaz metamorphic massif geologically meets the extension of the Sakarya massif in the east. The Ilgaz massif, located in the northern part of the study area, is composed of medium to low grade metamorphic rocks such as slates, phyllites and quartz schists and associated mafic meta-volcanics. Ophiolitic rocks, defined as Kösedag ophiolitic melange, mainly consist of serpentized peridotites, gabbro, diabasic volcanics, chert, chert-limestone, radiolarite and related allochthonous blocks (Özçelik and Öztaş, 2000). The ophiolitic melange is well observed in the southwestern parts of the investigated area (Figure 2).

The sedimentary fill forming the Çankırı-Çorum basin was formed in different sedimentation stages. The Upper Cretaceous-Upper Palaeocene period commenced with volcanoclastics and continued with shallow marine deposits, reddish clastics and carbonates. The Upper Palaeocene-Middle Eocene period began with a marine fine-clastic flysch succession and was characterized by coarse clastic, massive conglomeratic clastics. During the beginning of the Eocene, marine transgression covered all area and with the retreat of the Eocene sea towards the end of Eocene period transitional environments (such as lagunal) become common in this region (Akarsu, 1959). With the regression of the Eocene sea, which is a strong result of regional tectonic activity, the Oligo-Miocene terrestrial sediments began to deposit (Akarsu, 1959; Karadenizli, 1999; Karadenizli, 2011). In the Upper Eocene, Oligocene and middle Miocene, there were terrestrial sediments that basically cover a large part of the basin surface. The Upper Miocene period was represented by clastics alternating with evaporites which formed under fluvial-lake conditions. Plio-Quaternary alluvial fan deposits and alluviums can be observed along the rivers extending in the region.

3.2. Stratigraphy

The lithostratigraphic units in the study area and its surroundings are divided into three different groups such as Upper Cretaceous-upper Paleocene, Upper Paleocene-middle Eocene and post-Middle Eocene (Kaymakçı, 2000; Kaymakçı *et al.*, 2001; Tokatlı *et al.*, 2006; Kaymakçı *et al.*, 2010). The Upper Cretaceous-Upper Paleocene deposits consist of serpentized ultramafic rocks of the oceanic crust, chert, clayey limestone, radiolarite, basaltic lavas, tuffs, tuffites and agglomerates which originating from the accretion prism formed during the subduction of the northern branch of Neo-Tethys. Clastic sediments consisting of clayey limestone, marl and siltstone were included in this accretion and were deposited as pre-and and inter- arc sediments (Kaymakçı, 2000,2001; Özçelik and Öztaş, 2000).

The upper Palaeocene -middle Eocene deposits in the investigated area and surroundings, which were known as İskilip Group, compose of six different formations. These formations are Hacıhalil, Yoncalı, Karabalçık, Bayat, Osmankahya and Kocaçay, respectively (Kaymakçı, 2000; Kaymakçı *et al.*, 2001, 2010; Gürsoy *et al.*, 2019). The Hacıhalil formation, named by Birgili *et al.* (1974), consists of locally reddish brown conglomerates containing fine coal seams and grayish colored thick bedded sparsely fossiliferous and brownish sandstone-shale alternation. The Yoncalı formation which named by Birgili *et al.* (1974, 1975) was formed in flysch character facies. This formation consists of dark greenish-gray colored, planar cross-bedded sandstones and dark grayish colored, thin to medium bedded (10-100 cm) shale alternations included shell fragments. These sandstone-shale alternations were accompanied by conglomerates in the northern part of the basin and pelagic limestone in the eastern part (Özçelik, 1994; Demirer *et al.* 1992, Kaymakçı, 2000). The conglomerates observed in the flysch facies generally consist of components derived from radiolarian chert, serpentinite, micritic limestones, basalt and tuffs as well as ophiolitic rocks. The age of Yoncalı formation is reported as Lower-middle Eocene and the formation is observed in transitionally with the Hacıhalil formation at the lower. Moreover, other formations which belong to the İskilip group (Karabalçık, Bayat, Osmankahya and Kocaçay) are observed as lateral and vertical transitions with the Yoncalı formation (Figure 2).

The Karabalçık Formation is mainly represented by intercalations of sandstone and shale conglomerate and tuff-tuffite. The formation is well-developed in the NNE and SSW of the İskilip-Kargı Eocene basin, and it is locally observed by channel-like conglomerates unconformably overlying on the Yoncalı Formation or on ophiolitic mélanges. The age of Karabalçık formation is reported as middle Eocene (Birgili et al.,1974). The Middle Eocene aged Bayat formation is named by Ayan (1969) and the formation is characterized by a series of volcano-sedimentary deposits widely observed in the NE and SE parts of the Kargı-İskilip Eocene basin (Figure 2). The Bayat Formation consists of two different lithologies. The lower part consists of alternation of marl, sandstone, conglomerate and tuff. The upper part of the Bayat Formation consists mostly of various volcanics interbedded with tuffy marls. The middle Eocene aged Osmankahya Formation is described by Birgili et al. (1974, 1975) and the formation is generally characterized by continental reddish clastics. Lithologically, the conglomerate consisting entirely of grayish-reddish ophiolitic pebbles consists of alternations of coarse grained sandstone and siltstone. In some parts of the basin, it is characterized by very thick polygenic conglomerates, cross-bedded sandstones and reddish mudstones interbedded with fine grained tuffy beds.

The middle Eocene aged Kocaçay Formation is named by Birgili et al.(1974, 1975) and the formation is characterized by nummulitic limestones and sandy limestones. Lithologically, at the bottom, thin-bedded marl and thick-bedded nummulitic limestones. Later, at the upper part, brownish dark green, medium bedded nummulitic limestones and fine grained tuffy sandstone-shale and marl alternations are observed.

In the study area, three formations belonged to İskilip Group are significantly observed. Kargı-İskilip area is entirely cropped out Hacıhalil, Yoncalı and Karabalçık formations and they presented transitions (vertically and laterally) with each other.

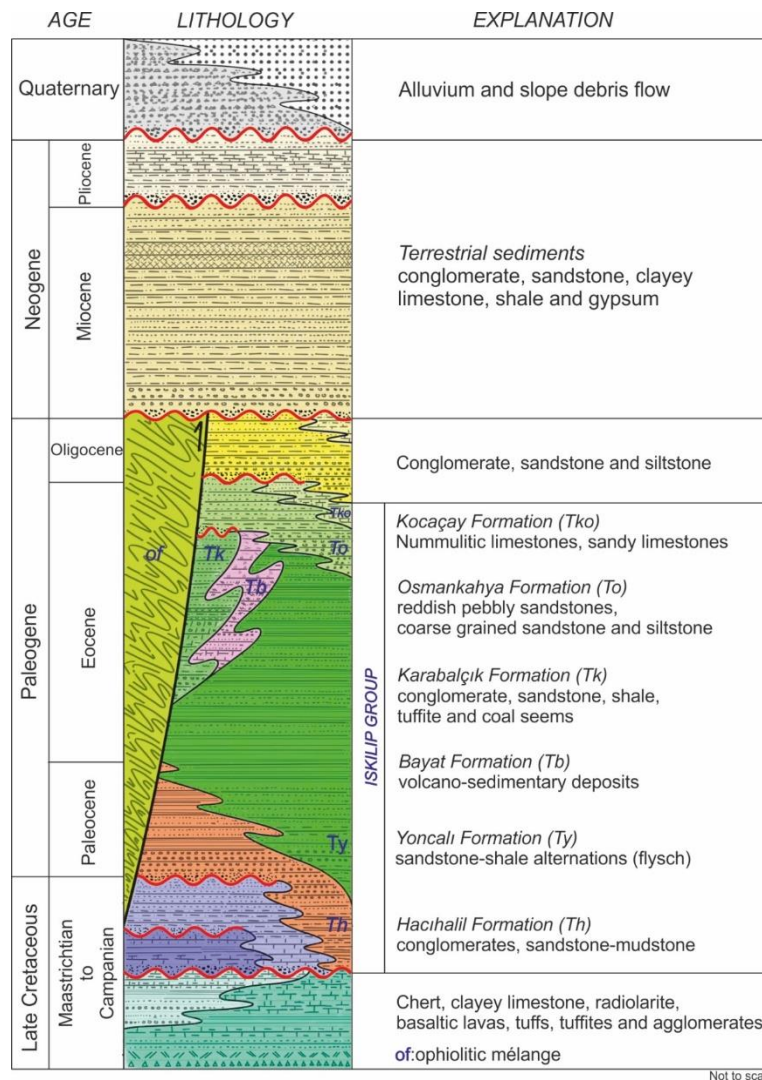


Figure 2. Generalized stratigraphic columnar section of the study area and surroundings (simplified and modified from Özçelik and Öztaş, 2000; Kaymakçı, 2000,2001; Gürsoy et. al., 2019)

4. Results

The Early-Middle Eocene aged sediments in the Kargı-İskilip area are represented by two different sedimentary depositional systems. From north to south: (1) Fan-delta system included delta plain, distributary channel and prodelta and (1) Submarine fan system consists of conglomeratic slope/apron fan, channel fill, sand lobe and basin plain deposits (Fig. 3). For facies interpretations and facies codes used in this depositional system have been referenced by Reineck and Sing (1975) and Miall (1984).

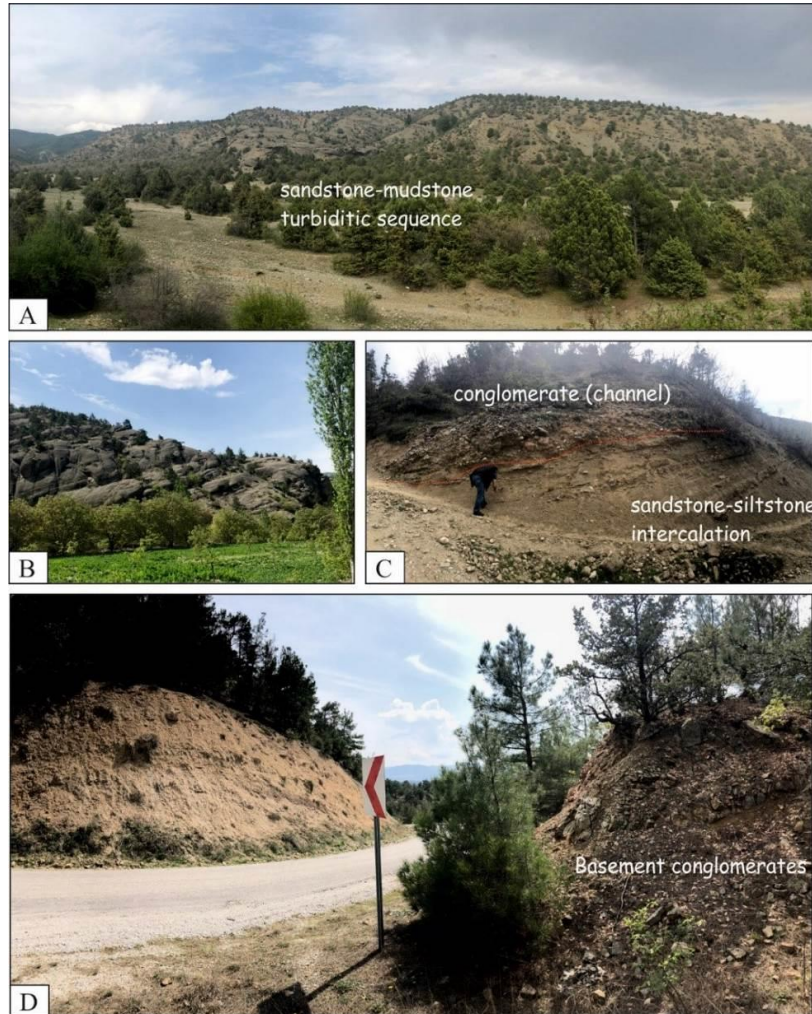


Figure 3. Outcrop photos from Kargı-İskilip area and Eocene submarine fan systems.

(A) The panoramic view of turbiditic sequence; (B) Conglomeratic slope/apron fan; (C) Gravel-rich channel-fill deposits erosional basement with fine-grained sediments; (D) Basement conglomerates which contacted with pre-Eocene basement rock assemblages

4.1. Fan Delta System

The sediments of the deltaic system are widespread in the northern part of the study area (Figure 1B). The low-grade metamorphics rocks of the Ilgaz metamorphic massif and their accompanying ophiolites form as basement rocks. The sedimentary deposits that are formed in the deltaic system unconformably overlie on the basement rocks with an erosive contact. Regolithic occurrences of terrestrial origin, which can be defined as the base conglomerate and composed of clastic sediments, are observed locally in the incompatible contact zone.

The detrital sediments of the fan delta system are composed of claystone, mudstone, sandstone and conglomeratic channel fillings. Non-economic coal seams are located in the upper part of the delta sequence within the organic matter-rich mudstones. The fan delta system which obtained measured sedimentological sections (MSS-1 and MSS-2) is made up of a clay rich topset deposits, delta front with distributary channels, and prodelta deposits. This regressive deltaic system is characterized by Karabalçık formation which included in the Lower to Middle Eocene aged in İskilip Group. The Karabalçık formation laterally grades into the Yoncalı formation which represented mudstone-shale alternation at centre of the study area (Figure 4).

4.1.1. Delta plain deposits

Description

The delta plain deposits are chiefly consist of siltstone, organic-rich mudstones (F7) and coal (F8) intercalations (Figure 4). Mudstones are mainly observed as thin-bedded and horizontal laminated. Generally, this facies association is accompanied by very fine to coarse sandstones (F4 and F6) (Table 1; Figure 4). The sandstone and pebble levels contain reworked nummulitic fossil fragments at the upper part of the clastic deposits.

Interpretation

The fine detrital clastic-dominated facies association is most probably subaerial topset deposits of delta plain (Table 1). The delta plain represents swamp deposits, organic clays and peat. Coal seams with mudstones form in the poorly drained swamps (Reineck and Sing, 1975). This facies is commonly observed in the higher up the Karabalçık formation which located at the northern part of the study area (Figure 4).

4.1.2. Distributary Channel

Description

The distributary channel facies association is composed of stratified gravel (F2), coarse pebbly sandstone (F4) and fine to coarse grained sandstone (F5) facies varieties (Table 1; Figures 4 and 5). The channel filling conglomerates (F2) of the distribution channels are commonly observed in the field upper part of the fine grained delta plain deposits (Figure 4). The conglomerates are mainly thick-very thick-bedded, medium to well sorted. The component pebbles are mainly derived from low-grade metamorphic rocks forming the Ilgaz massif and ophiolitic rocks. The intercalations of sandstone and mudstone are observed locally within the conglomerates. The sandstones (F4) are mostly composed of well-developed, thick to medium bedded, changeable grain sizes (from fine to coarse) with pebbly in some parts, cross-stratified and erosive base. Sand percentages are approximately above 50%. Coarsening-upwards sequences were generally observed in this facies association. Sandstones are mainly associated with thin layer mudstones and siltstones (Figure 4). The mudstone (F7) and coal seams (F8) are intercalated with massive sandstones (F3).

Interpretation

The clastics deposits from gravel to fine sand represent distributary channel according to description in above (Figure 4). Observing fining upward, and cross-stratification are common sedimentological structures in the channel fill formations of the distribution channels. The sand-dominated facies association was probably deposited in a delta plain of fan delta setting (Table 1; Figure 4). Gravel-rich, cross-stratified pebble to cobble coarse-grained sediments with erosive basement are represented very well in distributing channel of fan delta (Figure 4). The sub-marine feeder channels in the studied area are to be directed fed from this facies association (fan delta deposits).

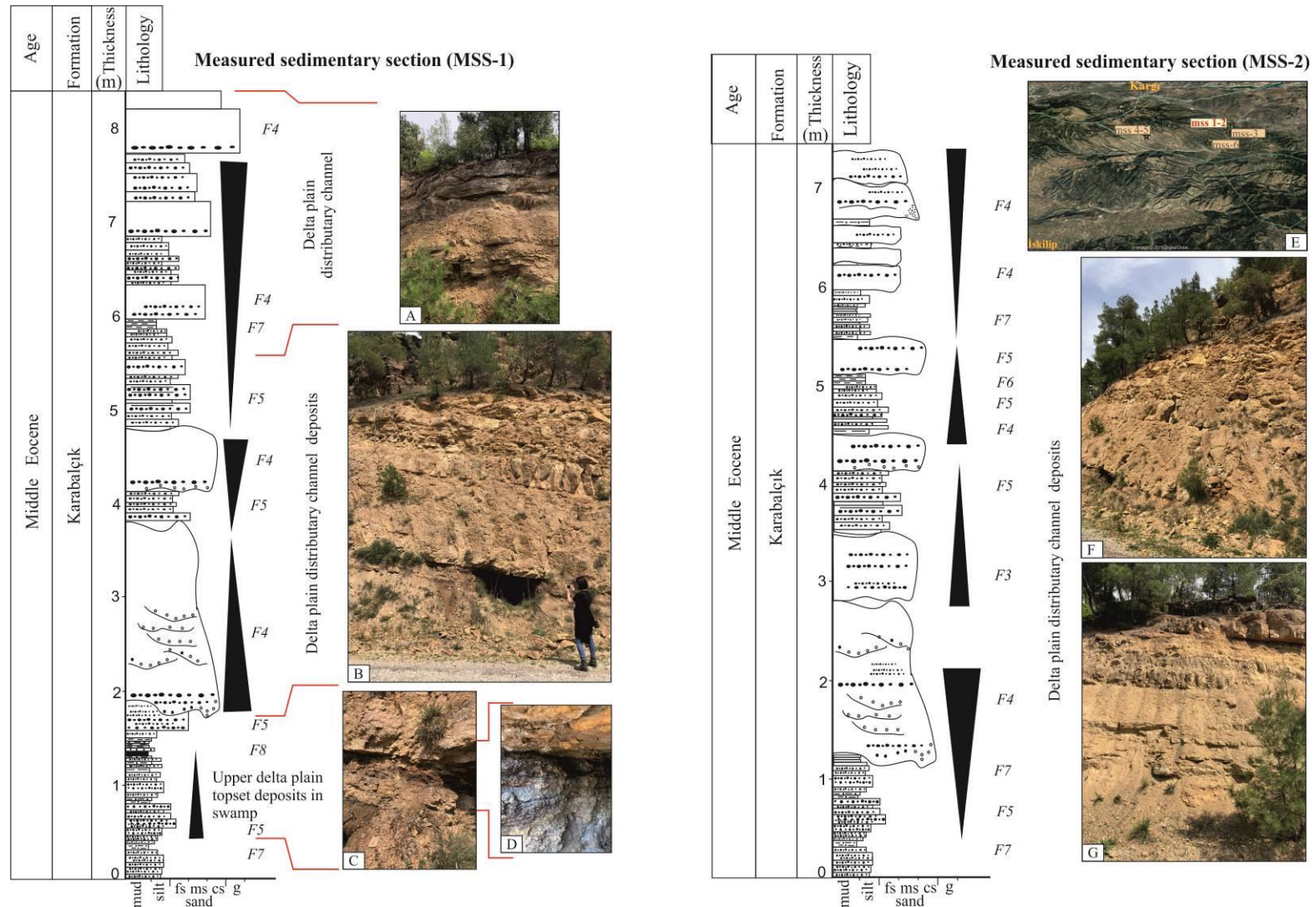
4.1.3. Prodelta Deposits

Description

The facies consists of claystone, mudstone (F7) and fine grained sandstone (F5). These fine-grained detritals forming the bottom-set are mostly medium to dark grayish, medium to weakly bedded. The bioturbation traces of sandstone and organic matter rich claystone are common. The fossil remains, consisting mainly of Nummulites, are widely observed in mudstones.

Interpretation

The fine-grained deposits forming the delta base are graded to the top of the relatively coarse-grained sediments that may belong to the prodelta sub-environment. The bioturbation and shell fragments in fine-grained clastics (silt, silty clay and mud) characterize bottom set deposits. These deposits are product of the slow deposition of suspended sediments (Reineck and Singh, 1975). Bioturbation is most common structure in the prodelta deposits.



4.2. Sub-marine Fan System

The sediments of the sub-marine fan system are widespread in the central part of the study area (Figure 1B). They are composed of thick massive conglomerates, pebbly sandstones and fine grained mudstone-shale alternations. In the study area, measured sedimentological sections (MSS-3, MSS-4 and MSS-5) show that sub-marine fan system progressively deeper from north to the south (Figures 5 and 6). This transgressive sequences which represented by thick conglomerates, sandstones and thin bedded mudstone-shale alternations as flysch character (Figures 5, 6 and 7). In this investigated area, sub-marine fan system consists of conglomeratic slope, channel fills, sand lobes and basin fill deposits. These marine deposits are presented by Hacıhalil and Yoncalı formations.

4.2.1. Conglomeratic Slope-Apron Fan

Description

Thick bedded conglomerates are highly concentrated, moving a large volume of deposits included gravel to boulder conglomerates (F1) as debris flow (Figure 3B). These thick-bedded successions are mainly composed of highly erosive pebbly to cobble, sandy matrix-supported conglomerates dominantly interbedded with pebbly sandstones. Massive, disorganized conglomerates show progressively changes in thickness. The thicknesses of conglomerate beds are nearly up to 4 meters and total thickness range between 450 to 1200 meters. Clasts are well rounded, poorly sorted, coarse sandy matrix-supported and massive (F1). The maximum clast size is up to approximately 22 cm. Clasts are mainly derived from ophiolitic rock fragments and commonly oriented. The main sedimentary structures are imbricated clasts (to the south) in some places (Figure 4E). This facies typically are very well exposed by upper part of the Hacıhalil formation (Figure 5).

Interpretation

The thick conglomeratic unit was occurred from deposition by coarse sandy to gravelly high-density flow currents and debris flows (Lowe 1982; Miall, 1984; Mutti and Normark 1987; Stow, 1994; Shanmugam 2000). The disorganized conglomerate beds are generally thought to deposit rapid, detrital sedimentation on steep slope and could be related to submarine fan systems. Shelf-apron conglomeratic fan most probably was triggered by seismic activity and/or slope over steepening or overloading. In this case, seismic activity could affect overload sediments to move through the slope as debris flow. The disorganized, chaotic, thick-bedded and no graded conglomerates pass to the fan system (to the south).

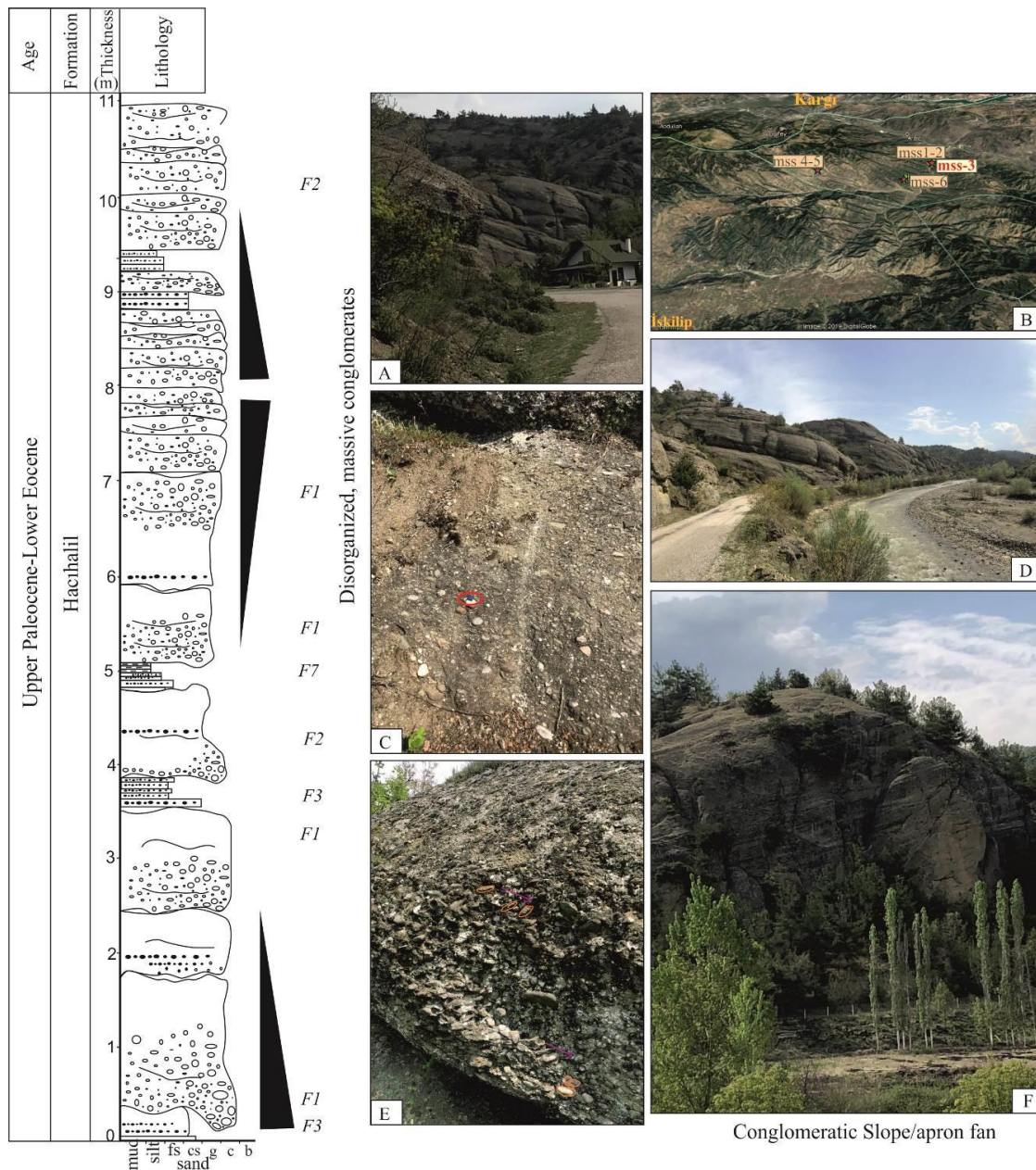
4.2.2. Channel Fill Deposits

Description

The channel-fill deposits compose of mainly coarse-grained, matrix-supported, cross stratified, poorly sorted, sub-to well-rounded pebble to gravels (F2). It is dominated by pebble to cobble grain size conglomerates intercalated with pebbly sandstones (F3). Pebbles are grayish blue and green coloured and mainly derived from ophiolites and limestone fragments of Köseadağ ophiolitic melange. Clast size is up to 13 cm and imbrication is also observed (Figure 6). Scours and load casts at the bottom of the bed are the main sedimentary structures. This facies is well observed in Hacıhalil formation at the nearly centre of the study area. The facies transitionally passes to the fine grained mudstone-shale alternations (Yoncalı Formation) and has progressively gradations to the fan deltaic sediments (Karabalçık Formation).

Interpretation

The facies assemblages, composed of conglomerate and sandstone, present long-distance transport by high concentration turbidity currents (Table 1). The facies association characterizes channel fill deposits in the proximal fan of the submarine system.



Measured sedimentary section (MSS-3)

Figure 5. The measured sedimentary section which expose disorganized thick conglomerate occurrences as a debris flow (MSS-3; photos A to E). Photos: A-D and F, the general field view of thick disorganized massive conglomerate sequences; B, indicating mss-3 location; C and E, closer view of matrix- supported conglomerates and imbrications (with purple arrows) are commonly observed in some places.

4.2.3. Sand Lobe

Description

The depositional sand lobe facies is consisted of medium- to coarse-grained, thick-bedded, parallel stratified, non-channelized, thickening-upward sandstones (F3) with some soft-sediment deformations indicating loading and slump structures (Figure 6A). The sand/shale ratio is 9:1 and associated with distributary channel deposits (Table 1). These thick-bedded sandstones with pebbly might be represented by classical Bouma (1962) sequences but complete Bouma (1962) sequences are absent. Most of the sandstone beds consist of Ta-b Bouma (1962) sequences, whereas the Tc, Tab, Tbc divisions are rarely observed. This facies are well represented in Hachalil formation situated at the central part of the study area (Figure 6C).

Interpretation

The abundance of inversely graded, massive or normally graded sandstones with floating clasts has been

interpreted to be the result of high density turbidity currents (Lowe 1982; Postma 1986; Postma et al. 1988). Slump and sliding structures are also evidence of the fast flowing which is most probably triggered by tectonic activity in the region.

Moreover, the distributary channels are associated with non-channelized sandy deposits. Generally, these deposits would suggest a channel-lobe transition or proximal lobe environment. Sandstone lobes form increasingly associated with finer-grained lobe fringe and fan fringe deposits suggesting a more distal part of the deep-marine system.

4.2.4. Basin Fill Deposits

Description

The facies association is mainly dominated by moderately thin bedded sandstone, siltstone (F6), parallel laminated mudstone (F7) and shale alternations. The thickness range is between 0.5 and 4 cm. The shales are dark gray to green, variable thickness (from thin to thick). Distinctly shale-dominated deposits occur in association with channel, lobe and lobe fringe deposits. They are typically composed of thin-bedded, fine-grained F6 to F7 facies and associated with F5 (Figure 6). These fine-very grained clastic alternations are typically represented by Yoncalı Formation.

Interpretation

The shale-dominated this sequence represent the distal lobe fringe in submarine system. This flysch character deposits might be formed by low velocity, low-concentration turbulent flows far from channel sources as a basin fill (Bouma 1962; Stow et al. 1996; Einsele 2000).

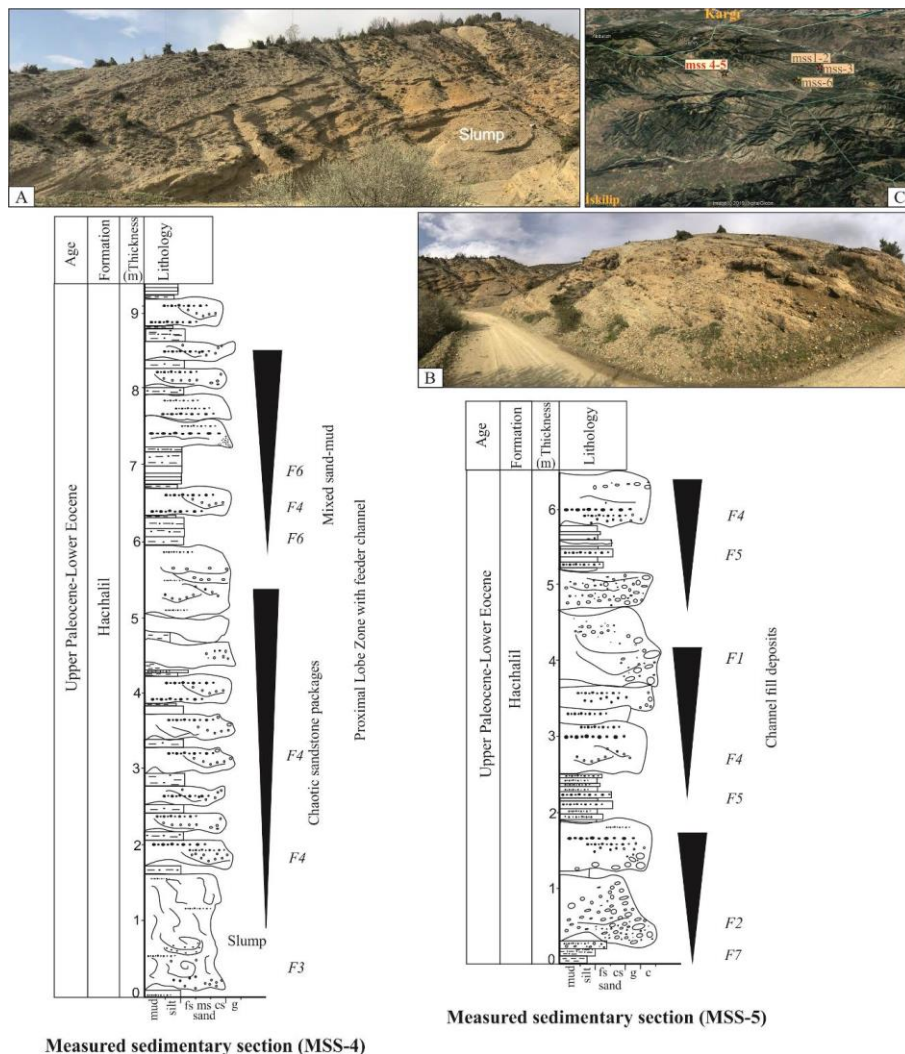
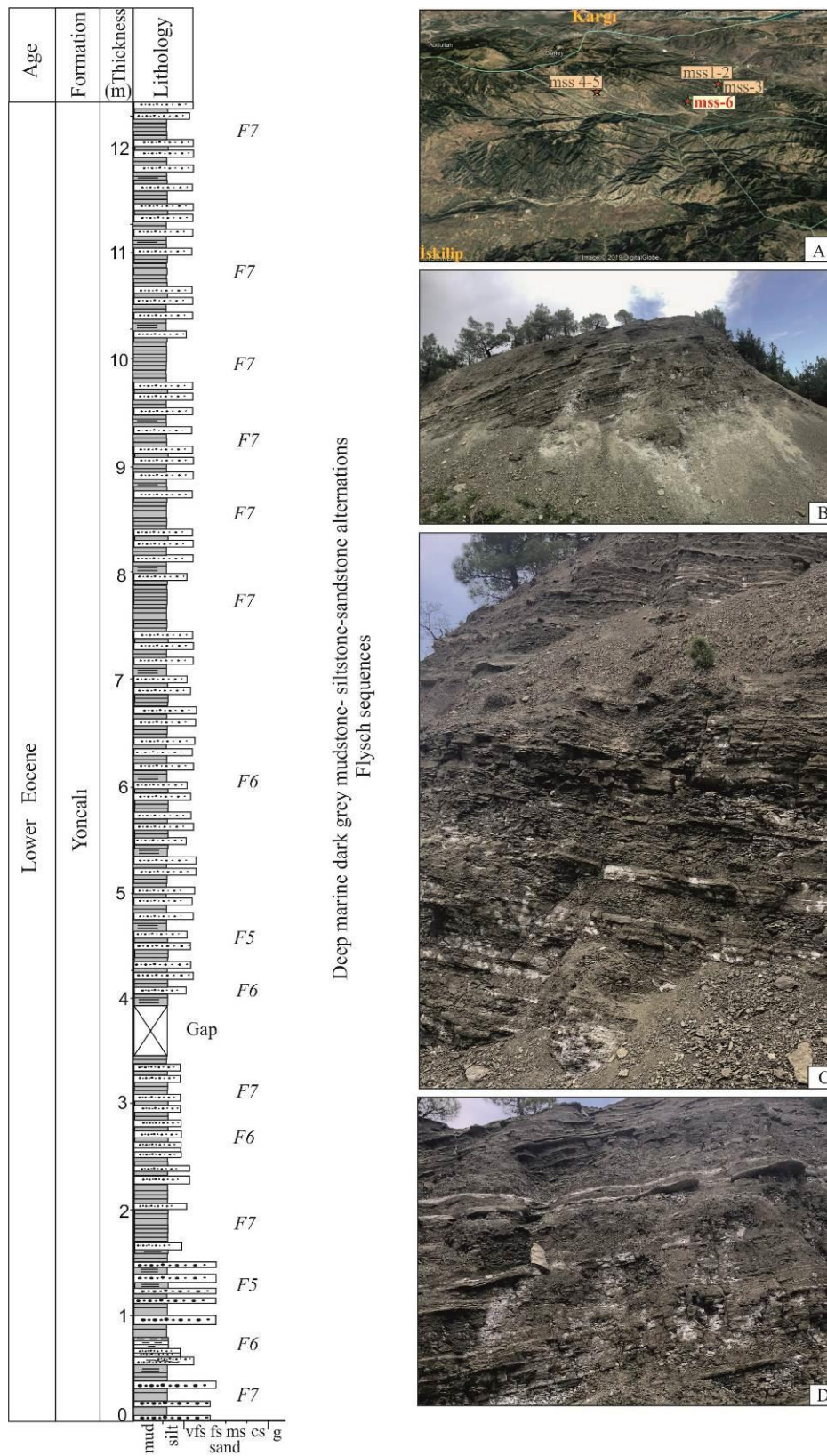


Figure 6. The measured sedimentary sections (MSS-4 and MSS-5) which exposed sand lobe with slump structure (MSS-4; photo A) and channel-fill deposits in Proximal zone in marine environment (MSS-5; photo B). Locations of measured sections are indicated in photo C.



Measured sedimentary section (MSS-6)

Figure 7. The measured section exposes fine to very fine, thin bedded mudstone-siltstone- sandstone alternations (MSS-6; photos B to C). Locations of MSS-6 is indicated in A.

Table 1. Lithofacies description and environmental interpretation of the Eocene submarine fan system in the Kargı-İskilip area (Facies codes are referenced from Mutti and Lucci Ricci, 1972; Walker, 1978; Pickering *et al.* 1986).

Facies	Facies Description	Sedimentary Structures	Associations	Depositional Processes	Environment
F1 (Massive conglomerates)	Massive, poorly sorted, sandy matrix supported gravel to boulder size, max. clast size 22 cm., sub-rounded, erosive base, thick bedded	Clasts are commonly oriented, in some places imbricated	F2, F3, F4	Rapid deposition, Debris flow deposits	Slope/apron fan
F2 (stratified conglomerate)	Gravel stratified	Trough crossbedding, imbricated	F1, F4	High concentration, turbidity currents	Proximal fan, Distributary channel
F3 (massive sandstone)	Sand, very fine to coarse, pebbles are also present, yellowish gray, medium-thickly bedded, Sand/shale ratio: 9:1	Massive medium to thick bedded, slump-slide structures	F1, F4, F7	High velocity, high-density turbidity currents, slump	Sub-marine sand lobe deposit, Proximal fan; Canyon subaqueous slopes in Sub-marine fan
F4 (cross stratified sandstone)	Sand, very fine to coarse, some part with pebbly	Cross stratified, erosive base	F1, F2, F8, F9	Bed load transported	Delta plain; Distributary Channel
F5 (laminated sandstone)	Sand, fine to coarse grained	Horizontal laminated, bioturbation, sharp contact base	F2, F4, F3	Medium velocity, medium to low deposition,	Prodelta fan and marine deposits
F6 (laminated shale, clay, silt)	Fine silt and clay, shale	Laminated to massive	F5, F7	Low velocity, low density turbidity currents, suspended sediments	Mid-distal sub-marine fan fringe
F7 (laminated mudstone)	Mudstone, siltstone	Laminated, thin bedded, reworked nummulite fragments	F5, F6, F8	Subaerial condition, lower energy	Upper Delta plain, swamp
F8 (Coal, coaly mudstone)	Coal, carbonaceous mud	Plants, mud lenses	F7	Low energy, subaerial	Poorly drained swamp, subaerial delta topset

5. Discussion

5.1. Depositional Modelling of the Kargı-İskilip Eocene Deposits

Throughout the Eocene, the depositional settings continued to vary from fan delta to sub-marine fan environments in the studied area. The transgression during the Eocene covered the metamorphic basement rocks that had previously been affected by compressional force and raised. According to field observation and detailed sedimentological investigations indicate that northern part of the studied area represents a fan delta system composed of both subaerial and subaquatic facies associations (Figure 7). Coal-bearing mudstone-siltstone intercalations at the base are characterized by flood plain deposits in a swamp which is the submarine part of the delta (Figure 7). Thick- medium bedded sandstone-siltstone which coarsening upward sequence indicate that distributary channel in delta plain. The sediment accumulation varies considerably along the lateral direction and changes to the prodelta deposits consisting of shell fragments and bioturbated sandstone- siltstones.

As shown on the block diagram given in Figure 7, the bathymetric structure of the Kargı-İskilip area and the sedimentary lithofacies in this basin are mostly controlled by fault systems extending from East to West. These fault systems also correspond to weakness zone between the pre-Paleogene basement rocks and Eocene deposits. Thus, the Eocene deposits unconformably overlie on basement rocks which composed of metamorphic rocks of the Ilgaz massif and complex rock assemblage forming the ophiolitic mélangé (Figure 8). While metamorphic rocks are mainly exposed in the north of these faults, ophiolites mostly spread in the southern part of the study area (Figure 8). In addition, these syn-sedimentary faults, showing growth fault characteristics, controlled the thickness, spreading, and lithofacies features of the sediments filling in the basin.

Fan delta and accompanying neritic facies are dominant in the northern part of the growth fault, submarine fan channels and accompanying turbiditic facies are more dominant in the southern part. According to previous researches and in this work, submarine fan channel fills pass laterally transitional to turbiditic sediments which composed of thin bedded mudstone-siltstone alternations. Conglomerate intercalations, which may belong to fan channel fillings, are observed in places within the turbiditic sedimentary sequence. Accordingly, Kargı-İskilip Paleogene-Neogene deposits show deepening marine lithofacies from north to south. Slide-slump structures are clearly seen large scale in sandstones and formed by the effect of high-density currents are occur in the proximal fan at the southwest of the basin (Figure 5; MSS-4).

However, it should be emphasized here that the thick succession consisting of fine-grained, gray coloured mudstone-siltstone alternation in flysch character was deposited in the Early Eocene (Yoncalı formation). Towards the middle-late Eocene period, the basin gradually became shallower and showed transitionally to the fan delta deposits (Karabalçık and Hacıhalil formations). In this context, thick, massive, matrix-supported, medium/well-rounded conglomerates are observed as debris flow in the slope /apron fan system towards from north to the south of the study area (Figures 1 and 5). This shallowing in the northern part must be strongly related to the tectonic uplift in the region.

The palaeocurrent directions show unimodal current vector in locally and the current axes indicate towards to the south of the basin. The succession of the turbidite sequences indicates that the basin is deepened and mudstone-siltstone-sandstone alternation as flysch character, which is several km in laterally, is observed in the southern part of the study area as a distal basin of a submarine (Figure 8).

Similarly, submarine fan systems have been observed in south of the Turkey. For instance, Aksu and Manavgat Basins located in southern part of the Isparta Angle are good examples for turbiditic submarine fan systems. Several studies on fan delta sediments and submarine fan channels accompanied with turbiditic deposits have been investigated by many researchers in detail (Akay et al. 1985; Çiner et al., 2008; Flecker et al., 1998; Glover and Robertson, 1998; Karabıyıkoglu et al. 1997,2000 and Poisson et al. 2003). They emphasised that the Paleogene-Neogene deposits, which filled into these basins, and accompanied with sediments have been controlled by syn-sedimentary growth faults systems.

In addition, the Kusuri Formation, composed of turbiditic sandstone-mudstone alternations, which are located in Sinop-Boyabat Basin (N-Turkey) have occurred during the Early-Middle Eocene obtained from micropaleontological analysis (Aydın et al., 1995; Leren, 2003). Moreover, the Eocene deposits which occurred at the NW-Turkey and Eastern Thrace basin fill could be also given as another example for similar outcrops. The Ceylan shale, located in the lower part of the Eastern Thrace basin, has the characteristics of petroleum source rock due to its high organic matter content (Keskin, 1974).

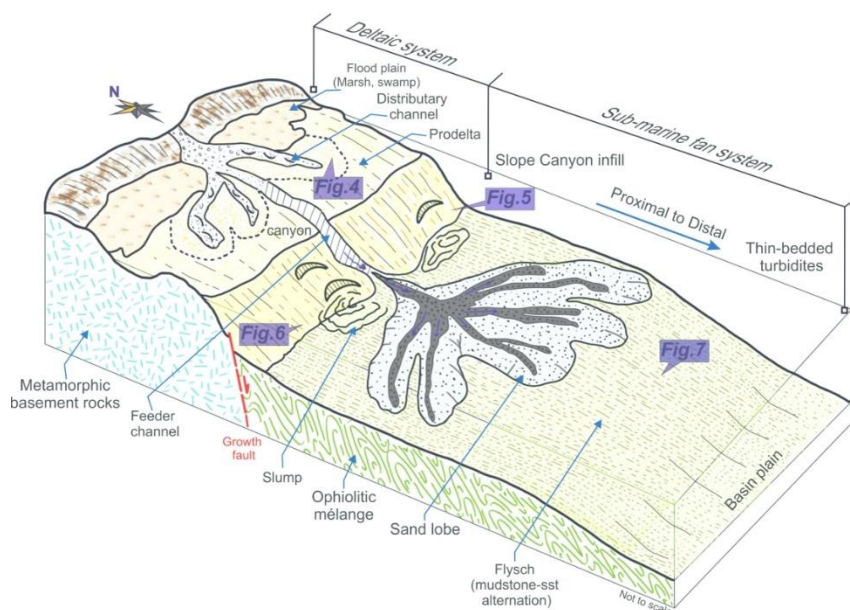


Figure 8. Schematic block diagram showing depositional environments of the Kargı-İskilip basin during the Eocene period

At almost all these examples given, it is noteworthy that they are quite important basins in terms of hydrocarbon potential. Moreover, there are also several examples from all around the world which show from fan delta to

turbiditic sequence in submarine systems during the Eocene period. Particularly, the Ainsa (proximal) and Jaca (distal) Basins which are located in southern Pyrenean (Spain) are good examples which forming from fluvio-deltaic to deep-marine systems during the Early-Middle Eocene (Heard, 2007; Dal Gupta, 2008; Dal Gupta and Pickering, 2008).

Furthermore, in the western and eastern regions of the study area, the Late Eocene volcanic, which are mostly composed of andesite, basalt and andesitic basalts and associated pyroclastics and dykes, are widespread. These volcanic, which extend in the study area and in the east of the basin, also form part of the Late Eocene volcanic belt which is widespread in North Anatolia. Ercan (1992), Şengör and Yılmaz (1981) stated that most of the Late Eocene volcanic in the northern part of Anatolia are calc-alkaline. They also emphasized that these volcanic started to form as a result of the closure of the Inner Taurus Ocean and the Maden Basin, which forms the northern branch of the Tethys Ocean, from the beginning of the Eocene. The authors stated that the Late Eocene volcanism with calc-alkaline composition was formed under island arc conditions occurring in the north of the subduction zone developing from south to north.

5.2. Paleogeography and Tectonic Control of the Basin infill

Generally, submarine clastic systems located on active margins are greatly influenced by tectonics. Tectonic activity controls basin topography, sediment moving ways, sources and fan developments (Mutti and Normark 1987; Bouma, 2000).

Taking a look at the paleogeographic evolution of the study area and surroundings according to the palaeotectonic model developed by Şengör and Yılmaz (1981) reveals the impact of events on the northern branch of the Tethys ocean. According to this model, the Inner Taurus Ocean and the Maden Basin, which form part of the northern branch of the Tethys Ocean, had been closed from the beginning of the Eocene. Correspondingly, the marine basins which shows marginal sea character were formed in the northern part of Turkey.

Due to the closure of the northern edge of the ocean during the Upper Cretaceous-Upper Eocene period, a complex tectonic model (compressive and extensional) was formed.

The study area and its surroundings developed under the control of the compression regime during the Upper Paleocene-Lower Eocene, and later (Tüysüz and Dellaloğlu, 1992, 1994), an extensional regime occurred after the stress regime in the Miocene period (Seyitoğlu *et al.*, 1997, 2000, 2009).

At the beginning of the Eocene, marine transgression covered the whole area, and towards the end of the Eocene period, transitional environments (such as lagunal) became widespread in this region with the retreat of the Eocene sea (Akarsu, 1959). With the regression of the Eocene sea, which is a strong result of regional tectonic activity, Oligo-Miocene terrestrial sediments commenced to deposit (Akarsu, 1959; Karadenizli, 1999; Karadenizli, 2011).

In this study, it has been clearly seen that Kargı-İskilip deposits are very well outcrop for Eocene basins in the marginal sea that emerges north of the subduction belt. The pre-Eocene basement rocks, which form the basement of the basin, are predominantly composed of Paleozoic metamorphics and ophiolitic rocks that overlie them tectonically.

The boundary between two basement rock units must be strongly related with thrust faults which controlling to be formed as a piggy-back basin (Figure 7). Moreover, syn-sedimentation due to subsidence under the control of the east-west trending growth faults that confine the Kargı-İskilip sediment fillings basin has revealed the depositional processes which getting deeper towards the south.

6. Conclusion

Kargı-İskilip area (N-Turkey) has been deposited in different sedimentary environments from north to south through the Eocene period. All data obtained from field observations and detailed sedimentological analysis in this study are given in the following items respectively.

- I. Considering the facies analysis revealed eight lithofacies have been identified and interpreted according to their sedimentary structures and characteristic of lithological features. They represent two different depositional systems such as fan delta system composed of the delta plain, distributary channels and prodelta deposits and submarine fan system composed of conglomeratic slope/apron, channel fill, sand lobe accompanied with submarine slip-slump structures and shale dominated turbiditic sequence (distal

turbidite). Non-economic coal seams within the organic matter-rich mudstones are clearly observed in the lower part of the deltaic sequence as topset deposits.

- II. The palaeocurrent data obtained from clastic sediments filling the Kargı-İskilip deposits reflects the existence of feeding from north to south. The sediments of the deltaic facies located to the north of the basin are graded to the south of the basin, in a short distance to the massive sandstone and conglomerate of the submarine channel filling facies. This situation is important in terms of reflecting the existence of syn-sedimentary growth faults, which are probably in the east-west direction and located at the northern edge of the basin.
- III. In this region, such a study was carried out for the first time on the Eocene sediments. Detailed studies on turbiditic unit which have potential source rock properties and porous sandstones which thought are to be reservoir rock for hydrocarbon exploration are required.

Acknowledgement

This work was financially supported by TKI (Turkish Coal Enterprises, Ankara-Turkey). The authors would like to thank the management and technical staff for their help. The authors also wish to thank to anonymous reviewers for their invaluable critics and comments that improved an early version of the paper.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akarsu, I., 1959. Çorum Bölgesinin Jeolojisi. *Turk. Jeol. Kurumu Bul.* 7, 19–30.
- Akay, E., Uysal, Ş., Poisson, A., Cravette, J., Muller, C., 1985. Antalya Neojen Havzasının Stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 28, 105-119.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağ, Z., Soysal, Y., Sunu, O., 1980. Eldivan-Şabanözü (Çankırı) ve Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi. MTA Report, No: 6741.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., Hakyemez, Y., 1982. Ankara-Elmadag-Kalecik dolayının jeolojisi. MTA Report no: 7298.
- Aslan, Y., Büyüksaraç, A., Yalçın Erik, N., Aydemir, A., Ateş, A., 2013. Geophysical investigation and hydrocarbon potential of Çankırı-Çorum Basin, Turkey. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 110, 94-108.
- Ateş, A., Bilim, F., Buyuksarac, A., Aydemir, A., Bektas, O., Aslan, Y., 2012. Crustal structure of Turkey from aeromagnetic, gravity and deep seismic reflection data. *Surv. Geophys.* 33, 869-885.
- Ayan, T., 1969. Çankırı-Yerköy havzası petrol imkanları, Jeolojik ve Tektonik etüdü, Egeran Müşavirlik Mühendislik Firması, TPAO Rap. No: 469 (yayımlanmamış).
- Aydın, M., Demir, O., Serdar, H.S., Özaydın, S., Harput, B., 1995. Tectono- sedimentary evolution and hydrocarbon potential of the Sinop-Boyabat Basin, North Turkey, In: Erler A et al (ed) *Geology of the Black Sea Region: General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara, pp 254–263.
- Besbelli, B., 2001. Bayat (Çorum)-Amasya arasında yer alan Eosen istiflerinin sedimanter jeolojisi. PhD thesis. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (unpublished), pp. 263.
- Bilim, F., Ates, A., 2007. Identifying block rotations from remanent magnetization effect: example from northern Central Anatolia. *Earth Planets Space* 59, 33–38.
- Bilim, F., Demir, D., 2010. Investigation of gravity anomalies of Cankiri Basin (Northern Central Anatolia, Turkey) using the boundary analysis and analytic signal method and 3D modelling. *Istanbul Yerbilimleri Dergisi*, 23, 87-95.
- Birgili, S., Yoldaş, R., Ünal, G., 1974. Çankırı-Çorum Havzası'nın Jeolojisi ve Petrol Olanakları Ön raporu. TPAO Rapor No 126, (yayımlanmamış) Ankara.
- Birgili, S., Yoldaş, R., Ünal, G., 1975. Çankırı-Çorum Havzası'nın Jeolojisi ve Petrol Olanakları. MTA raporu No 5621 (yayımlanmamış) Ankara.
- Bouma, A.H., 1962. *Sedimentology of some flysch deposits: A Graphic approach to facies Interpretation*. Elsevier, Amsterdam 168.
- Bouma, A., 2000. Coarse-grained and fine-grained turbidite systems as end member models: applicability and dangers. *Marine Petroleum Geology* 17, 137 - 143.
- Çebi, F.H., Korkmaz, S., 2013. Organic geochemistry and depositional environments of Eocene coals in northern Anatolia, Turkey: *Fuel*, 113, 481-496.
- Çiner, A., Karabıyıkoglu, M., Monod, O., Deynoux, M., Tuzcu, S., 2008 Late Cenozoic sedimentary evolution of the Antalya basin, southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 1, 1–41.
- Dal Gupta, K., 2008. Tectono-stratigraphic evolution of deep-marine clastic systems in the Eocene Ainsa and Jaca basins, Spanish Pyrenees: petrographic and geochemical constraints. PhD Thesis, University of London.
- Dal Gupta, K., Pickering, K.T., 2008. Petrography and temporal changes in petrofacies of deep-marine Ainsa-Jaca basin sandstone systems, Early and Middle Eocene, Spanish Pyrenees. *Sedimentology*, 55, 1083-1114.
- Dellaloğlu, A.A., Tüysüz, O., Kaya, O.H., Harput, B. 1992. Kalecik (Ankara)–Eldivan–Yapraklı (Çankırı)–İskilip (Çorum) ve Devrez

- Cayı arasındaki alanın jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Report no 3194. in Turkish, unpublished.
- Demirer, A., Özçelik, Y. and Özkan, R., 1992. Çankırı-Çorum basenindeki Eosen volkanitlerinin petrografisi, TPAO Rap., No:1810 Ankara(unpublished).
- Einsele, G., 2000. Sedimentary basins, evolution, facies and sediment budget. Springer-Verlag, Berlin 628p.
- Ercan, T., 1992. Cenozoic volcanism in Thrace and its regional distribution. Geological Engineering, 41, 37-50.
- 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.
- Flecker, R., Ellam, R.M., Müller, C., Poisson, A., Robertson, A.H.F., Turner, J., 1998. Application of Sr İsootope Stratigraphy and Sedimentary Analysis to the Origin and Evolution of the Neogene Basins in The Isparta Angle, Southern Turkey, Tectonophysics, 298, 83-101.
- Glover, C.P., Robertson, A.H.F., 1998. Neotectonic İntersection of The Aegean and Cyprus Tectonic Arcs: Extensional and Strike-Slip Faulting in the Isparta Angle, SW Turkey, Tectonophysics, 298, 103-132.
- 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, Ankara.
- Görür, N., Tüysüz, O., Şengör, A.M.C., 1998. Tectonic evolution of the central Anatolia Basins. Int. Geol. Rev. 40, 831-850.
- Hakyemez, Y., Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağ, Z., Sözeri, B., 1986. Yapraklı-Ilgaz-Çankırı-Çandır dolayımın jeolojisi, MTA Raporu, No:7966, Ankara.
- Heard, T.G., 2007. Ichnology and Sedimentology of deep-marine clastic systems, Middle Eocene, Ainsa - Jaca basin, Spanish Pyrenees. PhD Thesis, University of London.
- Karabıyıköğlü, M., Çiner, A., Tuzcu, S., Deynoux, M., 1997. Facies, depositional environments and evolution of a gravity induced submarine fan sedimentation (Miocene) in the Aksu foreland basin, western Taurids, Turkey. Geological Society of London Special Publication, 173, 271-294.
- Karabıyıköğlü, M., Çiner, A., Monod, O., Deynoux, M., Tuzcu, S., Örcen, S., 2000. Tectono-sedimentary evolution of the Miocene Manavgat Basin, Western Taurids, Turkey. Geological Society of London Special Publication, 173, 475-49
- Karadenizli, L., 1999. Sedimentology of Middle Eocene and Early Miocene Deposits in Çankırı-Çorum Basin. PhD Thesis, Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, pp. 249.
- Karadenizli, L., 2011. Oligocene to Pliocene palaeogeographic evolution of the Çankırı-Çorum Basin, central Anatolia, Turkey. Sedimentary Geology, 237, 1-29.
- Karadenizli, L., Saraç, G., Şen, Ş., Seyitoğlu, G., Antoine, P.O., Kazancı, N., Varol, B., Alçiçek, C., Gül, A., Ertan, H., Esat, K., Özcan, F., Savaşçı, D., Antoine, A., Filoreau, X., Hervet, S., Bouvrain, G., Bonis, L., Hakyemez, Y., 2004. Çankırı-Çorum Havzasının Batı ve Güney Kesiminin Memeli Fosillere Dayalı OligoMiyosen Biyostratigrafisi ve Dolgulanma Evrimi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Raporu, No: 10706, Ankara (yayımlanmamış).
- Kaymakçı, N., 2000. Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı Basin (Central Anatolia Turkey). Geologia Ultraiectina 190, 1-247.
- Kaymakçı, N., Özçelik, Y., White, H.S., Van Dijk, P.M., 2001. Neogene Tectonic Development of Basin (Central Anatolia, Turkey), TAPG Bulletin, Volume 13, No I, Page 27-56, 2001.
- Kaymakçı, N., Özçelik, Y., White, S.H., Van Dijk, P.M., 2009. Tectono-stratigraphy of the Çankırı Basin: Late Cretaceous to early Miocene evolution of the Neo-Tethyan Suture Zone in Turkey. In: Van Hinsbergen, D.J.J., Edwards, M.A., Govers, R. (Eds.), Collision and Collapse at the Africa-Arabia-Eurasia Subduction: The Geological Society, London, Special Publications, 311, 67-106.
- Kaymakçı, N., Özmütlu, Ş., Van Dijk, P.M., Özçelik, Y., 2010. Surface and Subsurface Characteristics of the Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey): Integration of Remote Sensing, Seismic Interpretation and Gravity, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 19, 2010, pp. 79-100.
- Kayseri-Özer, M.S., Karadenizli, L., Akgün, F., Oyal, N., Saraç, G., Şen, Ş., 2017. Palaeoclimatic and palaeoenvironmental interpretations of the Late Oligocene, Late Miocene-Early Pliocene in the Çankırı-Çorum Basin. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 467: 16-36
- Kazancı, N., Şen, Ş., Seyitoğlu, G., de Boris, L., Bouvrain, G., Araz, H., Varol, B., Karadenizli, L., 1999. Geology of a new late Miocene mammal locality in Central Anatolia, Turkey. Compt Rendus de l' Academie des Sciences IIA- Earth and Planetary Sciences 329, 503-510.
- Keskin, C., 1974. Kuzey Ergene havzasının stratigrafisi. 2. Türkiye petrol Kongresi, Tebliğler, 121-123.
- Ketin, İ., 1983. Türkiye Jeolojisine genel bir bakış. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi yayınları, 1259, 595.
- Lahn, E., 1939. Çorum havzasında yapılan jeolojik araştırmalar ve Çorum şehrindeki petrol sızıntıları hakkında rapor. M, T, A. Derleme Rap. No,1038, Ankara
- Leren, B.L.S., 2003. Late Cretaceous to Early Eocene sedimentation in the Sinop-Boyabat Basin, north-central Turkey: facies analysis of turbidites to shallow marine deposits. Thesis for the Candidatus Scientiarium Degree in Petroleum Geology/Sedimentology. Bergen University, Norway.
- Lowe, D., 1982. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. Journal of Sedimentary Petrology 52, 279 - 297.
- Miall, A.D., 1984. Principles of Sedimentary Basin Analysis, Spring-Verlag, 490pp.
- Miall, A.D., 1988. Facies architecture in clastic sedimentary basins. In: Kleinspehn, K., Paola, C. (Eds.), New Perspectives in Basin Analysis. Springer, Berlin-HeilderbergNew York, 67-81.
- Mutti, E., Ricci Lucci, F., 1972. Le turbiditi de li Appennino settentrionale; introduzione all "analisi di facies: Mem. Soc. Geol. Italy, 11; 161-199.
- Mutti, E., Normark, W.R., 1987. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. In: Leggett, F.K., Zuffa, G.G., (eds) Marine clastic sedimentology. Graham & Trotman, London, 1-38.
- Oyal, N., 2016. Çankırı-Çorum Havzasındaki Oligosen Yaşlı Dev Gergedanın (*Paraceratherium*, Rhinocerotioidea, Mammalia) Tanımı, Evrimi ve Paleocoğrafyası, Hacettepe Üniversitesi Doktora Tezi, Ankara (yayımlanmamış).

- 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 Raporu, No: 13600, Ankara (yayımlanmamış).
- Özçelik, Y., 1994. Tectono-stratigraphy of the Lacin Area (Çorum-Turkey). MSc. Thesis, Middle East Technical University, Department of Geological Engineering, Ankara-Turkey [unpublished].
- Özçelik, Y., Öztaş, Y., 2000. Cankiri Baseni'nin Jeolojisi ve Petrol Olanakları. TPAO Report no. 4150. in Turkish, unpublished.
- Piper, J.D.A., Moore, J., Tatar, O., Gürsoy, H., Park, R.G., 1996. Paleomagnetic study of crustal deformation across an intracontinental transform: The North Anatolia Fault Zone in northern Turkey. In: Morris, A., Tarling, D.H. (Eds.), Paleomagnetism of the Eastern Mediterranean Region, vol. 105. Special Publications—Geological Society, London, pp. 299–310.
- Platzman, E.S., Platt, J.P., Tapırdamaz, C., Sanver, M., Bundle, C.C., 1994. Why are there no clockwise rotations along the North Anatolia Fault. *J. Geophys. Res.* 99, 21.705–21.716.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M., 2003. New insights on the tectonic setting and evolution of the Isparta Angle, SW Turkey. *Geological Journal* 38, 257–282.
- Postma, G., 1986. Classification for sedimentary gravity-flow deposits based on flow conditions during sedimentation. *Geology*, 291–296.
- Postma, G., Nemec, W., Kleinsphen, K.L., 1988. Large floating clasts in turbidites: a mechanism for their emplacement. *Sedimentary Geology* 58, 47–61.
- Pickering, K., Stow, D., Watson, M., Hiscott, R., 1986. Deep-water facies, processes and models: a review and classification scheme for modern and ancient sediments, *Earth-Science Reviews*, Volume 23, Issue 2, Pages 75–174.
- Reineck, H.E., Singh, I.B., 1975. *Depositional Sedimentary Environments with Reference to terrigenous clastics*, Berlin–Heidelberg–New York, 439pp.
- Rögl, F., 1999. Mediterranean and Paratethys paleogeography during the Oligocene and Miocene, p. 8–22.
- In Agusti, J., Rook, L., and Andrews, P. (eds.), *Hominoid Evolution and Climatic Change in Europe. Volume 1. The Evolution of Neogene Terrestrial Ecosystem in Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Saraç, G., 2003. Türkiye Omurgalı Fossil Yatakları. MTA Report, no: 10609.
- Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karakuş, K., Fodor, L., Araz, H., Karadenizli, L., 1997. Does continuous compressive tectonic regime exist during Late Palaeogene to Late Neogene in NW Central Anatolia, Turkey? Preliminary observations. *Turkish Journal of Earth Sciences* 6, 77–83.
- Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karadenizli, L., Şen, Ş., Varol, B., Karabıyıkoglu, T., 2000. Rockfall avalanche deposits associated with normal faulting in the NW of Çankırı Basin: implication for the post-collisional tectonic evolution of the Neo-Tethyan suture zone. *Terra Nova* 12 (6), 245–251.
- Seyitoğlu, G., Aktuğ, B., Karadenizli, L., Kaypak, B., Şen, Ş., Kazancı, N., Işık, V., Esat, K., Parlak, O., Varol, B., Saraç, G., İleri, İ., 2009. A Late Pliocene-Quaternary pinched crustal wedge in NW Central Anatolia, Turkey: a neotectonic structure accommodating the internal deformation of the Anatolia plate. *Geological Bulletin of Turkey* 52 (1), 125–158.
- Seymen, İ., 1981. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir masifinin stratigrafisi ve metamorfizması. *TJK Bülteni* 24 (2), 7–14.
- Seymen, İ., 1984. Kırşehir Masifi metamorfizmasının jeolojik evrimi. *TJK Ketin Sempozyumu*, 133–148.
- Shanmugam, G., 2000. 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models – a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology* 17, 285 - 342.
- Stow, D.A.V., 1994. Deep sea processes of sediment transport and deposition. In: PyeK (ed) *Sediment transport and depositional processes*. Blackwell, Oxford, pp 257–291.
- Stow, D.A.V., Reading, H.G., Collinson, J.D., 1996. Deep seas. In: Reading, H.G. (ed) *Sedimentary Environments: Processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science, Oxford, 395 - 454.
- Şenalp, M., 1974. Çankırı-Çorum Havzası'nın Sungurlu bölgesindeki karasal çökellerin sedimantolojisi. *TJK Bul.* 24, 65–74.
- Şenalp, M., 1981. Sedimentological investigation of terrestrial formations in the Sungurlu region of the Çankırı-Çorum Basin. *Bull. Turk. Geol. Soc.* 24 (1), 65–74 (in Turkish).
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181–241.
- Taymaz, T., Wright, J., Yolsal, S., Tan, O., Fielding, E., Seyitoglu, G., 2007. Source Characteristics of the 6 June 2000 Orta Çankiri (central Turkey) Earthquake: A Synthesis of Seismological, Geological and Geodetic (InSAR) Observations, and Internal Deformation of the Anatolia Plate. vol. 291. Geological Society, London, Special Publication, pp. 259–290.
- Tokatlı, K., Demirel, I.H., Karayığit, A.I., 2006. Burial history and thermal maturity assessment of Upper Cretaceous–Lower Tertiary Formations the Çankiri Basin, Turkey. *Int. J. Coal Geol.* 66, 35–52.
- Tüysüz, O., Dellaloğlu, A.A., 1992. Tectonic units and geologic evolution of the Çankırı-Çorum Basin. 9th Turkish Petroleum Congress. Proceedings, pp. 333–349 (in Turkish).
- Tüysüz, O., Dellaloğlu, A.A., 1994. Lower Tertiary paleogeographic evolution of the Çankırı-Çorum Basin, Central Anatolia. 10th Turkish Petroleum Congress. Proceedings, pp. 56–76 (in Turkish).
- Uğuz, M.F., Sevin, M., Duru, M., 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Sinop Paftası.
- Ünalın, G., Harput, B., 1983. Investigation of the source rock within Upper Cretaceous and Lower Tertiary deposits at the Western margin of the Cankiri Basin (Central Turkey). *TJK Bull.* 26, 177–186.
- Walker, R.G., 1978. Deep-water Sandstone facies and ancient Submanne fans: Models for exploration for stratigraphic traps: *The American Association of petroleum Geologists*; V. 62, P. 932–966.
- Yoldaş, R., 1982. Tosya (Kastamonu) ile Bayat (Çorum) Arasındaki Bölgenin Jeolojisi (PhD Thesis) İstanbul Üniversitesi, p. 311.



HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ(HTEA): İMALAT ATÖLYESİNDE ANLIK HATA VE DURUM İZLEME UYGULAMASI

Ceren ARSLAN KAZAN^{1*}, Halil İbrahim KORUCA¹, Buket KARATOP³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Faaliyet Tabanlı Maliyetlendirme, Maliyet Optimizasyonu.

Öz

Bu çalışmada, Endüstriyel mutfak ürünleri imal eden ve ürün gamında yüzlerce ana ürün ve binlerce yarı mamul bulunan bir firmanın talaşlı imalat atölyesinde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi uygulanmıştır. Atölyede bulunan, 12 adet makinaya yerleştirilen Programlanabilir Mantık Denetleyici (Programmable Logic Controller, PLC) kartlar ile anlık makinanın durumu, ürün ve üretim izlenmiştir. Makinelere yerleştirilen PLC kartları yardımıyla veriler merkezi bilgisayara kaydedilmiş olup, makinanın çalışmasıyla ilgili sağlıklı veriler elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, Makineye yerleştirilen kartlardan alınan veriler ile makinelerin çalışma durumları, kapasite kullanım süreleri, makinelerin çalışma süreleri, sadece yatay torna makinelerine ait parça sıkılmış durumda bekleme süreleri, boşta bekleme süreleri, çalışma süreleri ve duruş süreleri elde edilmiştir. Operatörlere bağlı kalmadan elde edilen veriler doğrultusunda işletmede HTEA yöntemi uygulanmış olup, en çok karşılaşılan hata türleri belirlenerek 100'den büyük RÖS değerine sahip olanlar için önleyici ve düzeltici faaliyetler belirlenmiş ve uygulanmıştır. Ayrıca ana çalışmaya ek olarak talaşlı imalat firmalarının katlandığı en büyük maliyet kalemi olan kesici uç takımı maliyetleri de analiz edilmiş olup, HTEA uygulamasının yapılmadığı Ocak 2021 ile uygulamanın yapıldığı Şubat 2021 ve Mart 2021 üretim maliyetleri karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA): INSTANT ERROR AND CONDITION MONITORING IN MANUFACTURING

Keywords

Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Activity Based Costing, Cost Optimization.

Abstract

FMEA method was applied in the machining workshop of a company that manufactures industrial kitchen products and has hundreds of main products and thousands of semi-finished products in its product range. With PLC cards placed in 12 machines in the workshop, the status of the machine, product and production were monitored instantly. With the help of PLC cards placed in the machines, the data were recorded on the central computer, valid data about the operation of the machines were obtained. The operating status of the machines with the data received from the cards inserted into the machines, that is, capacity usage times, working times of machines, waiting times in tightening only for horizontal lathe machines, idle waiting, working times, downtimes were obtained. In line with the data obtained, FMEA method was applied in the enterprise; the most common error types were determined, and preventive and corrective actions were applied for those with a RÖS value greater than 100. In addition to the main study, cutting tool costs, which are the most expensive item for machining companies, were examined, and production costs from January, when FMEA was not used, and February and March, when it was used, were compared and evaluated.

Alıntı / Cite

Arslan Kazan, C., Koruca, H.İ., Karatop, B., (2022). Hata Türü ve Etkileri Analizi(HTEA): İmalat Atölyesinde Anlık Hata ve Durum İzleme Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 804-815.

* İlgili yazar / Corresponding author: cerenarslann@gmail.com, +90-553-479-9583

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C. Arslan Kazan, 0000-0003-0530-011X	Başvuru Tarihi / Submission Date	09.02.2022
H.İ. Korusu, 0000-0002-2448-1772	Revizyon Tarihi / Revision Date	14.04.2022
B. Karatop, 0000-0001-6053-1725	Kabul Tarihi / Accepted Date	29.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

İmalat işletmelerinde, hataların azaltılması, düzeltilmesi ve/veya tamamen ortadan kaldırılması için kullanılan HTEA uygulamada sık kullanılan yöntemlerden birisidir. İşletmeler, müşteri isteklerine daha iyi ve hatasız cevap verebilmek için hem üretim hem de tedarik zinciri yönetimini etkin ve verimli şekilde yerine getirmek zorundadır. İşletmeler bunun için, üretim sürelerini kısaltmak, maliyetleri doğru analiz etmek ve azaltmak, üretim hatalarını en aza indirmeleri gerekmektedir. Artan rekabet ortamında işletmelerin sadece üretim yapıyor olması yeterli değildir ve en kısa sürede, yüksek miktarda ve yüksek verimlilik oranı ile müşteri beklentileri karşılanması gerekmektedir. İmalat teknolojinin gelişmesi, müşteri talep değişiklikleri, müşteriye özel ürünler, yüksek kalite ürünler, karmaşık üretim süreçleri işletmeleri kendilerini geliştirmeye zorunlu hale getirmektedir. Talaşlı imalat; bir malzemede istenen özellikleri (yüzey, boyut, şekil) elde etmek için takım tezgâhlarının kesici takımlar yardımıyla iş parçası üzerinden tabaka tabaka malzeme kaldırma işlemidir. Talaşlı imalatta işlenebilir malzeme yelpazesi oldukça geniştir. Birbirlerinden farklı ürün talaş kaldırma işlemlerinden kaynaklı operatör hatası ve diğer hatalar birim maliyetleri arttırmaktadır.

İşletmeler yüksek verimlilik ve düşük maliyetle müşteri isteklerini karşılamak istemektedirler. Bu nedenle oluşan hataların önlenmesi için çeşitli kalite iyileştirme politikaları geliştirmekte ve uygulamaktadır. HTEA önleyici bir risk yönetimi yöntemidir ve potansiyel hatalar sistematik olarak tahmin edilebilir. İnsan hataları, ekipman sorunları, personel eğitimi, nesnelere yanlış yerleştirilmesi, iletişim zorlukları, tasarım sorunları dahil olmak üzere etkisi olabilecek sorun ve hatalar belirlenebilir. Bu sebepten dolayı hata analizlerinde önemli bir yere sahiptir.

Bu çalışmada, endüstriyel tip mutfak ürünleri üreten bir firmanın talaşlı imalat atölyesinde HTEA uygulayarak hatalar analiz edilmiş ve maliyetler düşürülmüştür. Atölyede ortaya çıkan hatalar makinalara yerleştirilen kartlar ile tespit edilmiştir. Makine operatörlerinin bazen makinaları makine çalışıyor konumda bırakması, parça işlemedikleri, ürünlerde kalite hataları görülmesinden dolayı önlem olarak makinalara kartlar yerleştirilmiştir. Böylelikle, makinelerin çalışıp çalışmadığı anlık kontrol edilerek operatörlerin verdiği bilgiler kartlar yardımıyla kontrol edilmiştir. Alınan bu veriler geliştirilen bir algoritma ile daha anlaşılır hale dönüştürülmüştür. Haberleşme protokolleri ile sürekli veri kaydedilmiş ve süreler baz alınarak birim maliyet verileri doğru olarak hesaplanmıştır. Makinaların yanına yerleştirilen kiosk ekranları vasıtasıyla kullanılan ERP yazılım ara yüzü ile operatörler iş emirlerinin başlama ve bitiş zamanlarını ERP sistemine girebilmeleri sağlanmıştır. İş emri onaylarını verirken hatalı üretim gerçekleştirdiği takdirde hatalı ürün miktarları ve hatalı ürün üretilme nedenleri sisteme girebilmektedirler. Hata türleri ERP programı yardımı ile değerlendirilmiş ve hataların ortaya çıkmadan önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. İşletmede işçilerin hata yapmasına etkileyen faktörler araştırılmıştır. Alınan veriler doğrultusunda hesaplanan birim maliyet verileri temel alınarak, işletmenin PLC kart yerleştirme öncesi ve sonrası toplam üretim maliyetleri karşılaştırılmış ve hata türleri analiz edilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Artan rekabet ortamında çeşitlilik gösteren müşteri isteklerine daha iyi cevap verebilmek için tedarik zinciri yönetiminin gerektirdiklerini etkin ve verimli şekilde yerine getirmek, üretim sürelerini kısaltmak, maliyetleri doğru analiz etmek ve azaltmak ve üretim hatalarını en aza indirmek gerekmektedir. Literatürde HTEA yönteminin üretim sektöründe uygulanması ile ilgili birçok çalışma yapıldığı görülmektedir.

Çevik ve Aran (2009) çalışmasında, piston imalatı yapan bir işletmede müşteriye sunmadan önce üründe meydana gelebilecek hataların oluşmasını önlemek amacı ile bir HTEA uygulaması yapmışlardır. İşletmede 10 hata türü tespit edilmiş, bu hatalar için belirlenen düzeltici & önleyici faaliyetler sonrasında müşteri şikâyetlerinde %47,4 azalma gözlemlenmiştir.

Ghani vd. (2013), kaplamalı karbür kesme kenarının frezelemesi sırasında yüklenme ve boşaltma etkisinin neden olduğu hata etkileri araştırılmıştır. Karbür, kırılabilir bir malzeme olup karbür kesici takım kullanıldığında takım ömrünü uzatmak için kesme hızının 120m/dk'da kesmenin uygun olduğu tespit edilmiş olup, nitrat ve nitrüleme gibi gelişmiş sinterleme işlemleri ve HT-Ti (C, N) / k- Al₂O₃, TiSiCN ve CrSiCN gibi yeni kaplamalar ile birlikte ultra ince karbür kesici takım kaliteleri kullanılarak daha iyi karbür kesici takım özelliklerinin elde edileceği önerilmiştir.

Mariajayaprakash, ve Senthilvelan (2013) Hindistan'da %20'nin üzerinde bir elektrik kesintisi olan bir şeker fabrikasında meydana gelen en büyük sorunun, kazanın sık sık arızalanması ve bu da üretim kaybına yol açmaktadır. Kazan arızalarına neden olacak en önemli hata parametreleri Hata Türü ve Etki Analizi (HTEA) uygulanarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar: İşlem sırasında tambur besleyicinin kalitesinin Taguchi'nin yöntemi ile mümkün olan en düşük maliyetle iyileştirilebildiği gösterildiği, Shikawa diyagramı veya neden ve sonuç diyagramı, işlem sırasında tambur besleyicinin kalitesini etkileyen tüm olası nedenleri sıralamak için çok etkili olduğu görüldüğü, yakıt parametresi, işlem sırasında tambur besleyicinin kalitesini önemli ölçüde etkilediği ifade edilmiş, optimum yakıt türü, yakıt nemi, motor yükü ve silo seviyesi tahmin edilebilmiş, işlem sırasında tambur arızasının öngörülen hata aralığı $1.37 < 1.86 < 2.35$ 'tir.

Yee, Ahmed, Quader (2014) çalışmasında, cam üretim tesisi kuran firmada proses performansını arttırmak ve ürün kalitesini iyileştirmek için histogram, kontrol çizelgeleri, pareto çizelgeleri, akış çizelgeleri, neden sonuç çizelgeleri gibi çeşitli istatistiksel araçlar ve teknikler uygulanmıştır. Temperleme işlemi, kesme işlemine (%5,91) ve ısı baskı işlemine (%3,38) kıyasla yüzde 9,49'luk bir red oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Ünğan (2017) çalışmasında, otomotiv sektöründe metal işleme alanında faaliyet gösteren bir firmanın pul, yay ve türevindeki ürünlerin üretim süreçleri ve alt süreçleri, hammadde ve yardımcı malzeme kabulü, giriş kalite kontrol, stoklama ve ara sevkiyatlar, ambalajlama süreçleri için HTEA uygulanmıştır. Uygulama sonucunda, olası hata türleri ve etkilerini önlemeye dönük aksiyon önlemleri tanımlanmış süreçlerinin genelinde %52,6'lık, ambalajlama sürecinde ise %54,3'lük bir iyileşme sağlanmıştır.

Mzougui ve Felsoufi (2019)'nin çalışmasında, beklenen arıza tespiti (AFD) ve HTEA yöntemlerinin avantajlarını birleştiren bir yöntem önermektedir. Sürdürülebilirlik ve maliyet artırıcı hataların önlenmesine öncelik verilmesi ve sınıflandırılmanın iyileştirme için ek faktörler ele alınmış ve HTEA analizi uygulanmıştır. Geleneksel Risk Önceliği Puanı (RPN) hesaplamasında şiddet, ortaya çıkma, tespit değerleri çarpılmakta, fakat bu makalede ağırlıklandırılmış değerler de hesaplama içine alınmamıştır. Şiddetin, olasılığın ve tespitin ağırlıklandırılmış hali dikkate alınmamıştır.

Hung ve Chen (2019) çalışmasında, mevcut seramik altlık üretim yönteminin yerine lazer kaplamalı bakır (LPC) tekniğini kullanarak yeni bir AIN (Alüminyum nitür) seramik altlık metalleştirme işlemi önermektedir. Alaşımız bakır kaplamanın AIN metalizasyon işlemi sırasında birçok hata türü tespit edilmiş olup, üst kaplama, kirlilik gibi etkenler hurda kayıplarına neden olduğu tespit edilmiş olup bu hataları önlemek için kullanılan HTEA analizi sonucunda suyla durulama süresini arttırarak, partikül kirleticisini gidermek için alkol solüsyonu kullanarak iyi sonuçlar elde edildiği çalışmada ifade edilmektedir.

Lo vd. (2019) çalışmasında, takım tezgahlarının güvenilirliğini arttırmak, hata türlerini belirlemek, olası riskleri önlemek için HTEA yöntemi uygulanmış ve Hibrit FMEA-MCGDM (Çok kriterli grup karar verme) model sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk olarak kriterlerin hesaplanması için R-BWM (Ağırlıklandırılmış en iyi-en kötü yöntem) yöntemi kullanılmış, ikinci olarak ise hata türlerini sıralamak için R-TOPSIS yöntemi uygulanmış ve gürültü ve titreşim sorununun iyileştirme gerektiren en acil unsur olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçların ürün tasarım planlarının ve hata önleme stratejilerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için faydalı olduğu ortaya koyulmuştur.

Dağcı (2019) çalışmasında, Ankara'da talaşlı imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede hataların meydana gelmemesi için ve de eğer bir hata oluşmuş ise, müşteriye yansımaması için ham malzeme tedarikinden ürün sevkiyatına kadar geçen süreç için HTEA uygulanmıştır. 2018 yılında hata türlerine göre, hurda olan ürün adetleri ile 2019 yılının ilk dört ayında gerçekleşen hata türlerine göre hurda ürün adetleri karşılaştırıldığında; tezgâha yanlış NC program verilmesi hata türünde %47,05, operatöre yanlış bilgi verilmesi hata türünde %25, kalınlığın tolerans dışında olması (daha ince) hata türünde %87,01, delik çapının büyük olması hata türünde %87,09, delik konumunun hatalı olması hata türünde %42,85, parçada çapak kalması hata türünde %71,42, ölçü düşmesi hata türünde %62,5 ve eski revizyonlu program çalıştırılması hata türünde %100 azalma gözlemlenmiştir.

Sánchez vd. (2020) çalışmasında, nesnelerin interneti (IoT) tabanlı ürünler oluşturma ve satma işinde işletmelere ilgili maliyet bilgilerini sağlamak için Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (ABC) sisteminin benimsenmesini araştırmaktır. Bu çalışmanın sonucunda Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (ABC) sistemine göre, akıllı rüzgâr jeneratörünün maliyeti ile ilgili karar verme sürecinde her bir ürüne dolaylı maliyetler tahsis edilmezse ise maliyetin %7,9 daha düşük olacağını sonucu sonucuna varılmıştır.

Li vd. (2021) çalışmasında, yüzer açık deniz rüzgâr türbinlerinin arıza nedenlerini analiz etmek için bir AHP-FMEA metodolojisi uygulanmıştır. On beş arıza senaryosu belirlenmiştir. Arıza yayılma yollarını önlemek ve arıza etkileri azaltmak için düzeltici ve önleyici eylemler belirlenmiştir. Rüzgâr türbini (0,44 RPN'si ile) yüzer açık deniz rüzgâr

türbininin en kritik sistemidir, bunu demirleme sistemi (0,18), yüzer temel (0,17), kule ve geçiş parçaları (0,16) takip eder ve daha sonra kırık palamar halatları ve diğer 14 arıza modu riskli arızalar olarak tanımlanır.

Filz vd. (2021) çalışmasında, endüstriyel yatırım mallarının kullanım aşamasındaki geçmiş ve operasyonel veriler üzerinde derin öğrenme modelleri kullanarak veriye dayalı HTEA metodolojisi sunmakta ve bu metodoloji havacılık sektöründen bir örnek olay incelenmiştir. Zaman kazandıran avantajların yanı sıra geliştirilen bu metodoloji sayesinde her çalışan aynı sonuçlara ulaşacağı öngörülmüş olup veri odaklı hata tahminin yüksek doğruluğu nedeniyle bileşenler yalnızca gerekli zamanda değiştirilir, bu nedenle daha uzun süre kullanılabilir. İlgili metodoloji yardımıyla anlık RÖS değerleri kullanılarak parçaların ya da bileşenlerin arızaları tahmin edilebilir hale gelmiştir.

Bu çalışma, HTEA analizi ile elde edilen sonuçların maliyete etkileri hesaplanmıştır. Ayrıca, diğer HTEA Analizi çalışmalarından farklı olarak, nesnelere interneti PLC kartlar aracılığıyla makinelerden alınan veriler anında ara yüz aracılığı ile yönetimin ekranından görünmesi sağlanmıştır. HTEA tekniği ERP programı ile kolayca entegre edilerek analiz aşamasında doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmiştir. Veriler gerçek zamanlı elde edilmektedir. Veriler ilgili karar süreçlerinde kullanılmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma kapsamında, endüstriyel mutfak ürünleri imal eden işletmenin talaşlı imalat biriminde ortaya çıkan hatalar, üretim sahasında yer alan kiosklardaki ERP programına girişleri operatörler tarafından yapılmaktadır. Operatörlerin kontrol edilebilmesi için birimde yer alan 12 adet makineye PLC kart yerleştirilmiş olup, anlık makinelerin çalışma süreleri, duruş süreleri elde edilmektedir. Operatörlerin girmiş olduğu veriler ise PLC kartlardan alınan veriler ile karşılaştırılmakta ve kullanıcıya bağlı kalmadan süreç kontrol altına alınmıştır. Operatörler kontrol edildiğini bildiği için yüksek performans ile işlerini yerine getirir hale gelmişlerdir. İmalat atölyesinde 12 adet CNC tezgâh kullanılmaktadır. PLC kartlardan elde edilen veriler ile operatörlerin ERP programına iş emrine bağlı olarak girdiği veriler karşılaştırılır, verilerin doğruluğu kabul edildikten sonra ilgili birimde Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi uygulanmıştır. Uygulama öncesi ve sonrası toplam üretim maliyeti karşılaştırılmıştır.

3.1. İşletme ile İlgili Genel Bilgiler (General Information about the Factory)

İşletmenin ürün gamı; pişiriciler, açık büfe, soğutma, dondurma makinesi, bulaşık makinesi, soğuk oda, mobilya, çamaşırhane, nötr ürünler (çalışma tezgâhı, yıkama tezgâhı, premix tezgahlar, davlumbaz, servis rafı, duvar rafı, tepsi taşıma arabaları, yer ızgarası, malzeme dolabı, sıcaklık dolabı vs.) oluşmaktadır. Bir otelin mutfağında olması gereken tüm ürünler firma bünyesinde üretilebilmektedir.

3.2. HTEA Yöntemi (FMEA Method)

HTEA, bir ürün ya da süreçte bilinen veya meydana gelebilecek hataların, önceki deneyimler ya da teknolojiler kullanılarak belirlenmesi ve bu hataların önlenmesi için yapılan bir planlamadan oluşan analitik bir tekniktir (Besterfield vd., 1999; Söylemez, 2006). HTEA bir sistemde tecrübeler göz önünde bulundurularak, mevcut ya da meydana gelebilecek hataları tanımlayan, sisteme olan etkisini değerlendiren ve bu hataların oluşmasını azaltan veya önleyen aksiyonları tanımlayan, aksiyonların uygulanması ile hataların oluşma ihtimallerini yeniden değerlendiren ve sistemi dokümanete eden bir analiz yöntemidir (Gönen, 2004).

HTEA uygulamalarında kullanılan temel kavramlar aşağıda verilmiştir (Stamatis,2003; Çeber, 2010):

Fonksiyon; ürün veya sürecin amacının ne olduğu üzerinde durularak ürün veya süreçten karşılaması beklenen hedeflerdir.

Müşteri; Nihai/Ara ürün ya da hizmetten etkilenen son kullanıcıdır. Müşteri herhangi bir kişi, departman veya işletme olabilmektedir.

Hata; bir fonksiyonun planlanan şekilde tamamlanmamış olmasındaki başarısızlıktır.

Hata Türü; bir sistemin karmaşıklığına bağlı olarak bir fonksiyonun istenilen şekilde yüzde yüz başarı ile yerine getirilememesi ya da gerektiği gibi veya hiçbir şekilde yerine getirilememesidir.

Hata Etkisi; sistemde fonksiyonun karşılaması beklenen hedefleri karşılayamadığı takdirde müşterinin yaşadığı maddi ya da manevi negatif geri dönüştür.

Hata Nedeni; sistem içerisindeki bir fonksiyonun beklentileri karşılamaına engel olan her türlü faktördür.

Mevcut Kontroller; sistemin var olan işleyişini devam ettirebilmek, olası başarısızlık nedeni ile ilişkili riski azaltmak veya ortadan kaldırmak için uygulanan eylemlerdir. Mevcut kontroller sayesinde hatanın müşteriye ulaşması önlenmektedir.

HTEA Elemanı; HTEA kapsamında ele alınan sistemi ifade etmektedir. Hata türü, hata etkisi, hataların ortaya çıkma olasılıkları örnek olarak verilmektedir.

Şiddet (S); sistemde meydana gelen hatanın müşteri üzerindeki etkisinin derecesidir.

Ortaya Çıkma (O); hatanın meydana gelme olasılığına ilişkin derece değeridir, diğer bir ifade ile hata nedeninin hata türüne yol açması ihtimaline karşılık gelen derece değeridir.

Belirlenebilirlik (S); sistemde gerçekleştirilen mevcut kontroller aracılığı ile olası bir hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi derecesidir.

Risk Öncelik Sayısı (RÖS); Şiddet (S), Ortaya Çıkma (O) ve Belirlenebilirlik (B) derece değerlerinin çarpımı ile elde edilmektedir. RÖS ile sistemdeki hatalar risk önceliklerine göre sıralanmakta ve bu öncelik doğrultusunda düzeltici önleyici faaliyetler uygulanmaktadır.

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Şiddet (S)} \times \text{Ortaya Çıkma (O)} \times \text{Belirlenebilirlik (B)} \quad (1)$$

Kritiklik: Hatanın ortaya çıkma ve müşteriye ulaşmadan bu hatanın saptanabilmesi ihtimallerinin çarpımıdır. Ek kalite planlaması gerektiren hataların önceliklerini belirlemede kullanılır.

Kritik Karakteristikler: Yasal düzenleme veya ürün/hizmet emniyetini etkileyebilen karakteristiklerdir. Genel olarak, kritik karakteristikler şu faktörler tarafından belirlenir (Stamatis, 1995; Ceber, 2010): Mahkemeler, Düzenleyici kurumlar, Endüstriyel standartlar, Müşteri talepleri, Dâhili mühendislik ihtiyaçları.

3.2.1. Talaşlı İmalat Süreçlerinde Hata Türleri (Failure Modes in Machining Processes)

Talaşlı imalat, imal edilecek parçalara şekil verme, geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal edilme işlemlerini kapsar. Kesici takımın belirli bir dönme hızı ve ilerleme hızıyla iş parçasından talaş kaldırma işlemine talaşlı imalat denir. Talaş kaldırma, iş parçasının mekanik etkileri (şekil değişimi, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın büzülmesi, kırılması, deformasyonu, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi ve kesici takımın aşınması) sonucunda, takımlar ile işlenen karmaşık bir süreçtir. Talaşlı imalat sürecinde genellikle mekanik enerji kullanılır. Bazı yeni imalat tekniklerinde (dalma erozyon, lazer kesici, su jeti vb.) kimyasal, elektrik, su enerjisi de kullanılmaktadır (Güngör 2004). Talaşlı imalat yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan kesici takımlar çok çeşitlilik gösterirler. Talaşlı imalat yöntemlerinden bazıları; Vargel, Planyalama, Tornalama, Delme, Frezeleme, Tığ/Broşlama, Raybalama, Taşlama, Testere ile kesme ve Tesviye işlemi, Borlamadır (Çiğdem, 2006). Planlamada talaşlı şekillendirme yönteminin seçimi yapıldıktan sonra, takım ve iş parçası için uygun kesme hızları ve ilerleme miktarları belirlenmelidir. Bu parametrelerin hatalı seçilmesi, kullanılması, ayarlanması gibi durumlarda takım kırılması, çalışanın yaralanması, makinenin arızalanması, ürünün hatalı işlenmesi, parçanın bozulması, yeniden işleme, teslimatta gecikme gibi riskleri taşır (Taşkın vd., 2003).

Müşteri siparişlerine ait ürünlerin üretimine başlanabilmesi için, iş emirlerine, iş emirlerinin takibini yapabilmek için de operatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat, operatörler işe başlama zamanlarını ve işin bitiş zamanlarını doğru şekilde sisteme girişini kaydetmez ise gerekli bilgilerin hiçbirine ulaşılması mümkün değildir. Bu nedenle üretim birimlerinde yer alan CNC tezgahlara yerleştirilen PLC kartlar sayesinde makine çalışma verileri operatörlere bağlı kalmadan elde edilebilmektedir. Bu durumda hem operatörlerin çalışmaları kontrol edilebilmekte, hem de makinelerin siparişe başlamalarına ve çalışma zamanlarına doğru olarak ulaşılabilir.

3.2.2. HTEA Amaçları (Aim of Failure Mode and Effects Analysis)

HTEA tekniğinin amaçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Gül, 2001; Huang, 2000):

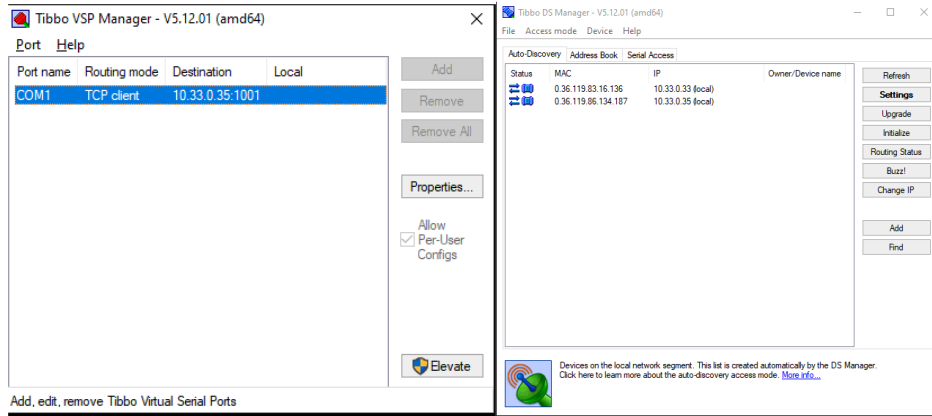
- Ürün veya süreçte oluşabilecek hata türlerini, etkilerini ve kritiklik derecelerini kararlaştırmak,
- Ürün veya süreçte oluşabilecek potansiyel hataları önceden belirleyerek bu hataların oluşmasını engellemek,

- Nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj süreçleriyle bağlantılı olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmek,
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri almak veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak ve böylece ürünün geliştirilmesini sağlamak,
- Montaj veya imalat süreci için sistemin dayandığı neden ve ilkeleri yazılı hale getirmek.

3.3. Talahlı İmalat Makinaları ve Sistemin Bütünleştirilmesi (Machining and System Integration)

Birimde bulunan her bir makineye PLC kartlar yerleştirilmiş olup, Tibbo Ethernet çevirici yardımı ile makinelerin çalışma süreleri anlık kaydedilebilir ve ulaşılabilir hale getirilmiştir. Tibbo Ethernet çeviricinin devreye alınması için firmanın IT ekibinden firma içerisinde kullanılmayan IP numaraları bilgisi alınmış ve iletişim kurulan arayüzler aşağıda yer almaktadır (Şekil 1). VSP Manager arayüzü ile IP tanımlaması yapılır, DS Manager arayüzü ise VSP Manager verilen IP bilgisi ile makine eşleştirilir. Makineler ile haberleşmeler sağlandıktan sonra belirlenen verilerin makinelerden alınması için WinProLadder PLC programında gerekli diyagramlar oluşturulmuştur.

WinProLadder, PLC programında yazılan diyagramdan gelen verilerin anlaşılır hale getirilmekte ve birimde yer alan makinelerin isimleri ile eşleştirilmiştir. Bunun için C# programında haberleşme protokolleri için gerekli kodlar yazılmıştır (Şekil 2). Haberleşme protokolleri sonucunda anlaşılır hale gelen veriler ERP programına aktarılmıştır. Verilere herkesin kolay ulaşabilmesi amacıyla C# programında (xx.exe) dosyası tutulması yerine ERP programına aktarım sağlanmıştır. BIT değerleri kısmı port kısımlarının bağlantı databitleri olarak tanımlamak mümkündür. Bu databitler üzerinden haberleşme sağlanmaktadır. Okunan veriler hangi makinelerden gelmektedir bunu ayırt etmek için REGISTERLAR tanımlanması gerekmektedir. Bu bilgiler PLC diyagramdan gelmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Tibbo VSP Manager ve DS Manager (Tibbo VSP and DS Manager)

```

/*BIT DEĞERLERİ*/
<add key="PORTU" value="COM1"/>
<add key="DATABIT" value="7"/>
<add key="STOPBIT" value="1"/>
<add key="HIZI" value="9600"/>
<add key="PARITY" value="Even"/>
<add key="ISTASYON" value="01"/>

if (veri_oku.Enabled == true)
{
    if (!ComPort.IsOpen)
    {
        ComPort.PortName = Convert.ToString(ConfigurationManager.AppSettings["PORTU"].ToString());
        ComPort.BaudRate = Convert.ToInt32(ConfigurationManager.AppSettings["HIZI"].ToString());
        ComPort.DataBits = Convert.ToInt16(ConfigurationManager.AppSettings["DATABIT"].ToString());
        ComPort.StopBits = (StopBits)Enum.Parse(typeof(StopBits), ConfigurationManager.AppSettings["STOPBIT"].ToString());
        ComPort.Parity = (Parity)Enum.Parse(typeof(Parity), ConfigurationManager.AppSettings["PARITY"].ToString());
        ComPort.ReadTimeout = 500;
        ComPort.WriteTimeout = 500;
        try
        {
            if (Register.portAc)
            {
                ComPort.Open();
                Register.ComPort = ComPort;
            }
        }
        catch (UnauthorizedAccessException ex)
        {
            MessageBox.Show(ex.Message);
        }
    }
}

```

Şekil 2. PLC Port Açma Kodları (PLC Port Opening Codes)

4. Uygulama Bulguları ve Sonuçları (Implementation Findings and Results)

4.1. Mevcut Sürecin RÖS Değerlerinin Hesaplanması (Calculation of RPN Values of the Current Process)

Uygulama kapsamında üretimi doğrudan etkileyen; Hammaddenin depoya kabul süreci, hammaddenin üretime verilmesi süreci, makineler, üretim süreci, birim dışından tedarik edilen süreçler dikkate alınmış ve tüm süreçler, işlemler detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Tedarikçi firmalara yaptırılan fason imalat işlemlerden kaynaklı hatalar ile de çok karşılaşıldığı için bu süreçler detaylı incelenmiştir. Üretimde yaşanan problemleri sadece işlemsel ve makine arızaları kapsamında değerlendirmek hataya sebebiyet vermektedir. Bu nedenle hammadde kabul süreci ve hammaddenin üretime verilmesi süreci de HTEA kapsamında incelenmiştir. Süreçlerde meydana gelen hatalar süreç bazında sınıflandırılmış olup Tablo 1’de verilmiştir.

Belirlenen temel hata nedenleri süreç bazında sınıflandırılırken ve şiddet, ortaya çıkma, belirlenebilirlik değerleri belirlenirken uzman grubunun tecrübelerinden faydalanılmıştır. Uzman grup altı kişiden oluşan konusunda en az 10 yıl deneyimli kişilerden oluşmaktadır. Uzman grupla temel hata nedenlerinin şiddet, ortaya çıkma ve belirlenebilirlik değerleri belirlenirken beyin fırtınası tekniğinden faydalanılarak mutabakata varılan değerler kullanılmıştır. Şiddet, Ortaya Çıkma, Belirlenebilirlik değerleri derecelendirme skalaları Tablo 1’de verilmiştir (Stamatis, 1995). RÖS değerleri aşağıdaki tablo dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Şiddet, Ortaya Çıkma, Belirlenebilirlik Değerleri Derecelendirme Skalası (Severity, Probability, Detectability Values Rating Scale)

Şiddet (S)	Derece	Belirlenebilirlik (B)	Derece	Ortaya Çıkma (O)	Derece
Yok	1	Neredeyse İmkânsız	10	Neredeyse Hiç	1
Çok Önemsiz	2	Çok Zor	9	Çok Zor	2
Önemsiz	3	Zor	8	Zor	3
Çok Düşük	4	Çok Az	7	Çok Az	4
Düşük	5	Az	6	Az	5
Orta	6	Orta	5	Orta	6
Yüksek	7	Ortanın Üstü	4	Ortanın Üstü	7
Çok Yüksek	8	Yüksek	3	Yüksek	8
Uyarılı Tehlikeli Etki	9	Çok Yüksek	2	Çok Yüksek	9
Uyarısız Tehlikeli Etki	10	Neredeyse Kesin	1	Neredeyse Kesin	10

Tablo 2. Talaşlı İmalat Biriminde Olası Hata Türleri ve Temel Nedenleri (Possible Types of Faults and Their Main Causes in The Machining Unit)

Süreç	Hata Türü	Hatanın Temel Nedeni	Şiddet	Ortaya Çıkma	Belirlenebilirlik	RÖS	
Hammadde Kabul Süreci	Kalite	Tedarikçi firmadan kusurlu ürün gelmesi	5	2	6	60	
		Tedarikçi firmaya yanlış malzeme siparişinin verilmesi	4	1	3	12	
		Hammadde giriş kalite kontrol sorumlusunun görevini yerine getirmemesi	3	1	3	9	
	Depoya Yerleşim	Hammaddenin karışması	9	2	6	108	
		Gelen malzemenin depodaki rafa yerleştirilmesi esnasında hasar görmesi	5	2	8	80	
		Depo sorumlusu tarafından hammadde barkod etiketleme işleminin yanlış yapılması	8	1	9	72	
Hammaddenin Üretime Verilmesi Süreci	Üretim	Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi	9	2	6	108	
		Üretim hattına eksik miktarda hammaddenin verilmesi	4	1	7	28	
		Üretim hattına fazla miktarda hammaddenin verilmesi	2	1	7	14	
Makineler	Yatay torna makineleri hattının arızalanması	Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	7	1	4	28	
		Smartkey cihaz arızası	7	1	4	28	
		Hidrolik yağ pompasındaki sızıntıdan kaynaklı makine arızası	7	3	4	84	
		Motor(servo) arızası	8	3	4	96	
	Dikey torna makineleri hattının arızalanması	Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	9	2	4	72	
		Kızak yağlarının azalmasına bağlı arıza	7	3	4	84	
		C eksen arızası	2	4	2	16	
	5 eksenli freze makineleri hattının arızalanması	Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	9	2	4	72	
		Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Pres yağının düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	7	1	4	28	
		Makine prob okuma hatası	2	2	4	16	
		Filtrelerin tıkanmasından kaynaklı arıza	8	2	4	64	
	3 eksenli freze makineleri hattının arızalanması	Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Kızak yağlarının azalmasına bağlı arıza	7	3	4	84	
Üretim Süreci	Yanlış CNC programı	CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi	5	5	8	200	
	Üretim	İlk parça deneme hatası	2	5	3	30	
		Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi	10	7	5	350	
		Eski revizyonlu programın üretime verilmesi	8	4	4	128	
		O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim	10	7	4	280	
		Mikser mili burcunun alt diş kalınlığının tolerans değerleri dışında olması	10	8	4	320	
		Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması	9	7	4	252	
		Silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama	10	8	5	400	
		Promix karşı yük ürününde ağırlık eksikliği	10	7	5	350	
	Kalite	Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması	8	5	4	160	
		Delik çapı konumunun hatalı olması	9	7	4	252	
		Delik çapının tolerans dışında olması	6	5	5	150	
		Üretilen parçada çapak olması	3	2	4	24	
		Silindir boyunun tolerans dışında olması	9	7	4	252	
		Silindir yüzey temizliğinin uygun olmaması	5	2	8	80	
		Dondurma makinesi ön sacında büküm hatası	5	2	6	60	
	Birim Dışında Yapılan Prosesler	Boyama	Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması	10	3	5	150
			Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	9	3	6	162
		Markalama	Dondurma makinesinin satışı gerçekleşen firma adı markalamasının yanlış yapılması	10	2	4	80
Markalama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması			8	1	8	64	

HTEA uygulaması sonucu belirlenen hata türleri risk öncelik sayı değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış hali Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. HTEA Uygulaması Sonucu RÖS Değerlerinin Büyükten Küçüğe Sıralanışı
(Ranking of RPN Values From Largest to Smallest as a Result of FMEA Application)

Hata Türleri	RÖS
Silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama	400
Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi	350
Promix karşı yük ürününde ağırlık eksikliği	350
Mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması	320
O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim	280
Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması	252
Delik çapı konumunun hatalı olması	252
Silindir boyunun tolerans dışında olması	252
CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi	200
Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	162
Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması	160
Delik çapının tolerans dışında olması	150
Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması	150
Eski revizyonlu programın üretime verilmesi	128
Hammaddenin karışması	108
Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi	108
Motor(serv) arızası	96
C eksen arızası	84
Kızak yağlarının azalmasına bağlı arıza	84
Gelen malzemenin depodaki rafa yerleştirilmesi esnasında hasar görmesi	80
Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	80
Silindir yüzey temizliğinin uygun olmaması	80
Dondurma makinesinin satışı gerçekleşen firma adı markalamasının yanlış yapılması	80
Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	80
Silindir yüzey temizliğinin uygun olmaması	80
Dondurma makinesinin satışı gerçekleşen firma adı markalamasının yanlış yapılması	80
Depo sorumlusu tarafından hammadde barkod etiketleme işleminin yanlış yapılması	72
Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	72
Hidrolik yağ pompasında sızıntıdan kaynaklı makine arızası	64
Filtrelerin tıkanmasından kaynaklı arıza	64
Markalama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	64
Tedarikçi firmadan kusurlu ürün gelmesi	60
Dondurma makinesi ön sacında büküm hatası	60
İlk parça deneme hatası	30
Üretim hattına eksik miktarda hammaddenin verilmesi	28
Yağlama hatası	28
Smartkey cihaz arızası	28
Pres yağının düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	28
Üretilen parçada çapak olması	24
C eksen arızası	16
Makine prob okuma hatası	16
Üretim hattına fazla miktarda hammaddenin verilmesi	14
Tedarikçi firmaya yanlış malzeme siparişinin verilmesi	12
Hammadde giriş kalite kontrol sorumlusunun görevini yerine getirmemesi	9

Bu çalışma kapsamında, mevcut durumun değerlendirilmesi sonucunda RÖS değerlerine bakıldığında en önemli

olası hata türlerinin (RÖS ≥ 100) aşağıda yer alan hata türleri görülmektedir.

- Silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama
- Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi
- Promix karşı yük ürünüde ağırlık eksikliği
- Mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması
- O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim
- Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması
- Delik çapı konumunun hatalı olması
- Silindir boyunun tolerans dışında olması
- CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi
- Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması
- Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması
- Delik çapının tolerans dışında olması
- Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması
- Eski revizyonlu programın üretime verilmesi
- Hammaddenin karışması
- Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi

Risk önceliği olan temel hataların daha çok insan kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu hata çözümü için yüksek maliyet ve teknolojik yatırım gerektirmemektedir. Belirlenen yüksek riskli hata türleri ile ilgili iyileştirme çalışmaları başlatılarak maliyete etkisi hemen görülmüştür. 16 maddeye uygulanan düzeltici & önleyici faaliyetler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Düzeltici & Önleyici Faaliyetler (Corrective and Preventive Actions)

Hatanın Temel Nedeni	Düzeltilici & Önleyici Faaliyet
Silindirde freze kesim hatası nedeniyle malzemenin alın kaynağında çatlama	Personele mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi	Tedarikçi performans değerlendirme sürecinin devreye alınması, değerlendirme sonucu yüksek puan alan tedarikçiden malzeme temin edilmesi
Promix karşı yük ürünüde ağırlık eksikliği	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
Mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması	Personele farkındalık eğitiminin verilmesi
O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim	Operatörün işlem sırasında yapması gereken plan doğrultusunda işlem yapmasını sağlamak
Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması	Personele mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
Delik çapı konumunun hatalı olması	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
Silindir boyunun tolerans dışında olması	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi	Operatöre mesleki eğitim verilmeli, üretim gerçekleşmeden üretim şefi tarafından teknik resimin onaylanması
Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	Personele mesleki yeterlilik ve farkındalık eğitiminin verilmesi
Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması	Personele farkındalık eğitiminin verilmesi
Delik çapının tolerans dışında olması	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması	Personele mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
Eski revizyonlu programın üretime verilmesi	CNC ofis biriminin çalışanlarına farkındalık eğitimi verilmesi, revizyon çalışmalarının anlık yapılması
Hammaddenin karışması	Etiketli hammaddenin kabul edilmesi
Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi	Personel eğitimlerinin artırılması, sık periyotlarda eğitimin verilmesi

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, HTEA tekniğinin uygulanması sonucunda kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlayıp üretmesini, aynı zamanda işlem maliyetlerini de kontrol altına alarak hatalı ürünlerin müşteriye ulaşmadan önce

önlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, HTEA tekniği ERP programı ile kolayca entegre edilerek analiz aşamasında doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmiştir. HTEA tekniği uygulanması belirlenen riskli yerlerle ilgili yapılan iyileştirmelerle üretim maliyetlerinin düştüğü görülmüştür. Maliyet karşılaştırılmasında üretim miktarı sabit kabul edilmiştir. Ocak ayında 3971 adet parça üretimi yapılmıştır. Ocak ayında hatalı üretilen ürün adedi 129 iken şubat ayında hatalı üretilen ürün adedi 49, mart ayında ise hatalı üretilen ürün adedi 39 'dur. Hatalı ürün adet sayısında şubat ayında ocak ayına göre %62 oranında, mart ayında ise %70 oranında azalmıştır.

PLC kartlardan ve operatörlerden ayrı ayrı veri akışı elde edilmiş olup, veriler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mevcut sürecin RÖS değerleri hesaplanmış, değerler büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve iyileştirme 16 maddenin öncelikli olarak ele alınması gerektiğine sonucuna varılmıştır. RÖS değeri 100'den yüksek olan silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama, fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi, promix karşı yük ürününde ağırlığının düşük olması, mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması, O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim, üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması, delik çapı konumunun hatalı olması, silindir boyunun tolerans dışında olması, CNC tezgaha yanlış CNC programının verilmesi, boyama işleminin teknik dokümanlara uygun yapılmaması, Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması, delik çapının tolerans dışında olması, dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması, eski revizyonlu programın üretime verilmesi, hammaddenin karıştırılması, üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi hataları için düzeltici ve önleyici faaliyetler uygulanmıştır. İyileştirme öncelikli 16 maddenin üretim maliyetine etkisi de analiz edilmiştir ve üretim maliyetlerinde toplamda %6 düşüş sağladığı maliyet ile ilgili kayıtlarında gözlemlenmiştir. Tablo 5' de ocak, şubat ve mart aylarının toplam üretim maliyetleri verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere hammadde maliyetleri sabittir. HTEA tekniğinin uygulanması sonucunda hatalı ürün üretiminin azalmasına paralel olarak işçilik maliyetlerinde düşüş sağlanmıştır. Hatalı ürün üretiminden kaynaklı, üretilen ürünlerin tekrar üretilmesi sonucunda katlanılmak zorunda olan kesici uç takım maliyetleri oldukça fazlaydı. Hatalı ürün üretimi azaldıkça kesici uç takım maliyetlerinde de oransal düşüş sağlanmıştır.

Tablo 5. 2021 Yılı Ocak – Şubat - Mart Ayları Maliyet Karşılaştırması (Cost Comparison For January – February - March 2021)

	2021 Yılı Ocak Ayı	2021 Yılı Şubat Ayı	2021 Yılı Mart Ayı
Hammadde Maliyeti	₺146.297,22	₺146.297,22	₺146.297,22
İşçilik Maliyeti	₺58.518,89	₺49.741,05	₺49.155,87
Kesici Uç Takım Maliyeti	₺21.944,58	₺17.555,67	₺17.336,22
Toplam Maliyet	₺226.760,69	₺213.593,94	₺212.789,31

İşletmede kalitenin daha da iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla, işletmede kalite sorunlarını belirlemek üzere kurulan HTEA Analizi yöntemine yeni bir otomatik kalite sistemi eklenerek ürün üzerinde oluşan kusur ve hata sorunu anında tespit edilebilen bir çalışma ile konu daha da geliştirilebilir. Sorunların kaynağı tespit edilerek hatalı ürün sayılarının anında önlenmesi mümkün hale getirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda, araştırmacılar, a) İş görenlerin farklı istihdam biçimleri ile ilgili beceri dağılımı hakkındaki gerçek verileri analiz ve b) İşletmedeki karmaşık iş süreçleri ve kalite sorunu oluşan istasyonlarda çalışan iş görenlerin becerileri konusunda uyarıcı ve onları doğrudan birbirine bağlayan entegre bir sistem tasarlamak için süreçleri veri kaynaklarıyla bütünleştirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G., Besterfield, M., 1999. Total Quality Management. D.H. Besterfield (Edt.), America: Prentice Hall.
- Çeber, Y., 2010. Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.
- Çevik, O., & Aran, G., 2009. Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Piston Üretiminde Bir Uygulama. Sakarya Üniversitesi İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 8 (16), 241–265.
- Çiğdem, M., 2006. İmal Usulleri. 2nd edn. Türkiye: Çağlayan Kitabevi.
- Dağcı, B., 2019. Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü ve Etkilerinin Analizi ve Hataların Veri Madenciliği İle Araştırılması: Talaşlı İmalat Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Türkiye.

- Filz, M. A., Langner, J. E. B., Hermann, C., & Thiede, S., 2021. Data-driven Failure mode and Effect analysis (FMEA) to Enhance Maintenance Planning. *Computers in Industry*, 129, 103451.
- Ghani, A. J., Harron, C. H. C., Hamdan, S. H., Said, A. Y., Tomadi, A. Y., 2013. Failure mode analysis of carbide cutting tools used for machining titanium alloy. *Ceramics international*, 39(4), 4449-4456.
- Gül, B., 2001. Kalite Yönetiminde Hata Türü ve Etkileri Analizi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Gönen, D., 2004. Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye.
- Güngör, F., Paçal, K., 2004. Talahlı İmalat Sisteminin Planlamasında, Risk Analizinin Etkisi. IV. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu.
- Güngör, F., Paçal, K., 2006. Risk Analizinin İşleme Planlamasına Etkisi . UAS 2006, IV. Ulusal Üretim Araştırmaları.
- Huang, G. Q., 2000. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) over the www. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 113508.
- Hung, S. W., Chen, T. K., 2019. Disclosing AlN Ceramic Substrate Process Failure Mode and Effect Analysis. *Microelectronics Reliability*, 103, 113508.
- Li, H., Diaz, H., Soares, C. G., 2021. A Failure Analysis of Floating Offshore Wind Turbines Using AHP-FMEA Methodology. *Ocean Engineering*, 234, 109261.
- Lo, H. W., Liou, J. J. H., Haung, C. N., Chaung, Y. C., 2019. A Novel Failure Mode and Effect Analysis Model for Machine Tool Risk Analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 183, 173-183.
- Mariajayaprakash, A., & Senthilvelan T., 2013. Failure Detection and Optimization of Sugar Mill Boiler using FMEA and Taguchi Method. *Engineering Failure Analysis*, 30, 17-26.
- Mirzaoğlu, İ., Saritas, M., 2008. PLC VE SCADA Kullanarak Bir İrmik Üretim Sisteminin Otomasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Mzougui, I., Felsoufi, Z. E., 2019. Proposition of a Modified FMEA to Improve Reliability of Product. 29th CIRP Design in Portugal, (pp. 1003-1009).
- Sánchez, M., Paz Moral, M., Ramoscelli, G., 2020. Activity-based Costing in Smart and Connected Products Production Enterprises. *Growing Science*, 6, 33-50.
- Söylemez, C., 2006. Failure Mode and Effects Analysis Occupational Safety Application. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Stamatis, D. H., 1995. Failure Mode and Effects Analysis – FMEA from Theory to Execution. 2nd edn. Asq Pr America: Quality Press Publishing.
- Stamatis, D.H., 2003. Failure Mode and Effect Analysis – FMEA from Theory to Execution. Second edn. ASQ America: Quality Pres Publishing.
- Üngan, M. C., 2017. Failure Mode Effects Analysis and an Application in Automotive Parts Production. *Journal of Business Science (JOBS)*, 5(2), 217-245.
- Yee T. M., Ahmed, S., Quader, M. A., 2014. Process Behaviour and Capability Analysis for Improvement of Product Quality in Car-door Glass Manufacturing. 5th Brunei International Conference on Engineering and Technology in Brunei, (BICET) (pp. 1-6).



GÖRÜNTÜ STEGANOĞRAFİSİNDE YAYGIN KULLANILAN VERİ GİZLEME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Murat UZUN¹, Serdar SOLAK^{2*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı, Rektörlük, Kocaeli, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Bilgi Güvenliği,
Görüntü Steganografisi,
GEMD,
PVD,
Veri Gizleme.

Öz

Sayısal veri iletiminde, veri güvenliğinin sağlanması için kullanılan yöntemlerden biri Steganografidir. Steganografinin amacı, verileri güvenli olmayan iletim kanalı üzerinden güvenli bir şekilde alıcıya iletmektir. Sayısal steganografinin bir alt dalı olan görüntü Steganografisi, özellikle veri gizleme kapasitesinin yüksekliği sebebiyle daha yaygın kullanılmaktadır. Makalede, uzaysal etki alanında yaygın kullanılan görüntü steganografisi tekniklerinden En Düşük Anlamli Bit, Piksel Değeri Farkı, Değişim Yönünü Kullanma ve Genelleştirilmiş Değişim Yönünü Kullanma algoritmaları incelenmiştir. Bu yöntemler, bilgi taşıma kapasitesi, Tepe Sinyal Gürültü Oranı, Yapısal Benzerlik Endeksi gibi görüntü kalitesini ölçmek için kullanılan parametrelerin yanı sıra, histogram ve RS analizi ataklarına karşı dayanıklılık testleri incelenmiştir. Makale kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalara göre, kullanılan bu yöntemlerin birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri ortaya konularak, kullanım amacına göre uygun yöntem seçimiyle ilgili tavsiyelerde bulunmaktadır. Özellikle yüksek kapasite gerektiren ve algılanamazlığın önemsenmediği durumlarda LSB-3 bit yöntemi, güvenliğin ve algılanamazlığın ön plana çıktığı daha düşük kapasitede veri gizleme işlemlerinde PVD, EMD ve GEMD yöntemlerinin kullanılması uygundur.

ANALYSIS OF COMMONLY USED IMAGE STEGANOGRAPHY DATA HIDING TECHNIQUES IN SPATIAL DOMAIN

Keywords

Information Security,
Image Steganography,
GEMD,
PVD,
Data Hiding.

Abstract

Steganography is one of the methods used to ensure data security in digital data transmission. The aim of the steganography technique is to transmit data securely over the unsecured transmission channel. The extensive use of social media and its ease of application make image steganography, a branch of digital steganography, popular. In this article, the examination of Least Significance Bit, Pixel Value Difference, Using the Change Direction and Using Generalized Change Direction techniques commonly used in image steganography and application methods with examples are explained. The results were interpreted by calculating the Load Capacity, Peak Signal-to-Noise Ratio, and Structural Similarity Indexes of these methods. The aim of our study is to determine the superior and weak aspects of these methods compared to each other according to the data obtained, and to make recommendations regarding the selection of the method suitable for the purpose. In particular, LSB-3 bit method is a high-capacity but insecure method, while PVD, EMD and GEMD data hiding techniques are low-capacity but security and undetectable methods by third parties.

Ahntı / Cite

Uzun, M., Solak, S., (2022). Görüntü Steganografisinde Yaygın Kullanılan Veri Gizleme Tekniklerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 816-830.

* İlgili yazar / Corresponding author: serdars@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-2269

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Uzun, 0000-0002-5255-8247	Başvuru Tarihi / Submission Date	01.07.2021
S. Solak, 0000-0003-1081-1598	Revizyon Tarihi / Revision Date	25.03.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	20.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

İnternet aracılığıyla günlük olarak gönderilen epostalar, sosyal medyada yapılan paylaşımlar ve yorumlar, atılan mesajlar, görüntülenen fotoğraf ve videoların sayısını tahmin etmek neredeyse imkansızdır. Günaşırı ortaya çıkan yeni uygulamalarla da bu sayı üstel olarak artmaktadır. Böylesine devasa bir veri trafiğinde, veri güvenliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Veri güvenliği özetle, verilerin yetkisiz erişime karşı korunması olarak tanımlanabilir. Veri güvenliğinde en önemli nokta, kişisel veya kurumsal verileri korurken verilerin gizliliğini sağlamak ve bütünlüğünü doğrulamaktır.

Veri güvenliğinin sağlanması, verinin şifrelenmesi veya verinin gizlenmesi yoluyla yapılabilir. Verinin şifrelenmesi, Kriptografi (Thambiraja vd., 2012) olarak adlandırılır. Güvenli bir yöntem olmakla birlikte, şifrelenmiş veri dikkatleri üzerine çekebilmektedir. Ancak, açık bir ağ üzerinden dikkat çekmeyecek, adeta görünmez bir şekilde gizli verinin gönderilmesi gerekebilir. Burada, veri gizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Veri gizleme, Steganografi (Kadhim vd., 2019) ve Filigran (Petitokolas vd., 1999, Wan vd., 2022) olmak üzere ikiye ayrılır. İkisi de mesajı gizlemek için kullanılır ancak amaçları farklıdır. Genel olarak steganografi, verinin gizli ve tespit edilemez şekilde iletilmesini hedeflerken filigranlama, içeriklerin fikri mülkiyetini korumayı hedeflemektedir (Wan vd., 2022).

Steganografi, görüntü, metin, ses, video vb. dijital ortamlara veri gizleme tekniklerini içeren bilimdir (Hussain vd., 2018). Gizlenmek istenen veri, masum görünümlü bir ortamda saklanır. Steganografi teknikleri, yapısal olarak Tersine Çevrilemez (Irreversible) ve Tersine Çevrilebilir (Reversible) teknikler olmak üzere ikiye ayrılır (Lu ve Vo., 2020; Puteaux vd., 2021). Tersine çevrilemez tekniklerde, orijinal görüntüye gizli veri gömüldükten sonra oluşan stego görüntüden gizli veri çıkartıldığında, orijinal görüntü elde edilemez. Tersine çevrilebilir tekniklerde ise veri çıkarma işleminden sonra görüntünün orijinali tekrar elde edilir. Orijinal görüntünün gizli mesaj kadar önemli olduğu tıbbi alanlar, iletim sırasında orijinal görüntüdeki herhangi bir belirsizliğin iletilen istihbaratı ve genel sonuçları etkileyebileceği askeri vb. alanlarda tersine çevrilebilir teknikler tercih edilmektedir. Steganografik teknikler, uygulandığı etki alanına göre Uzaysal (Spatial) ve Frekans (Frequency) domain olmak üzere ikiye ayrılır. Makale kapsamında uzaysal domainde yaygın olarak kullanılan veri gizleme teknikleri, güçlü ve zayıf yanları, birbirleriyle kıyaslamaları sunulmaktadır.

En düşük anlamlı bit (Least Significant Bit - LSB) (Chan ve Cheng, 2004; Solak ve Altınışık, 2019; Solak ve Altınışık, 2021), en yaygın kullanılan ilk uzaysal domain steganografi tekniğidir. LSB steganografisi, bir örtü görüntüsünde, göze çarpan görsel bozulmalar olmaksızın büyük gizli bilgileri gizleyebilen temel ve geleneksel yöntemlerden biridir (Li vd., 2011). Temel olarak, örtü görüntüsündeki rastgele veya seçilen piksellerin en düşük anlamlı bitlerini gizli mesaj bitleriyle değiştirerek çalışmaktadır. Zamanla, steganografik yöntemlerde, LSB'nin piksel veya bit düzlemlerinin farklı varyasyonları kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, veri gömme için kenarlara, dokuya, yoğunluk seviyesine ve örtü görüntülerinin parlaklığına dayalı uyarlanabilir LSB yöntemidir (Yang vd., 2009; Solak ve Altınışık, 2019; Konyar ve Solak, 2021, Sahu vd., 2021). Benzer şekilde, kedi sürüsü stratejisi kullanılarak optimize edilmiş LSB ikamesi (Wang vd., 2012), interpolasyon görüntüsü ile LSB ikamesi (Jung vd., 2015) ve LSB ikamesi kullanan tersine çevrilebilir şifreli tıbbi görüntü (Liu vd., 2016; Konyar ve Öztürk, 2020; Shivani, 2022), histogram saldırılarına karşı görsel kaliteyi ve güvenliği iyileştirmek için (Sarreshtedari vd., 2014) 1 bpp gömme kapasitesiyle ± 1 LSB tabanlı yaklaşımı, (Amirtharajan vd., 2012) çalışmasında, rastgele k-bit gömme yaklaşımının kullanıldığı uyarlanabilir bir LSB yöntemi, (Muhammad vd., 2016) tarafından farklı şifreleme seviyelerine sahip stego anahtar yönlendirmeli uyarlamalı LSB ikamesine dayanan güvenli bir gömme yöntemi, cyclic18 LSB ikamesi kullanan üç seviyeli şifreli bir algoritma (TLEA) (Muhammad vd., 2016), (Nguyen vd., 2015) tarafından geliştirilen uyarlanabilir LSB tabanlı çok sayıda yöntemin literatürde önerildiği görülmektedir. Benzer şekilde, (Xu vd., 2016)'da mod üç stratejisini kullanarak LSB şemasını iyileştirerek yükü artırmak için başka bir çalışma sunulmuştur. Bazı çalışmalarda, steganaliz yöntemlerini atlatmak amacıyla LSB yöntemi diğer tekniklerle birleştirmiştir. Örneğin, (Hussain vd., 2016), uyarlanabilir LSB'yi örtü görüntünün farklı alt ve yüksek doku bölgelerine dayalı olarak en doğru rakam değiştirme (RMDR) tekniğiyle entegre etmiştir. Pikseldeki bitler yerine rakamların kullanılması, yük kapasitesi ve görsel açıdan iyileştirme sağlarken RS analizine (Fridrich vd., 2001) yakalanma riskini azaltmaktadır. Ancak önerilen yöntem modern steganaliz saldırılarına, kapasitenin 1 bpp den yüksek olduğu durumlarda dayanıklı değildir (Pevny vd., 2010).

LSB tabanlı yöntemler basit bir bilgi gizleme yöntemi olarak kabul edilse de, ana dezavantaj, gömme kapasitesinin

stego-görüntünün görsel kalitesiyle doğrudan bir ilişkisinin olmasıdır. Örneğin, bir pikselin LSB'sin de maksimum seviyeye uyum sağlayarak yükü artırmaya çalışırsak, stego-görüntünün genel görsel kalitesi düşmektedir. Görsel kalite sorununu çözmek için (Wu ve Tsai, 2003), piksel farkı değerine (Pixel Value Difference-PVD) dayalı bir steganografik yaklaşım önermiştir. İki komşu piksel arasındaki fark değeri, kaç tane gizli bitin gömülmesi gerektiğine karar vermek için kullanılmaktadır. Fark ne kadar büyükse (doku ne kadar yüksekse), piksel çiftine o kadar fazla bit gizlenebilmektedir. Genel olarak, PVD yöntemi, LSB yöntemine kıyasla daha yüksek görsel algılanamazlığa sahiptir ve görüntülere daha fazla gizli veri yerleştirilmektedir. Literatürde, PVD sınırlamalarını çözmek ve steganografik hedefleri geliştirmek için birçok çalışma sunulmuştur. Örneğin, Üç yollu PVD (Chang vd., 2008), LSB ile PVD' nin beraber kullanıldığı yaklaşımlar (Wu vd., 2005; Jung, 2010), Çoklu Piksel Farkı (MPD) (Yang vd., 2010), Modül İşlevi (MF) (Pan vd., 2011; Liao vd., 2012; Liao vd., 2013), blok tabanlı PVD (Yang vd., 2011) ve benzer hibrit yöntemler (Hussain vd., 2015; Hussain vd., 2017; Liao vd., 2018) sunulmaktadır.

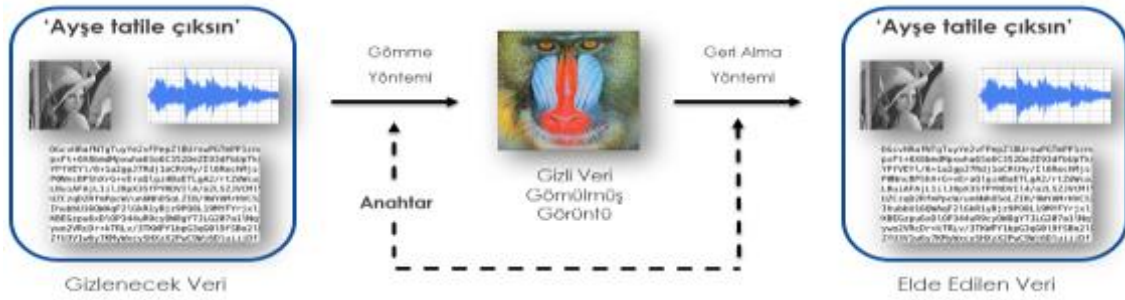
Uzaysal domainde yaygın kullanılan bir başka yöntem ise Değişim Yönünü Kullanma (Exploiting Modification Directions-EMD) tekniğidir. Bu yöntemde, stego görüntülerinin yüksek doğruluğunu koruyan iyi bilinen bir veri gizleme tekniğidir (Zhang ve Wang, 2006). Genel olarak, EMD veri gizleme tekniğinde gizli veriler $(2n+1)$ 'lik sayı sistemine dönüştürülür ki burada "n" kullanılan örtü görüntüden alınan piksellerinin sayısıdır. Bu n adet piksel grubunda değişim aralığı en fazla (± 1) 'dir. Öte yandan, EMD yönteminin maksimum kapasitesi, $(n = 2)$ iki piksel değeri için 1,16 bpp'ye kadardır. Gömme yükü, seçilen pikseller arttıkça azalmaktadır. Bu nedenle, gömme kapasitesini iyileştirmek için farklı EMD tabanlı yöntemler önerilmiştir. (Kieu ve Chang, 2011; Liao vd., 2012; Kuo vd., 2013; Kuo ve Kao, 2013; Liao vd., 2017) yapılan çalışmalarda, yükü ve algılanamazlığı iyileştirmek için HoEMD ve AdEMD adlı iki EMD tabanlı veri gizleme teknikleri önermişlerdir. (Kieu ve Chang, 2011), Değişim Yönünü Tamamen Kullanan (FEMD) bir sistem önerdi. FEMD tekniği, (Zhang ve Wang, 2006) tarafından önerilen yöntemi geliştirerek iyi görsel algılanamazlık ile gömme kapasitesini de yükseltmiştir. (Kuo ve Wang, 2013) tarafından sunulan yöntem, EMD yönteminin kapasitesini geliştirmiştir ve literatürde Genelleştirilmiş Değişim Yönünü Kullanma (Generalized Exploiting Modification Directions-GEMD) olarak bilinmektedir. Yöntemde, $(n+1)$ tabandaki bitler, n bitişik piksele doğrudan gizlenmektedir. Yapılan deneyler, gömme yükünün $(1+(1/n))$ ayarlanabilir piksel grupları ile koruyabildiğini göstermiştir.

Makale kapsamında, LSB, PVD, EMD ve GEMD yöntemlerine ait algoritmalar ve bu yöntemlerin başarımlarını değerlendirmeleri sunulmaktadır. Makalenin, sonraki bölümünde, Steganografi hakkında temel bilgiler verilmiş, uzaysal alanda yaygın kullanılan veri gizleme teknikleri örnekleriyle açıklanmıştır. Bu yöntemlerin değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler ve performans testleri Deneysel Çalışmalar bölümünde detaylıca sunulmaktadır. Sonuç ve Tartışma bölümünde ise elde edilen tüm veriler göz önünde bulundurularak teknikler hakkında yorumlar yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu bölümde, steganografi hakkında genel bilgiler, LSB, PVD, EMD ve GEMD tekniklerinin matematiksel örnekleriyle birlikte veri gizleme ve çıkarma işlemlerinin nasıl yapıldığı ele alınmaktadır.

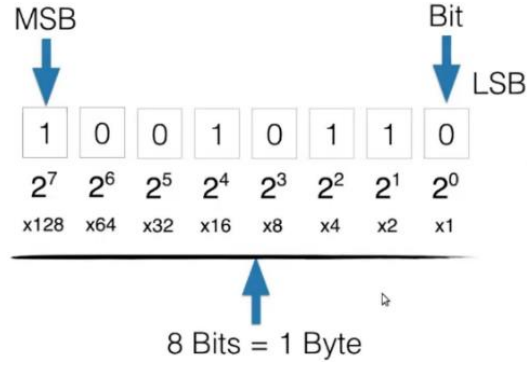
Steganografide, gizlenecek olan veri (secret-message) için önce bir örtü medya (cover-media) seçilmektedir. Örtü medya, veriyi içerisine gizleyecek olduğumuz sayısal nesnedir. Daha sonra, veri gizleme yöntemi kullanılarak alıcıya gönderilecek mesaj bu örtü-medya gizlenir. Örtü medyanın veri gizlenmiş haline stego medya (stego-media) denir. Bu gizleme işleminin çözülmesi sürecinde karşı tarafa ekstra bilgiler gerekcekse bu bilgiler için bir stego-anahtar (stego-key) oluşturulabilir. Steganografide izlenecek süreç, Şekil 1 'de genel hatlarıyla görülmektedir. Seçilmiş olan örtü medya içerisine, gizlenecek olan bilgi şifrelenerek veya şifrelenmeden, veri gizleme tekniği ile gömülmektedir. Bu işlem sonunda üretilen stego medya karşı tarafa gönderilir. Alıcı taraf, aynı veri gizleme tekniğini kullanarak gizli bilgiyi elde etmektedir. Bazı veri gizleme tekniklerinde, anahtar kullanıldığından mesajı alan tarafında bu anahtarı da bilmesi gerekmektedir. Bu sayede gönderici ve alıcı arasında güvenli bir iletişim sağlanmış olmaktadır.



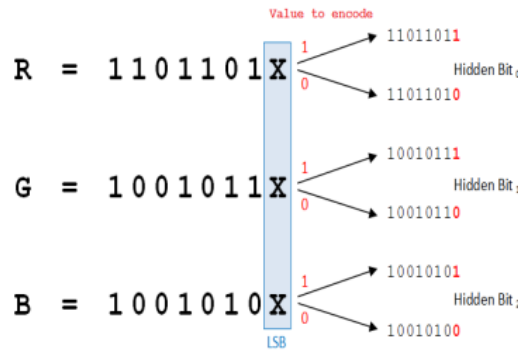
Şekil 1. Sayısal Steganografi Süreci (Digital Steganography Process)

2.1. En Düşük Anlamlı Bit (Least Significant Bit)

En düşük anlamlı bit tekniklerinde piksel değerleri ikili sayı tabanına çevrilir. Gri ölçekli bir görüntünün bir pikseli 8 bitten oluşur. Şekil 2'de görüldüğü üzere, 8 bitlik verimizin en soldaki yani değerce en büyük olan bite en yüksek anlamlı bit (Most Significant Bit); en sağdaki yani değerce en düşük olan bite ise en düşük anlamlı bit (Least Significant Bit) denir. LSB tekniğinde işlemler en az anlamlı bit ve bu bite yakın bitler üzerinde yapılır. Bunun nedeni, Şekil 3'te de görüldüğü üzere her bir renge ait en az anlamlı bitte yapılabilecek en büyük güncelleme 1 olduğundan, her bir rengin değerini en fazla 1/255 oranında değiştirecektir. Dolayısıyla, insan gözünün renkteki bu değişimi algılaması mümkün değildir.



Şekil 2. 8 Bitlik Veri İçin LSB (8-Bit Data for LSB)



Şekil 3. 24 Bitlik 3 Kanallı Renkli Görüntü İçin LSB (24-Bit 3 Channels Colored Image For LSB)



Şekil 4. 256x256 Gri Lena Görüntüsü (256x256 Gray-scale Lena Cover Image)

Şekil 4'te verilen 256x256 boyutlarındaki, gri ölçekli Lena örtü görüntüsüne, "sun" kelimesi gizlenecektir. Tablo 1'de görüldüğü üzere, gizlenecek olan kelimenin her bir harfini önce ASCII karşılığı, daha sonra ikilik sayı sistemindeki karşılığı bulunmaktadır. Her bir harf için aynı işlem gerçekleştirildikten sonra elde edilen 3 adet 8 bitlik veri, bir veri katarına dönüştürülmektedir (011100110111010101101110).

Tablo 1. "Sun" Kelimesinin ASCII ve İkili Taban Karşılıkları (ASCII And Binary Equivalent Of "Sun")

Karakterler	ASCII Karşılığı	İkili Sistem Değeri
"s"	115	01110011
"u"	117	01110101
"n"	110	01101110

Lena örtü görüntüsünün piksel değerleri belirli bir sırada alınmakta ve ikilik sayı sistemine dönüştürülmektedir. Gizlenecek veri katarından alınan her bir bit, lena örtü görüntüsündeki ilgili pikselin en düşük anlamlı biti ile değiştirilmektedir. Tablo 2 Lena örtü görüntüsüne ait piksel değerlerinin ASCII ve ikili sistem değerlerini, o piksele gizlenecek değeri, yeni piksel değerinin ikili sistemdeki ve ASCII değeri karşılığını sunmaktadır.

Tablo 2. LSB Örneği (LSB Example)

Lena Örtü Görüntü	ASCII	İkili Sistem Değeri	Gizli veri	Yeni Piksel Değeri	Yeni ASCII
1. Piksel	162	10100010	0	10100010	162
2. Piksel	162	10100010	1	10100011	163
3. Piksel	160	10100000	1	10100001	161
4. Piksel	162	10100010	1	10100011	163
5. Piksel	163	10100011	0	10100010	162
6. Piksel	160	10100000	0	10100000	162
7. Piksel	159	10011111	1	10011111	159
8. Piksel	158	10011110	1	10011111	159

Verinin geri elde edilme aşamasında ise, stego görüntüdeki ilgili pikselin son bitine bakılmaktadır. Gizli mesaj, gizleme yönteminde kullanılan sırada birleştirilmekte ve sonrasında ASCII karşılığında karaktere çevrilmektedir. Örnekte, stego görüntü piksel değerlerinin son bitleri incelendiğinde sırasıyla, 01110011 ikili verisi elde edilmekte, ASCII olarak 115 ve karakter karşılığı olarak "s" bulunmaktadır. LSB yönteminde, en düşük anlamlı bit sayısı değiştirilerek veri gizleme kapasitesi artırılmaktadır. Bu durum LSB-k bit yöntemi şeklinde değerlendirilmektedir. Yöntemdeki k, örtü görüntüde bir piksele gizlenecek bit sayısını ifade etmektedir.

2.2. Piksel Değeri Farkı (Pixel Value Difference)

LSB tekniğinde sunulan örneklerden de görüldüğü üzere, yöntemin uygulanması çok basittir. Ayrıca, diğer yöntemlerle uyum sağlamak için de çok esnekler. Ancak, veri gizleme kapasitesindeki artış, stego görüntünün görsel kalitesini çok etkilemektedir. Görsel kalite sorununu çözmek için 2003 yılında piksel farkı değerine (Pixel Value Difference-PVD) dayalı yeni bir steganografik yaklaşım önerilmiştir (Wu ve Tsai, 2003). PVD, örtü

görüntüsünün ikiye bölünebilir ardışık piksel gruplarına bölünmesine dayanmaktadır. Yöntemde ardışık iki piksel değeri arasındaki farka göre işlem yapılır. İki piksel arasındaki fark büyük yani doku yüksekse, o piksel çiftine daha fazla bit gizlenmektedir. Yöntem, piksel farklarına göre, o piksel aralığına kaç bitlik veri gizleneceğini belirlemektedir. Veri gizleme kapasitesini gösteren referans değerler Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. PVD Referans Tablosu (PVD Reference Table)

Aralık (R)		Genişlik (w)	Gizlenebilecek Bit Sayısı (t)
Aralık (R _{alt})	Aralık (R _{üst})		
0	7	8	3
8	15	8	3
16	31	16	4
32	63	32	5
64	127	64	6
128	255	123	7

PVD algoritması bir örnek üzerinde açıklırsa; Lena örtü görüntüsünü oluşturan pikseller örtüşmeyecek şekilde alınarak ikili gruplar oluşturulmaktadır.

1.Grup : P1 = 162, P2 = 162

2.Grup : P1 = 160, P2 = 162

.....

Piksel grupları arasındaki fark belirlenir ve ilgili piksel grubuna saklanacak bit sayısı hesaplanır.

$$d = |P1 - P2| \quad d = |162 - 162| = 0 \text{ (1. Grup için)}$$

Hesaplanan d değerinin, Tablo 3'e göre hangi aralıkta yer aldığı bulunmaktadır. Referans tabloya göre, $0 \leq d \leq 7$ olduğundan bu iki piksel arasındaki fark, 3 bitlik verinin gizlenmesi için uygundur. Gizlenecek verinin (011100110111010101101110) ilk 3 biti (011) alınmakta ve onluk sayı (Dec=3) sistemine dönüştürülmektedir. Sonrasında; $d' = R_{alt} + Dec = 0 + 3 = 3$ ve $m = |d' - d| = |3 - 0| = 3$ hesaplanır. Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra denklem 1 kullanılarak stego piksel değerleri elde edilmektedir ($P'1 = 164$ ve $P'2 = 161$) (Solak ve Altınışık, 2018).

$$(P'_i, P'_{i+1}) = \begin{cases} \left(\left\lceil P_i + \frac{m}{2} \right\rceil, P_{i+1} - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{eğer } P_i \geq P_{i+1} \text{ ve } d_i > d'_i \\ \left(P_i - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, P_{i+1} + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{eğer } P_i < P_{i+1} \text{ ve } d_i > d'_i \\ \left(P_i - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, P_{i+1} + \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{eğer } P_i \geq P_{i+1} \text{ ve } d_i \leq d'_i \\ \left(P_i + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, P_{i+1} - \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{eğer } P_i < P_{i+1} \text{ ve } d_i \leq d'_i \end{cases} \quad (1)$$

PVD yönteminde, gizlenen veriyi elde etmek için, gizleme işlemine çok benzer bir süreç işletilmektedir. Veri gizlenmiş örtü görüntüye ait piksel değerleri ikiye bölünebilir gruplar şeklinde alınmaktadır ($P1 = 164$ ve $P2 = 161$). Sonrasında bu piksel grupları arasındaki fark hesaplanmaktadır ($d = |P1 - P2|$, $d = |164 - 161| = 3$). $d = 3$ değeri, Tablo 3'de $0 \leq d \leq 7$ aralığında olduğundan bu iki piksel arasındaki fark, 3 bitlik verinin gizlendiğini göstermektedir. Sonrasında, $Dec = |d - R_{alt}|$ işlemi yapılarak, $Dec = |3 - 0| = 3$ $(3)_{10} = (011)_2$ elde edilmektedir.

2.3. Değişim Yönünü Kullanma (Exploiting Modification Directions)

Değişim yönünü kullanma (Exploiting Modification Directions-EMD) stego görüntülerin yüksek doğruluğunu koruyan, iyi bilinen bir gömme tekniğidir (Zhang ve Wang, 2006). EMD algoritmasında örtü görüntüden n adet piksel alınarak işlem yapılmaktadır. Gizlenecek verinin ilk karakterinin ASCII değeri $(2n+1)$ sayı sistemine dönüştürülüp piksellere uygulanmaktadır. Tüm bu işlemler sonunda, n pikselden sadece bir tanesinde ± 1 değişim olmaktadır (Solak, 2020). Piksellerde hiç değişim de olmayabilir. Yani genel anlamda piksellerde değişim azdır. EMD'ye ait yük (payload) denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_{EMD} = \frac{\log(2n+1)}{n} \quad (2)$$

Tablo 4. İşlem Gören Piksel Sayısına Göre Yük (Payload by Number of Pixels)

n	2	3	4	5	6	7	8	9
bpp	1,16	0,94	0,79	0,69	0,62	0,56	0,51	0,47

Tablo 4'te görüldüğü üzere EMD uygulanacak piksel sayısı arttıkça piksel başına gizlenecek bit (bpp) miktarı azalmaktadır. En yüksek bpp değerine n=2 için ulaşılmaktadır. EMD yönteminde denklem 3'te verilen eşitlik kullanılarak g_{EMD} değeri hesaplanmaktadır. Daha sonra gizlenecek olan veri $(2n+1)$ sayı sistemine çevrilmektedir. Gizlenecek olan veri ile g_{EMD} değeri arasındaki fark denklem 4'e göre hesaplanmakta ve denklem 5'e uygun şekilde stego görüntü piksel değerleri elde edilmektedir.

$$g_{EMD}(P_1, P_2, \dots, P_n) = [\sum_{k=1}^n (p_k \times k)] \bmod (2 \times n + 1) \quad (3)$$

$$fark = (veri - g_{EMD}) \bmod (2 \times n + 1) \quad (4)$$

$$\begin{cases} p_1, p_2, \dots, p_n \rightarrow fark = 0 \text{ veya } fark = g_{EMD} \\ p'_{fark} = p_{fark} + 1, \rightarrow fark \leq n \\ p'_{(2n+1-fark)} = p_{(2n+1-fark)} - 1, \rightarrow fark > n \end{cases} \quad (5)$$

EMD yöntemini örnek ile açıklarsak;

Lena örtü görüntüsünden alınan ilk dört piksele veri gizlenecektir $((P_1, P_2, P_3, P_4) = (162, 162, 160, 162))$. Bu durumda n=4, sayı sistemi $2 \times 4 + 1 = 9$ olmaktadır. Denklem 3'e göre $g_{EMD} = 3$ olarak hesaplanmaktadır. Örnekte gizlenecek olan veri=4 tür. Denklem 4'e göre fark=1 olarak bulunmaktadır. Bu işlemlere göre fark $\leq n$ ($1 \leq 4$) olduğundan denklem 5'e göre, $P_1 = 163$ olarak güncellenir ve diğer pikseller aynı kalmaktadır. Tablo 5, orijinal kapak görüntüsü piksel değerleri ile veri gizleme işlemi yapıldıktan sonra elde edilen yeni piksel değerlerini sunmaktadır.

Tablo 5. n=4 İçin EMD Piksellerindeki Değişim (For N=4 in EMD Method, Pixel Differences)

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Örtü görüntü	162	162	160	162
Stego görüntü	163	162	160	162

EMD yöntemi ile gizlenen veriyi tekrar elde etmek için denklem 6 kullanılmaktadır. Denklem 6 sonunda elde edilen veri $(2n+1)$ sayı sistemindedir.

$$veri = [\sum_{k=1}^n (p_k \times k)] \bmod (2 \times n + 1) \quad (6)$$

Örneğe göre stego görüntü piksel değerleri alınarak işlem yapıldığında $(P_1, P_2, P_3, P_4) = (163, 162, 160, 162)$, veri=4 olarak hesaplanmaktadır.

2.4. Genelleştirilmiş Değişim Yönünü Kullanma (Generalized Exploiting Modification Directions)

EMD yönteminde, veri gizleme kapasitesini iyileştirmek için farklı EMD tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de Genelleştirilmiş Değişim Yönünü Kullanma (Generalized Exploiting Modification Directions - GEMD) yöntemidir (Kuo ve Wang, 2013). Yöntem yük kapasitesini 1 bpp üzerinde tutarak daha iyi bir stego görüntü kalitesi sunmaktadır. GEMD yöntemine ait yük, denklem 7 kullanılarak hesaplanmaktadır. Tablo 6'da ise piksel sayısına göre bpp cinsinden yük değişim miktarları sunulmaktadır.

$$P_{GEMD} = \frac{n+1}{n} \quad (7)$$

Tablo 6. İşlem Gören Piksel Sayısına Göre Yük (Payload by Number of Pixels)

n	2	3	4	5	6	7	8	9
bpp	1,5	1,33	1,25	1,2	1,17	1,14	1,13	1,11

Tablo 6'da görüldüğü üzere GEMD uygulanacak piksel sayısı arttıkça bpp değeri azalmaktadır. En yüksek bpp değerine ise n=2 olduğu durumda 1,5 bpp olarak hesaplanmaktadır. Yöntemde seçilen n değerine n+1 bitlik bilgi gizlenmektedir. Dolayısıyla gizlenecek bilgi bit katarına çevrilmekte ve her seferinde n+1 bitlik kısım alınarak onluk sayı sistemindeki karşılığı bulunarak işlem yapılmaktadır.

$$g_{GEMD}(P_1, P_2, \dots, P_n) = [\sum_{k=1}^n (p_k \times (2^k - 1))] \bmod (2^{n+1}) \quad (8)$$

$$fark = (veri - g_{GEMD}) \bmod (2^{n+1}) \quad (9)$$

Eğer $fark = 2^n \rightarrow p'_1 = p_1 + 1, p'_n = p_n + 1$

Eğer $0 < fark < 2^n \rightarrow fark (n+1)$ bitlik ikili sayı sistemine çevrilir. $(s_n, s_{n-1}, \dots, s_0)_2$ Sonrasında aşağıdaki işlemler uygulanır.

for $(x = n; x \geq 1; x = x - 1)$

if $(s_x = 0$ ve $s_{x-1} = 1) \rightarrow n; p'_x = p_x + 1$

else if $(s_x = 1$ ve $s_{x-1} = 0) \rightarrow n; p'_x = p_x - 1$

else $p'_x = p_x$

end

(10)

Eğer $fark > 2^n \rightarrow temp = 2^{n+1} - fark$ temp değeri $(n+1)$ bitlik ikili sayı sistemine çevrilir. $(s_n, s_{n-1}, \dots, s_0)_2$

for $(x = n; x \geq 1; x = x - 1)$

if $(s_x = 0$ ve $s_{x-1} = 1) \rightarrow n; p'_x = p_x - 1$

else if $(s_x = 1$ ve $s_{x-1} = 0) \rightarrow n; p'_x = p_x + 1$

else $p'_x = p_x$

end

EMD yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de g_{GEMD} değeri hesaplanmaktadır. EMD yönteminde kullanılan $2n+1$, bu yöntemde 2^{n+1} şeklinde kullanılmaktadır. Yöntemde ilk olarak denklem 8'de g_{GEMD} değerinin hesaplanması sunulmaktadır. Sonrasında bit katarından alınan $n+1$ bitlik veri onluk sayı sistemine çevrilir ve denklem 9'da sunulduğu gibi fark değeri hesaplanmaktadır. Elde edilen fark değeri ve n değeri ile denklem 10'da sunulan eşitlikler kullanılarak stego piksel değerleri hesaplanmaktadır. Denklem 10'da sunulan eşitlik incelendiğinde EMD yöntemine göre GEMD yönteminde birden fazla piksel değerinde değişiklik olduğu görülmektedir.

GEMD yöntemini örnek ile açıklarsak;

Lena örtü görüntüsünden alınan ilk üç piksele veri gizlenecektir $(P_1, P_2, P_3) = (162, 162, 160)$. Böylece $n=3$, ve gizlenecek veri 4 bit olacaktır. Diğer bölümlerde sunulan bit katarından (0111) dört bitlik veri alınarak onluk sisteme çevrilir (veri=7). Denklem 8'e göre hesaplanan g_{GEMD} değeri 8 olarak bulunmaktadır. Denklem 9'a göre hesaplanan fark değeri 15 çıkmaktadır. Elde edilen bu değerler kullanılarak denklem 10 sunulan eşitlikler ve işlemler uygulandığında, $fark > 2^n$ olduğundan $temp = 2^{n+1} - fark = 1$ bulunmakta ve stego piksel değerleri $(P'_1, P'_2, P'_3) = (161, 162, 160)$ elde edilmektedir. Tablo 7, orijinal kapak görüntüsü piksel değerleri üzerinde GEMD yöntemi ile veri gizleme işlemi yapıldıktan sonra elde edilen yeni piksel değerlerini sunmaktadır. GEMD yöntemi ile gizlenen veriyi tekrar elde etmek için denklem 11 kullanılmaktadır.

Tablo 7. $n=3$ için GEMD Piksellerindeki Değişim (For $N=3$ in GEMD Method, Pixel Differences)

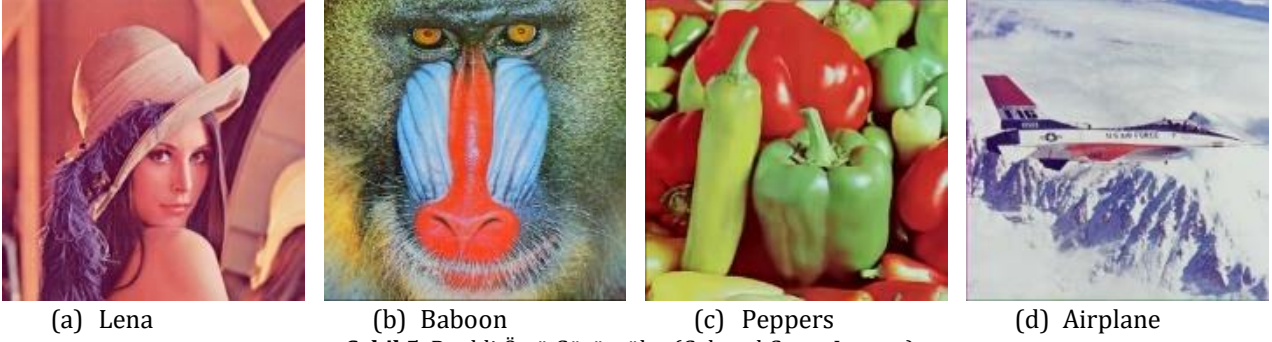
	P₁	P₂	P₃
Örtü görüntü	162	162	160
Stego görüntü	161	162	160

$$veri = [\sum_{k=1}^n (p'_k \times (2^k - 1))] \bmod (2^{n+1}) \quad (11)$$

Örneğe göre stego görüntü piksel değerleri alınarak işlem yapıldığında; $n=3$ ve stego pikseller $(P'_1, P'_2, P'_3) = (161, 162, 160)$; $Veri = 161 \times 1 + 162 \times 3 + 160 \times 5 \bmod 16 = 7$ çıkmaktadır. Sonrasında $n+1$ bitlik ikili sayı sistemine çevrilerek (0111) değeri bulunmaktadır.

3. Deneysel Çalışmalar (Experimental Studies)

Bu bölümde, LSB, PVD, EMD ve GEMD yöntemlerinin taşıma yükü, tepe sinyal gürültü oranı, yapısal benzerlik endeksi gibi başarımlar ölçütleri kullanılarak performansları sunulmaktadır. Ayrıca ilgili yöntemlerin, histogram analizi ve RS analiz testleri gerçekleştirilerek steganaliz ataklarına karşı dayanıklılığı test edilmektedir. Deneysel çalışmalar, AMD Phenom II X6 1090T işlemci, 10 GB 1600Mhz RAM ve Windows 7 Professional 64-bit işletim sistemine sahip bir masaüstü bilgisayar kullanılarak Matlab R2020a yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, veri gizleme işleminde standart veri tabanlarında yer alan ve şekil 5'te sunulan 512x512 boyutlarında Lena, Baboon, Pepper ve Airplane renkli örtü görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 5. Renkli Örtü Görüntüler (Colored Cover Images)

Veri gizleme yöntemlerini karşılaştırırken kullanılan en önemli başarımların ölçütlerinden biri yüküdür. Stego-görüntüdeki piksel başına düşen gömülü gizli bitlerin sayısı yük (payload) olarak adlandırılmaktadır. Genellikle piksel başına bit (bpp) olarak temsil edilir. Denklem 12’de sunulduğu üzere gömülen bit sayısının stego görüntüsündeki toplam piksel sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir. İyi bir veri gizleme yönteminde, görsel kalite korunurken yükün mümkün olduğunca yüksek olması istenmektedir.

$$\text{yük (bpp)} = \frac{\text{Gizlenen bit sayısı}}{\text{Stego görüntüdeki toplam piksel sayısı}} \quad (12)$$

Gizli verileri örtü görüntüsünün içerisine saklarken piksel değerlerinde değişiklikler olmaktadır. Bu durum, stego görüntüsünün algılanamazlığını doğrudan etkilediği için değişikliklerin analiz edilmesi gerekir. Tepe sinyal gürültü oranı (Peak Signal-to-Noise Ratio – PSNR), örtü ve stego görüntüleri arasındaki ortalama karesel hata değerini analiz ederek stego-görüntüsünün kalitesini ölçmek için kullanılan popüler ve birinci sınıf metriklerden biridir. PSNR değeri, 0 ile 100 arasında değerler alır ve 100’e yakın değerler çıkması örtü ve stego görüntünün birbirine benzediğini ifade eder. Ayrıca, veri gizleme tekniklerinde görüntü kalitesini koruyabilmek için PSNR değerinin 30’dan büyük olması hedeflenmektedir. PSNR değerini hesaplamak için önce ortalama karesel hata (Mean Squared Error - MSE) denklem 13 kullanılarak hesaplanır. Ardından denklem 14 ile PSNR değeri elde edilir (Pradhan vd., 2016).

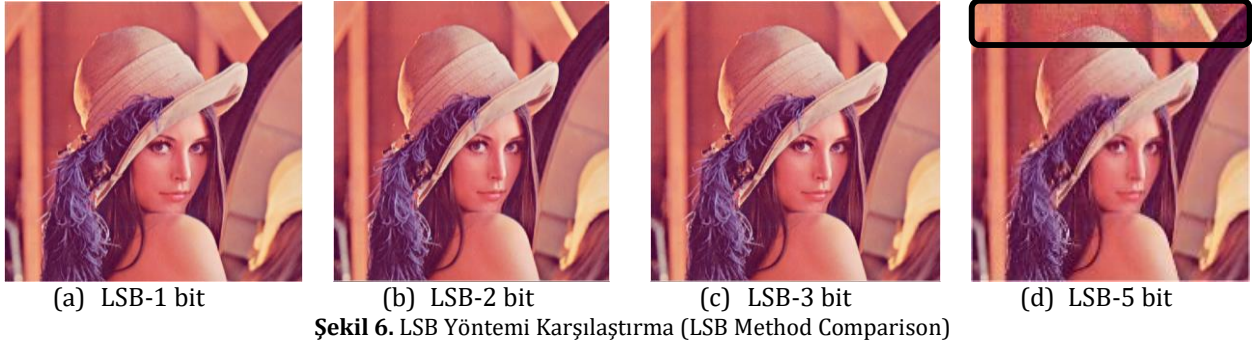
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c'_i)^2}{n} \quad (13)$$

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (14)$$

Yapısal benzerlik endeksi adı verilen (Structural Similarity Index Measure - SSIM), örtü ve stego görüntüler arasındaki benzerliği incelemek için kullanılan başarımların ölçütüdür. SSIM değeri, 0 – 1 arasında değerler almakta olup, veri gizleme yöntemlerinde bu değer 1’e yakın bir değer olması istenmektedir. Denklem 15 kullanılarak SSIM değeri hesaplanmaktadır.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_x\sigma_y + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (15)$$

Deneysel çalışmalarda ilk olarak LSB tekniği kullanılarak 512x512 boyutlarındaki renkli Lena örtü görüntüsüne 512x512 boyutlarında gri ölçekli Lena görüntüsünden sırayla alınan veriler gizlenmiştir. Bu yöntemde, en düşük anlamlı bit sayısı arttıkça, gizli mesaj saklama kapasitesi de artmaktadır. Ancak, bu artış beraberinde, görüntü kalitesinde azalmayı da yanında getirir. Şekil 6 da LSB-1, LSB-2, LSB-3 ve LSB-5 bit stego-görüntüler sunulmaktadır. Gizli veriler, stego-görüntünün üst tarafında bulunan piksellere LSB-1, LSB-2 ve LSB-3 bit ile sırayla yerleştirilmesine rağmen insan gözünün bunu fark etmesi kolay değildir. Ancak LSB-5 bit uygulanmış stego görüntüde ise, görüntü kalitesinin bozulduğu gözle görülür hale gelmektedir.



Tablo 8’de LSB-k bit ($k=1,2,3$) yöntemi için farklı örtü görüntülere veri gizleme sonucunda elde edilen PSNR, SSIM, yük ve kapasite karşılaştırmaları sunulmaktadır. LSB-1 yönteminin daha yüksek PSNR ve SSIM değerleri sunduğu gözlenirken, yük ve kapasitelerinin diğer LSB-k bit yöntemlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. LSB-3 bit yönteminde ise, yük ve kapasitenin yüksek olduğu ancak PSNR ve SSIM gibi görüntü kalitesini ifade eden ölçütlerin düşük olduğu görülmektedir. LSB-3 bit yönteminde yüksek kapasitede veri gizlenmesine rağmen PSNR değerinin literatürde sunulan kabul edilebilir (30dB) seviyenin üzerinde olduğu görülmektedir.

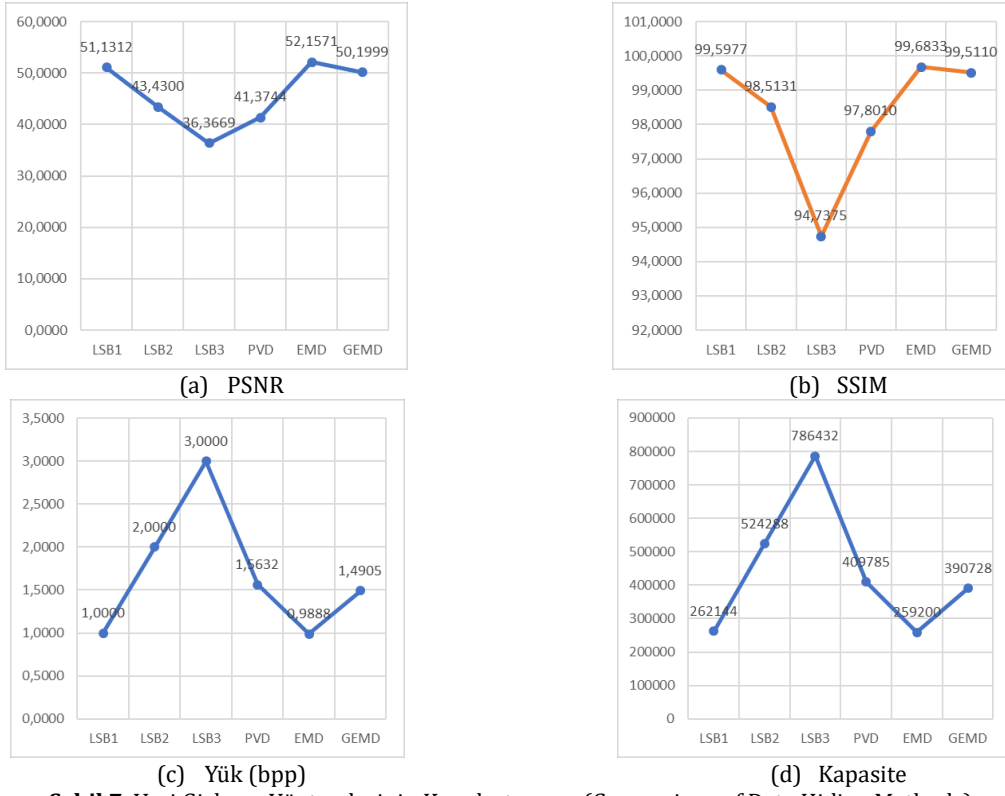
Tablo 8. LSB-K Bit Veri Gizleme Yönteminin Karşılaştırması (Comparison of LSB-K Bit Methods)

Görüntü	Yöntem	PSNR	SSIM (%)	Yük (bpp)	Kapasite
Lena	LSB-1	51,1312	99,5977	1,0000	262144
	LSB-2	43,4300	98,5131	2,0000	524288
	LSB-3	36,3669	94,7375	3,0000	786432
Baboon	LSB-1	51,1449	99,8732	1,0000	262144
	LSB-2	43,4296	99,5682	2,0000	524288
	LSB-3	36,3591	98,4665	3,0000	786432
Airplane	LSB-1	51,1247	99,5913	1,0000	262144
	LSB-2	43,4726	98,5088	2,0000	524288
	LSB-3	36,4745	95,1675	3,0000	786432
Peppers	LSB-1	51,1460	99,5120	1,0000	262144
	LSB-2	43,4035	98,4278	2,0000	524288
	LSB-3	36,2793	94,9210	3,0000	786432

Tablo 9. Veri Gizleme Yöntemlerinin Karşılaştırması (Comparison of Data Hiding Methods)

Görüntü	Yöntem	PSNR	SSIM	bpp	Kapasite
Lena	LSB-1	51,1312	99,5977	1,0000	262144
	LSB-2	43,4300	98,5131	2,0000	524288
	LSB-3	36,3669	94,7375	3,0000	786432
	PVD	41,3744	97,8010	1,5632	409785
	EMD	52,1571	99,6833	0,9888	259200
	GEMD	50,1999	99,5110	1,4905	390728
Baboon	LSB-1	51,1449	99,8732	1,0000	262144
	LSB-2	43,4296	99,5682	2,0000	524288
	LSB-3	36,3591	98,4665	3,0000	786432
	PVD	37,1233	98,7128	1,7440	457169
	EMD	52,1544	99,9000	0,9888	259200
	GEMD	50,1982	99,8456	1,4905	390728
Airplane	LSB-1	51,1247	99,5913	1,0000	262144
	LSB-2	43,4726	98,5088	2,0000	524288
	LSB-3	36,4745	95,1675	3,0000	786432
	PVD	40,3124	96,8166	1,5633	409817
	EMD	52,1765	99,6482	0,9888	259200
	GEMD	50,1796	99,4455	1,4905	390728
Peppers	LSB-1	51,1460	99,5120	1,0000	262144
	LSB-2	43,4035	98,4278	2,0000	524288
	LSB-3	36,2793	94,9210	3,0000	786432
	PVD	41,5773	96,7045	1,5297	401007
	EMD	52,1537	99,5926	0,9888	259200
	GEMD	50,1600	99,3613	1,4905	390728

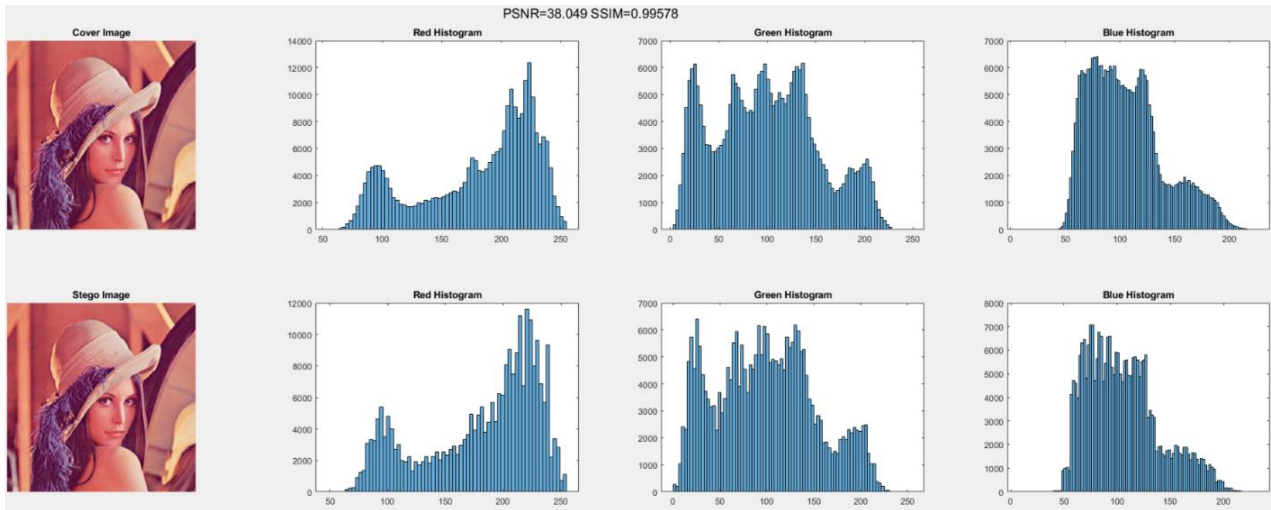
Şekil 5'te sunulan örtü görüntülere, gri ölçekli Lena görüntüsünden alınan veriler LSB-1, LSB-2, LSB-3, PVD, EMD ve GEMD yöntemleri kullanılarak maksimum kapasitelerinde gizlenmiştir. Bu işlem sonunda yük, toplam taşıma kapasitesi, PSNR ve SSIM değerlendirme ölçütlerine ait başarımlar Tablo 9'de sunulmaktadır.



Şekil 7. Veri Gizleme Yöntemlerinin Karşılaştırması (Comparison of Data Hiding Methods)

Şekil 7 LSB-1, LSB-2, LSB-3, PVD, EMD, GEMD yöntemlerinin, PSNR, SSIM, yük ve toplam kapasite yönünden grafiksel olarak karşılaştırmasını sunmaktadır. EMD yönteminde PSNR ve SSIM gibi değerlerin yüksek olduğu grafiklerden görülmektedir. Veri gizleme kapasitesi olarak LSB-3 bit yönteminin yüksek olduğunu grafikler sunmaktadır.

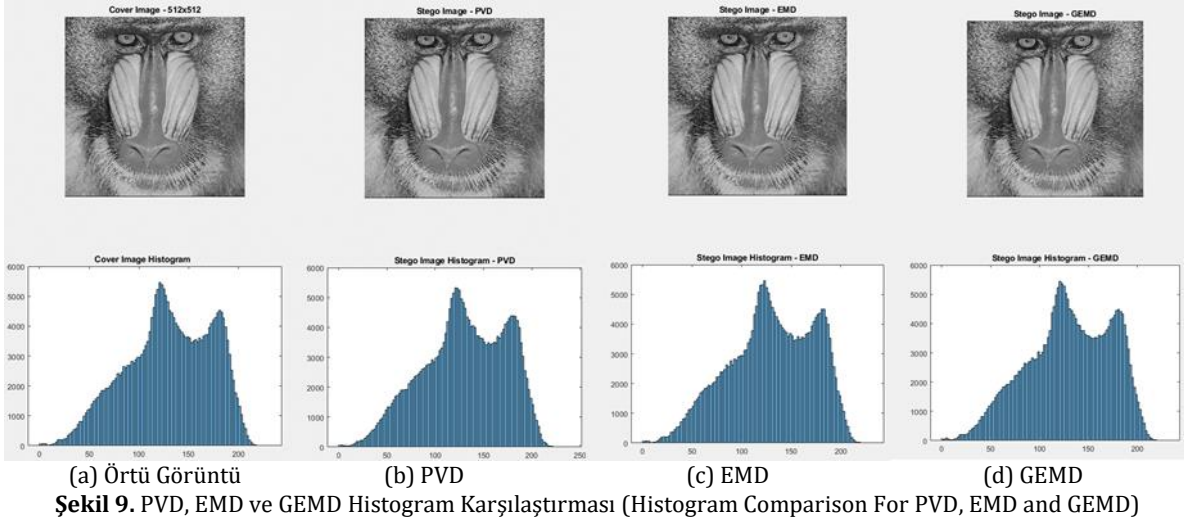
Şekil 8'de Lena örtü görüntüsü, kırmızı, yeşil ve mavi renk kanalına ait histogramlar, LSB-3 yöntemi kullanılarak tam kapasitede veri gizlenmiş stego görüntüsü ve histogramları sunulmaktadır. Görüldüğü üzere, stego görüntüye ait histogramlarda, görüntü içinde veri olduğunu gösteren taraklanma etkisi gözlemlenmektedir.



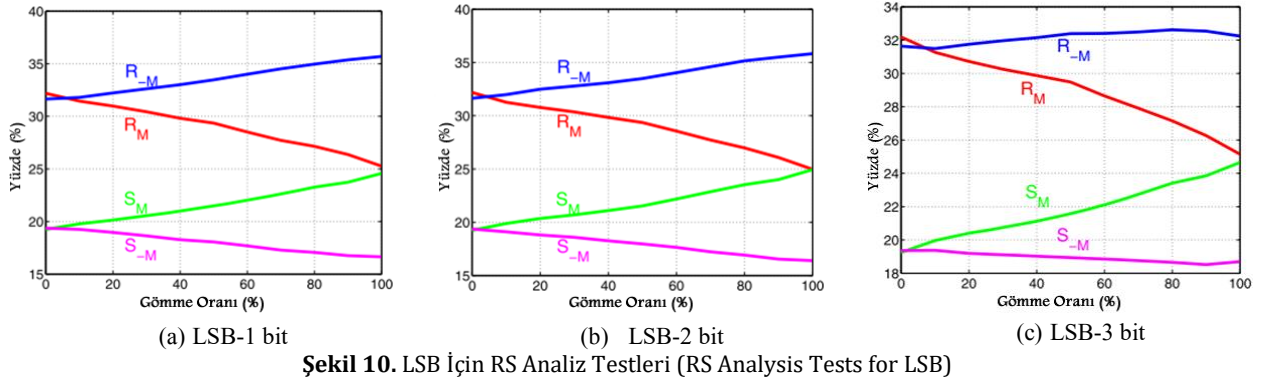
Şekil 8. LSB-3 için Histogram Karşılaştırması (Histogram Comparison For LSB-3)

Şekil 9'da gri ölçekli Baboon örtü görüntüsüne maksimum kapasitede PVD, EMD ve GEMD yöntemleri ile veri gizlenmiş stego görüntüleri ve histogramları sunulmaktadır. Görüldüğü üzere üç yönteme ait histogramlarda da taraklanma etkisi gözlemlenmemiştir. Yani bu yöntemlerle veri gizleme yapıldığında, görüntü

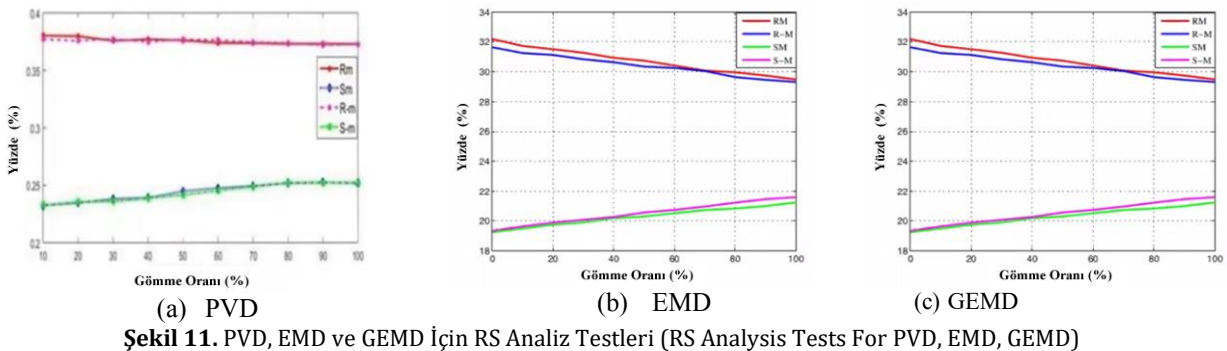
histogramı, stego görüntü içerisinde gizli veri olduğuna dair net bir bilgi vermemektedir. Bu durum, PVD, EMD ve GEMD yöntemlerinin, LSB yöntemine göre daha dayanıklı olduğunu ve algılanamazlığının daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Veri gizleme tekniklerin güvenlik testleri için kullanılan bir başka yöntem ise RS analizidir. Makale çalışması kapsamında gerçekleştirilen LSB-1, LSB-2 ve LSB-3 bit tekniklerine ait RS analiz sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, örtü ve stego-görüntü için düzenli (Regular-R) ve tekil (Singular-S) piksel grupları örtüşmemektedir. Bu bilgi görüntü içinde gizlenmiş veri olduğunu ifade etmektedir. Bu yüzden LSB teknikleri her ne kadar uygulaması kolay ve yüksek kapasite sunabilse de algılanamazlık açısından yetersizdir.



Şekil 11'de PVD, EMD ve GEMD yöntemleri için RS analiz testleri sunulmaktadır. Testler incelendiğinde, örtü ve stego görüntülerin düzenli ve tekil piksel gruplarının birbirinden ayrılmadığı görülmektedir. Bu bilgiye göre, PVD, EMD ve GEMD yöntemlerinin RS analiz ataklarına karşı dayanıklı olduğu görülmektedir.



4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Makalede, görüntü steganografisinde yaygın kullanılan LSB, PVD, EMD ve GEMD yöntemlerin karşılaştırmalı

başarım analizi gerçekleştirilmiştir. Görüntü steganografisi kapsamında bahsi geçen yöntemler, birbirlerine farklı kriterlerde üstünlük sağlamaktadır. Bu nedenle, yöntemin belirlenmesinde, ne için kullanılacağı ve kullanılacağı alanda hangi kriterlerin daha gerekli olduğunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. LSB yöntemi, uygulaması çok kolay bir yöntemdir. Bunun yanında LSB-3 bit yüksek kapasitede veri gizleme imkanı sunmaktadır. 512x 512 boyutlarında renkli örtü görüntülerde, LSB-3 bit ile 786432 bitlik en yüksek kapasite değerine ulaşılrken, LSB-k bit yöntemi dışında bu değere en yakın kapasite, Baboon örtü görüntüsünde PVD yöntemi ile elde edilen 457169 bittir. PVD yöntemi için diğer görüntülerde ise kapasite 400000-410000 bit arasında değişmektedir. Aynı görüntüde LSB-3 bit yöntemi, PVD yöntemine göre %42-49 daha fazla kapasite sunmaktadır. Ancak, LSB-3 bit ile elde edilen görüntü kalitesi (PSNR), yaklaşık %36 ile uygulanan yöntemler arasında en düşük değere sahiptir. Buna karşın PVD, tüm görüntülerde LSB-3 bit'e göre daha iyi görüntü kalitesi sunmuştur. En iyi görüntü kalitesi ise EMD, GEMD ve LSB-1 yöntemleri ile elde edilmiştir. LSB-1 iyi bir görüntü kalitesi sunsa da RS analizi sonuçlarından ve görüntü histogramında meydana gelen taraklanma etkisinden anlaşıldığı üzere algılanamazlık konusunda problemler yaşatabilmektedir. PVD yöntemi, EMD yöntemine göre %18-25 daha fazla kapasite sunabilmekteyken EMD yöntemi PVD yöntemine göre %20-29 daha iyi görüntü kalitesi sunabilmektedir. GEMD yöntemi, EMD yöntemine göre yaklaşık %34'lük bir kapasite artışı sağlarken GEMD ile elde edilen görüntü kalitesinde yaklaşık %4'lük bir kayıp yaşanmıştır.

PVD, LSB-1 yöntemine göre, yüksek kapasitede veri gizlemekte, histogram ve RS analizlerine göre veri daha dayanıklı olmakta ve yüksek kalitede bir stego-görüntü sağlamaktadır. Diğer yandan EMD ve GEMD yöntemleri, LSB'ye göre kapasite açısından daha az olanaklar sunsa da görsel kalite ve algılanamazlık konusunda gayet başarılı sonuçlar vermektedir. Yüksek kapasite ihtiyacının olduğu ancak algılanamazlığın ön planda olmadığı durumlarda LSB, algılanamazlığın ön planda olduğu durumlarda GEMD, kenar bölgelerinin yani doku farklılıklarının yoğun olduğu örtü görüntülerinde yüksek kapasite için PVD tercih edilmelidir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2021-2488 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Amirtharajan, R., & Rayappan, J. B. B., 2012. An intelligent chaotic embedding approach to enhance stego-image quality. *Information Sciences*, 193, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2012.01.010>.
- Chan, C. K., & Cheng, L. M., 2004. Hiding data in images by simple LSB substitution. *Pattern recognition*, 37(3), 469-474. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2003.08.007>.
- Chang, K. C., Chang, C. P., Huang, P. S., & Tu, T. M., 2008. A Novel Image Steganographic Method Using Tri-way Pixel-Value Differencing. *Journal of multimedia*, 3(2). <https://doi.org/10.4304/jmm.3.2.37-44>.
- Fridrich, J., Goljan, M., & Du, R., 2001. Reliable detection of LSB steganography in color and grayscale images. In *Proceedings of the 2001 workshop on Multimedia and security: new challenges* (pp. 27-30).
- Hussain, M., Wahab, A. W. A., Anuar, N. B., Salleh, R., & Noor, R. M., 2015. Pixel value differencing steganography techniques: Analysis and open challenge. In *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan* (pp. 21-22). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCE-TW.2015.7216859>.
- Hussain, M., Abdul Wahab, A. W., Javed, N., & Jung, K. H., 2016. Hybrid data hiding scheme using right-most digit replacement and adaptive least significant bit for digital images. *Symmetry*, 8(6), 41. <https://doi.org/10.3390/sym8060041>.
- Hussain, M., Wahab, A. W. A., Ho, A. T., Javed, N., & Jung, K. H., 2017. A data hiding scheme using parity-bit pixel value differencing and improved rightmost digit replacement. *Signal Processing: Image Communication*, 50, 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.image.2016.10.005>.
- Hussain, M., Wahab, A. W. A., Idris, Y. I. B., Ho, A. T., & Jung, K. H., 2018. Image steganography in spatial domain: A survey. *Signal Processing: Image Communication*, 65, 46-66. <https://doi.org/10.1016/j.image.2018.03.012>.
- Jung, K. H., 2010. High-capacity steganographic method based on pixel-value differencing and LSB replacement methods. *The Imaging Science Journal*, 58(4), 213-221. <https://doi.org/10.1179/136821910X12651933390584>.
- Jung, K. H., & Yoo, K. Y., 2015. Steganographic method based on interpolation and LSB substitution of digital images. *Multimedia Tools and Applications*, 74(6), 2143-2155. <https://doi.org/10.1007/s11042-013-1832-y>.
- Kadhim, I. J., Premaratne, P., Vial, P. J., & Halloran, B., 2019. Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research. *Neurocomputing*, 335, 299-326. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.06.075>.
- Kieu, T. D., & Chang, C. C., 2011. A steganographic scheme by fully exploiting modification directions. *Expert systems with Applications*, 38(8), 10648-10657. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.122>.

- Konyar, M. Z., & Solak, S., 2021. Efficient data hiding method for videos based on adaptive inverted LSB332 and secure frame selection with enhanced Vigenere cipher. *Journal of Information Security and Applications*, 63, 103037. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.103037>.
- Konyar, M. Z., & Öztürk, S., 2020. Reed solomon coding-based medical image data hiding method against salt and pepper noise. *Symmetry*, 12(6), 899. <https://doi.org/10.3390/sym12060899>.
- Kuo, W. C., & Wang, C. C., 2013. Data hiding based on generalised exploiting modification direction method. *The Imaging Science Journal*, 61(6), 484-490. <https://doi.org/10.1179/1743131X12Y.0000000011>.
- Kuo, W. C., Kuo, S. H., & Huang, Y. C., 2013. Data hiding schemes based on the formal improved exploiting modification direction method. *Applied Mathematics & Information Sciences Letters*, 1(3), 1-8.
- Kuo, W. C., & Kao, M. C., 2013. A steganographic scheme based on formula fully exploiting modification directions. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 96(11), 2235-2243. <https://doi.org/10.1587/transfun.E96.A.2235>.
- Kuo, W. C., Wang, C. C., & Hou, H. C., 2016. Signed digit data hiding scheme. *Information Processing Letters*, 116(2), 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.ipl.2015.08.003>.
- Lamiles, O. E. M., 2016. Analysis and Experimental Study of EMD and GEMD Steganographic Methods (Master's thesis, Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ)).
- Liao, X., Wen, Q. Y., Zhao, Z. L., & Zhang, J., 2012. A novel steganographic method with four-pixel differencing and modulus function. *Fundamenta Informaticae*, 118(3), 281-289. <https://doi.org/10.3233/FI-2012-714>.
- Liao, X., Wen, Q., & Zhang, J., 2013. Improving the adaptive steganographic methods based on modulus function. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 96(12), 2731-2734. <https://doi.org/10.1587/transfun.E96.A.2731>.
- Liao, X., Guo, S., Yin, J., Wang, H., Li, X., & Sangaiah, A. K., 2018. New cubic reference table based image steganography. *Multimedia Tools and Applications*, 77(8), 10033-10050. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4946-9>.
- Liao, X., Wen, Q., & Zhang, J., 2012. A novel steganographic method with four-pixel differencing and exploiting modification direction. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 95(7), 1189-1192. <https://doi.org/10.1587/transfun.E95.A.1189>.
- Liao, X., Qin, Z., & Ding, L., 2017. Data embedding in digital images using critical functions. *Signal Processing: Image Communication*, 58, 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.07.006>.
- Li, B., He, J., Huang, J., & Shi, Y. Q., 2011. A survey on image steganography and steganalysis. *J. Inf. Hiding Multim. Signal Process.*, 2(2), 142-172.
- Liu, Y., Qu, X., & Xin, G., 2016. A ROI-based reversible data hiding scheme in encrypted medical images. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 39, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.05.008>.
- Lu, T. C., & Vo, T. N., 2020. Reversible steganography techniques: A survey. In *Digital Media Steganography* (pp. 189-213). Academic Press.
- Muhammad, K., Ahmad, J., Rehman, N. U., Jan, Z., & Sajjad, M., 2017. CISSKA-LSB: color image steganography using stego key-directed adaptive LSB substitution method. *Multimedia Tools and Applications*, 76(6), 8597-8626. <https://doi.org/10.1007/s11042-016-3383-5>.
- Muhammad, K., Sajjad, M., & Baik, S. W., 2016. Dual-level security based cyclic18 steganographic method and its application for secure transmission of keyframes during wireless capsule endoscopy. *Journal of medical systems*, 40(5), 114. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0473-x>.
- Navadiya, C., & Sanghani, N., 2021. Comparative Survey of Digital Image Steganography Spatial Domain Techniques. In *Data Science and Intelligent Applications* (pp. 491-497). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4474-3_54.
- Nguyen, T. D., Arch-Int, S., & Arch-Int, N., 2016. An adaptive multi bit-plane image steganography using block data-hiding. *Multimedia tools and applications*, 75(14), 8319-8345. <https://doi.org/10.1007/s11042-015-2752-9>.
- Pan, F., Li, J., & Yang, X., 2011. Image steganography method based on PVD and modulus function. In *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)* (pp. 282-284). IEEE.
- Pevny, T., Bas, P., & Fridrich, J., 2010. Steganalysis by subtractive pixel adjacency matrix. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5(2), 215-224. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2010.2045842>.
- Petitcolas, F. A., Anderson, R. J., & Kuhn, M. G., 1999. Information hiding-a survey. *Proceedings of the IEEE*, 87(7), 1062-1078. <https://doi.org/10.1109/5.771065>.
- Pradhan, A., Sahu, A. K., Swain, G., & Sekhar, K. R., 2016. Performance evaluation parameters of image steganography techniques. In *2016 International Conference on Research Advances in Integrated Navigation Systems (RAINS)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RAINS.2016.7764399>.
- Puteaux, P., Ong, S., Wong, K., & Puech, W. (2021). A survey of reversible data hiding in encrypted images–The first 12 years. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 77, 103085. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2021.103085>.
- Sahu, M., Padhy, N., Gantayat, S. S., & Sahu, A. K., 2021. Shadow image based reversible data hiding using addition and subtraction logic on the LSB planes. *Sensing and Imaging*, 22(1), 1-31. <https://doi.org/10.1007/s11220-020-00328-w>.
- Sahu, A. K., Swain, G., Sahu, M., & Hemalatha, J. (2021). Multi-directional block based PVD and modulus function image steganography to avoid FOBP and IEP. *Journal of Information Security and Applications*, 58, 102808. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.102808>.
- Sarreshtedari, S., & Akhaee, M. A., 2013. One-third probability embedding: a new ± 1 histogram compensating image least significant bit steganography scheme. *IET image processing*, 8(2), 78-89. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2013.0109>.
- Shivani, S., 2022. Verifiable medical images for E-healthcare: A novel watermarking approach using robust bit-wise association of self-mutating offsprings of pixels. *Microprocessors and Microsystems*, 104483. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104483>.
- Solak, S., & Altınışık, U., 2018. LSB Substitution and PVD performance analysis for image steganography. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(10), 1-4. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i10.14>.

- Solak, S., & Altınışık, U., 2019. A new approach for Steganography: Bit shifting operation of encrypted data in LSB (SED-LSB). *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12(1), 75-81. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.435437>.
- Solak, S., & Altınışık, U., 2019. Image steganography based on LSB substitution and encryption method: adaptive LSB+ 3. *Journal of Electronic Imaging*, 28(4), 043025. <https://doi.org/10.1117/1.JEI.28.4.043025>.
- Solak, S., 2020. High Embedding Capacity Data Hiding Technique Based on EMSD and LSB Substitution Algorithms. *IEEE Access*, 8, 166513-166524. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3023197>.
- Solak, S., & Altınışık, U., 2021. Image Steganography-Based GUI Design to Hide Agricultural Data. *Gazi University Journal of Science*, 34(3), 748-763. <https://doi.org/10.35378/gujs.703803>.
- Thambiraja, E., Ramesh, G., & Umarani, D. R., 2012. A survey on various most common encryption techniques. *International journal of advanced research in computer science and software engineering*, 2(7).
- Tuncer, T., & Sönmez, Y., 2019. A Novel Data Hiding Method based on Edge Detection and 2k Correction with High Payload and High Visual Quality. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(3), 311-318. <https://doi.org/10.17694/bajece.573514>.
- Wan, W., Wang, J., Zhang, Y., Li, J., Yu, H., & Sun, J., 2022. A Comprehensive Survey on Robust Image Watermarking. *Neurocomputing*. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.02.083>.
- Wang, S., Zheng, D., Zhao, J., Tam, W. J., & Speranza, F., 2006. An image quality evaluation method based on digital watermarking. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 17(1), 98-105. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2006.887086>.
- Wang, Z. H., Chang, C. C., & Li, M. C., 2012. Optimizing least-significant-bit substitution using cat swarm optimization strategy. *Information Sciences*, 192, 98-108. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.011>.
- Wu, D. C., & Tsai, W. H., 2003. A steganographic method for images by pixel-value differencing. *Pattern recognition letters*, 24(9-10), 1613-1626. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(02\)00402-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(02)00402-6).
- Wu, H. C., Wu, N. I., Tsai, C. S., & Hwang, M. S., 2005. Image steganographic scheme based on pixel-value differencing and LSB replacement methods. *IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 152(5), 611-615. <https://doi.org/10.1049/ip-vis:20059022>.
- Xu, W. L., Chang, C. C., Chen, T. S., & Wang, L. M., 2016. An improved least-significant-bit substitution method using the modulo three strategy. *Displays*, 42, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2016.03.002>.
- Yang, H., Sun, X., & Sun, G., 2009. A high-capacity image data hiding scheme using adaptive LSB substitution. *Radioengineering*, 18(4), 509-516.
- Yang, C. H., Wang, S. J., & Weng, C. Y., 2010. Capacity-raising steganography using multi-pixel differencing and pixel-value shifting operations. *Fundamenta Informaticae*, 98(2-3), 321-336. <https://doi.org/10.3233/FI-2010-229>.
- Yang, C. H., Weng, C. Y., Tso, H. K., & Wang, S. J., 2011. A data hiding scheme using the varieties of pixel-value differencing in multimedia images. *Journal of Systems and Software*, 84(4), 669-678. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2010.11.889>.
- Zhang, X., & Wang, S., 2006. Efficient steganographic embedding by exploiting modification direction. *IEEE Communications Letters*, 10(11), 781-783. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2006.060863>.



CREATING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS) DATABASE WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) IN ARCHAEOLOGICAL AREAS; THE CASE OF ANEMURIUM ANCIENT CITY

Fanise USLU KOÇYİĞİT*, Süleyman Savaş DURDURAN, Tansu ALKAN

Necmettin Erbakan University, Engineering Faculty, Department of Geomatic Engineering, Konya, Türkiye

Keywords

GIS,
Mapping,
UAV,
Archaeology,
Database.

Abstract

The use of Geographic Information Systems (GIS), which have developed rapidly in recent years, in archaeological sites provides a basis for many studies. It is important to produce the permanent records of archaeological sites for the management cultural heritage. While many methods are used to produce permanent records and boundaries, photogrammetry and remote sensing techniques have begun to be preferred within the process by considering their advantages such as low cost, saving time, and completing studies on cultural heritage without contact. In this study, a Digital Elevation Model (DEM) and Orthomosaic were produced using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Anemurium Ancient City located in Mersin province. These data were used as a basis, and a relational database was created for GIS. Thus, an inventory study of all stone buildings and roads in the area was conducted, and the data sets were created according to the quality of the remains. Furthermore, the stone buildings in the ancient city were named on an address basis, and a relational database including the boundaries of the country, province, district, and ancient city area was created. This study serves as a guide for studies to be conducted on the management of archaeological sites.

ARKEOLOJİK ALANLARDA İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) KULLANARAK COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS) İÇİN VERİ TABANI OLUŞTURMA: ANEMURIUM ANTİK KENT ÖRNEĞİ

Anahtar Kelimeler

CBS,
Haritalama,
İHA,
Arkeoloji,
Veritabanı.

Öz

Son yıllarda hızla gelişen Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) arkeolojik alanlarda kullanılması birçok çalışmaya altlık oluşturmaktadır. Arkeolojik alanların kalıcı kayıtlarının üretilmesi, kültürel mirasın yönetimi açısından önemlidir. Kalıcı kayıtların ve sınırların üretilmesi için birçok yöntem kullanılmakla birlikte süreç içerisinde fotogrametri ve uzaktan algılama teknikleri; düşük maliyetli olması, zamandan tasarruf edilmesi ve kültür mirasları üzerinde yapılan çalışmaların temas olmaksızın tamamlanması gibi olumlu getirileri göz önünde bulundurularak tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, Mersin ili Anamur ilçesinde bulunan Anemurium Antik Kent alanında İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanarak Sayısal Yükseklik Modeli ve Ortomozaik üretilmiştir. Bu veriler altlık olarak kullanılmış ve CBS için ilişkisel veri tabanı oluşturulmuştur. Böylelikle alanda bulunan tüm taş yapıların, yolların envanter çalışması yapılmış, kalıntıların niteliğine göre veri setleri oluşturulmuş, buna ek olarak antik kent alanında taş yapılar için adres niteliğinde adlandırma yapılmış ve ülke, il, ilçe, antik kent alanı sınırlarını da kapsayan ilişkisel veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çalışma, arkeolojik alanların yönetimine ilişkin yapılacak çalışmalar için rehber niteliğindedir.

Alıntı / Cite

Uslu Koçyiğit, F., Durduran, S. S., Alkan, T., (2022). Creating Geographical Information System (GIS) Database With Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Archaeological Areas; The Case of Anemurium Ancient City, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 831-843.

* İlgili yazar / Corresponding author: uslu.fanise@gmail.com, +90-545-360-9309

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
F. Uslu Koçyiğit, 0000-0002-6645-2064	Başvuru Tarihi / Submission Date	23.09.2021
S. S. Durduran, 0000-0003-0509-4037	Revizyon Tarihi / Revision Date	05.01.2022
T. Alkan, 0000-0001-8293-2765	Kabul Tarihi / Accepted Date	28.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Introduction

Archeology is a science that studies ancient cultures and civilizations and their material remains that have reached the present day and attempts to reconstruct them. Since many years have passed over the remains of ancient cultures and these remains are generally discovered late, excavations are usually carried out to unearth them. The excavation technique, a method that is quite complicated and requires accuracy, constitutes the basic study of archeology. The science of archeology, the main field of study of which is the excavation technique, is also defined as the science of excavation. Along with the fact that it is called the science of excavation, the science of archeology is not just about conducting various studies by unearthing material cultural assets by the excavation method (URL). Archeology is inseparably linked with history and can gain value only when addressed within the framework of history (Sevin, 1999). Thus, it becomes possible for nations and communities to get information about the past and make comments in the political, social, and economic fields.

Cultural and archaeological heritage should have a realistic and accurate appearance for the investigation, interpretation, and management of cultural heritage. It is important to document and conserve ancient roads, cities and stone buildings built with stone materials and bearing the traces of world civilizations. The creation of a sustainable database for GIS by producing digital bases using UAV since it produces 3D data and orthophoto images with low cost and high accuracy provides significant advantages to manage/conservate cultural heritage sites, to conduct scientific studies, and make them suitable for tourism (Tercan, 2017; Avdan, 2014). The rapid and accurate creation of a geographic database for the conservation, planning, documentation, and recording of archaeological sites will be an important step for our country and the world. There are many methods that can be preferred to create a database for GIS in mapping activities carried out in ancient city areas with historical artifacts (Girişken, 2010). Among these methods, the use of a mapping method with UAV provides significant advantages in terms of the conservation of archaeological sites by preventing close contact with them, fast and repetitive data production, obtaining high-resolution images, and low cost (Bendea, 2007; Türk, 2018).

GIS is a computerized mapping system based on the digital processing of spatial data and its attribute information, obtaining, querying, organizing, and analyzing new products using the data entered into the digital media, and revealing their interrelations, and the visualization of the obtained results in the form of graphs, maps, and 3D images (Incekara, 2009). Although GIS continues to work with many techniques, with the integration of remote sensing techniques, the usage areas of these systems have increased, and they have begun to be used for different purposes in many areas. Issues such as recording stone buildings in archaeological sites, performing various analyses, determining the boundaries of these areas, doing planning, and conservation and management of the buildings in the site are possible through GIS. The selection of the right method from among the measurement methods used for GIS in archaeological sites will provide many benefits concerning the production of spatial data and the management of the data produced by considering the parameters such as speed, accuracy, non-contact, and cost. Thus, it becomes possible to model material cultural heritage at the desired level. In a modeling study aimed at providing data as needed and in accordance with the aim of the study, when project planning and the integration of data obtained through different methods are ensured, the targeted outcome will be achieved in the most accurate way (Voltolini *et al.*, 2007).

UAV is defined as the whole of integrated systems consisting of three components, including a pilotless aircraft system, remote control system, and command-control communication medium between them. UAV consists of communication, software and equipment for planning, flight and management purposes (To-run, 2017). It is known that it is possible to perform airborne measurements, DEM creation and orthophoto production studies with 3D data of the land by the UAV photogrammetry method (Cryderman *et al.*, 2015, Draeyer *et al.*, 2014, Torun 2016). In order for stone buildings in archaeological sites to reach the present day without any damage and thus to make correct determinations about the past, attention is paid to ensure that any work done in the area is fast and accurate without or with minimal contact with stone buildings. Considering parameters such as speed, accuracy and non-contact operation, the UAV technique is a method that should be preferred while creating a database for GIS in archaeological sites.

In the literature, in the studies conducted in archaeological sites, the required products were obtained using UAV and GIS methods, and the targeted outcomes were achieved. In the study conducted by Ulvi *et al.* (2020), it was concluded that keeping the digital data of historical artifacts in the digital environment will provide benefit and

convenience in the studies of various disciplines and in their transfer to future generations. Türk (2018) reported that one of the usage areas of UAV was the science of archeology and that the use of UAV in this area was highly important, and he indicated that useful studies could be conducted for many needs such as certification, recording, and introduction of cultural heritage. In his study, Tercan (2017) produced 731 high-resolution images of an ancient city and caravan road belonging to the Ottoman Empire period using UAV. He tested the accuracy of the UAV system by the conventional ground surveying method and concluded that UAV photogrammetry systems were an appropriate method to obtain detailed and accurate 3D data in the documentation of ancient cities and caravan roads. In his study, Kısağa (2016) created a base inventory that would help archaeological studies using GIS techniques to comment on issues such as the reasons for the settlers of the period to choose the area, for what purposes they were in this area, the surface model of the region and the relations of the settlers based on the topographic features of the study area, which included prehistoric and historic-period settlers. The maps visualized as a result of the analysis helped archaeologists to interpret the socio-cultural, economic, and demographic characteristics of the ancient city of Knidos. In their study, Güleç *et al.* (2015) developed a spatial database and user interface model by taking the historical settlement area and its buildings within the boundaries of Denizli province as an example with up-to-date software. The GIS model, which works over the web server, is obtained by making six different software technologies interactive with independent working principles and also provides all visitors who want to obtain information about historical settlements and archaeological buildings with information about where important settlements and buildings are located, how to reach these areas, their history, the relevant academic studies, and visual information. In their study, Liritzis *et al.*, (2015), conducted a detailed study on the use of digital technology in cultural heritage studies in the context of archaeological sciences and gathered the trends in this field under main headings. They explained one of the titles among these trends as "Remote Control Aircraft (drones)". In his study, Aria (2013) investigated the significant improvement of GIS in archaeological site studies in the last quarter-century and its effect on archaeological sites. He developed a database application for GIS and investigated its results. The aim here was to investigate the feasibility and effectiveness of geographic data sets using the existing technologies and archaeological data standards, to identify the barriers to their implementation, and to show a new path for GIS-driven innovation in this area. In his study, Girişken (2010) examined the historical development of legislation on the importance and conservation of cultural heritage and conducted research on the deficiencies in the legislation in our country and the destruction caused by urbanization processes in archaeological sites. Furthermore, the researcher evaluated the models for the importance of GIS in archaeological studies and planning stages, the geodetic measurement techniques used and their benefits, and the management of urban archaeological heritage in different countries. In his study, Levent (2009) performed the systematic collection, archiving, management, and analysis of geographical objects with a geographic data set that was created with GIS and free of unnecessary information regarding data attributes and in which the necessary rules and restrictions were determined. In their study, Conolly and Lake (2006) investigated the usability of GIS in archeology based on the fact that GIS is a powerful technology that offers analytical possibilities to investigate the spatial organization of human cultural and environmental relations. Nevertheless, they provided some real-life examples of how GIS could be used to increase the understanding of the human culture within a spatial framework, the presence of a wide range of ways, and how GIS could and did work in archeology.

In this study, Ground Control Points (GCPs) were determined in an archaeological site by the GNSS technique, a flight was performed with UAV, and an orthophoto of the area was created. First, the geographical equivalents of stone buildings were formed as vectors by using this orthophoto as a basis, and the data on the road and boundary in the area were geographically created from the orthophoto, and attribute information was added. Data sets were created for the whole digitized details, and a relationship was established between them. Furthermore, a unique value was assigned on an address basis for each stone building. The studies were carried out based on a relational database, and accordingly, the database was designed. Thus, a geographic database was created using the orthophoto produced by a fast, accurate, and contactless method. In conclusion, the stone building inventory in the archaeological site, the boundaries of the road, country/province/district and ancient city were created and addressed, and it was aimed to use the database and orthophoto produced in this study for the documentation, recording, conservation, management, monitoring, and planning of this area.

2. Material and Method

Anemurium Ancient City, with an area of approximately 400 000 m² in the town of Ören in Anamur district of Mersin province, is located at a point where the southern and eastern slopes of Kargagedik Mountain meet the sea (Figure 1). The name of the city means 'windy nose' (Tekocak, 2018).

Although it is not certain by whom and when the city was founded, it is considered that the name of the city dates back to the Hittites. According to the available resources, Anemurium ancient city was first settled in the 4th century BC. In the 3rd century BC, some building remains were found with the settlement in the area where the

walls on the acropolis are located. In the 1st century BC, it became an important city in terms of trade due to its proximity to Cyprus. In the major earthquake that occurred in 580 AD, the city was seriously damaged, and the buildings were damaged. The churches and aqueducts that were started to be built in the last century were mostly damaged by this earthquake, and they were largely destroyed (Tekocak, 2018).



Figure 1. The Location of Anemurium Ancient City

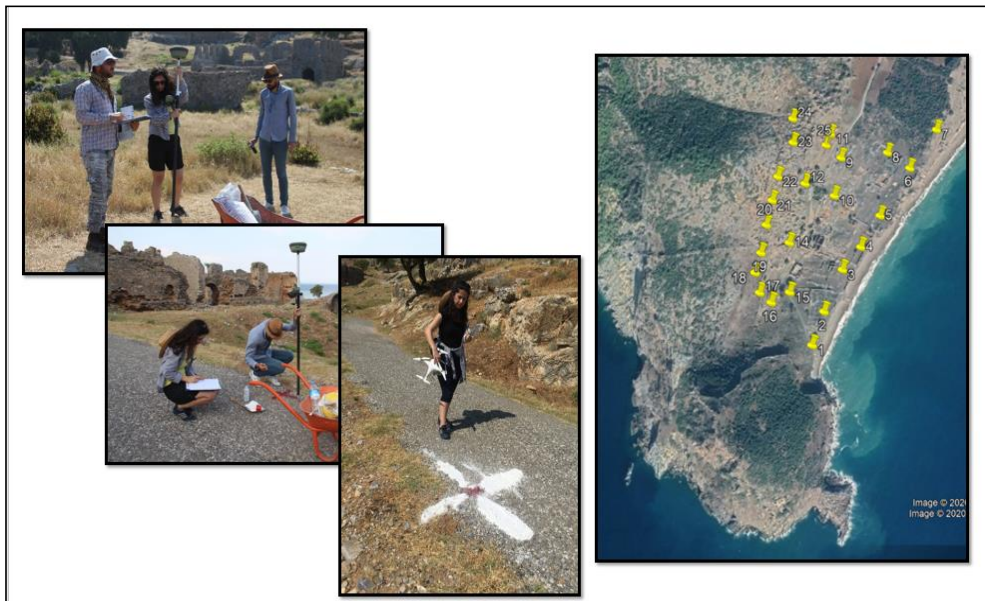
In this study, it was made possible to document the site, to conduct various studies/analyses by producing an orthophoto quickly and accurately and creating geographic data sets on this image as mentioned above, and to conserve, plan and monitor the archaeological site, and it was an important study for both Anatolian archeology and world archeology. In addition, Photogrammetric studies performed with the help of UAVs allow the documentation to be more comprehensive and realistic as the possibilities of taking photographs increase (Yakar,2017).

In the ancient city area, which is of great importance for the world and Anatolian archeology, a lot of equipment was used in field surveys. First, a mobile phone for camera purposes (mobile phone is also equipment used for the Pix4D Capture application required for the management of the UAV), Phantom-3 UAV through which we performed the flight, 1 SATLAB SL500 GNSS and 1 range pole for GCP measurement, and lime and spray to mark the GCP were used to photograph the structures and general view in the area.

Before the flights in the field, the GCP was established homogeneously in the ancient city area to accurately coordinate the DEM of the orthophoto image to be produced and the solid model. The distribution of these points was determined by the integration of the land environment and office environment using both the field map and satellite image during the field trip. The locations were selected by considering the flight altitude, ground sampling value, and therefore the scale of the map while determining the distributions of the points. During the field trip, 25 points were measured homogeneously in the ancient city with an area of 400 000 m². During the optimization, the points were established so that they would be visible on the image and their midpoints would be apparent. The measurement of the mentioned 25 points was completed by connecting to TUSAGA-Active stations with a SATLAB SL 500 GNSS instrument, and the points measured were marked with the help of lime and red spray. The same procedure was repeated for 25 points, and the values given in Table 1 were obtained as a result of the measurements (3rd International Terrestrial Reference Frame-96 (ITRF-96)). After completing the GCP measurements, the display of the points with known coordinates on the Google Earth satellite image in the office environment was useful for facilitating both the flight plan stage and the post-flight office work stage (Figure 2).

Table 1. Location Information of GCP

Date/Time	Point	Right (m)	Up(m)	Elevation Height (m)	Latitude	Longitude
2019-06-29-12:45:22	1	482280,978	3987833,257	33,781	36°01'13.73667"	32°48'12.34324"
2019-06-29-12:51:34	2	482298,893	3987915,12	32,886	36°01'16.39383"	32°48'13.05212"
2019-06-29-12:56:36	3	482331,332	3988020,135	34,199	36°01'19.80307"	32°48'14.33923"
2019-06-29-13:01:35	4	482369,874	3988081,002	32,645	36°01'21.78033"	32°48'15.87366"
2019-06-29-13:05:48	5	482409,621	3988163,924	35,038	36°01'24.47328"	32°48'17.45445"
2019-06-29-13:10:28	6	482472,604	3988294,436	36,236	36°01'28.71170"	32°48'19.95951"
2019-06-29-13:13:54	7	482532,313	3988404,613	36,398	36°01'32.29014"	32°48'22.33555"
2019-06-29-13:22:21	8	482409,835	3988331,667	35,729	36°01'29.91554"	32°48'17.44959"
2019-06-29-13:27:06	9	482291,769	3988304,202	43,61	36°01'29.01676"	32°48'12.73626"
2019-06-29-13:30:46	10	482287,697	3988202,784	42,567	36°01'25.72608"	32°48'12.58182"
2019-06-29-13:36:48	11	482258,143	3988361,907	52,827	36°01'30.88675"	32°48'11.38860"
2019-06-29-14:39:42	12	482209,536	3988225,923	48,716	36°01'26.47167"	32°48'09.45824"
2019-06-29-15:03:44	14	482191,075	3988073,044	44,521	36°01'21.51044"	32°48'08.73331"
2019-06-29-15:06:00	15	482208,133	3987953,848	36,226	36°01'17.64436"	32°48'09.42422"
2019-06-29-15:09:57	16	482168,909	3987923,229	44,735	36°01'16.64839"	32°48'07.86020"
2019-06-29-15:13:42	17	482139,52	3987941,545	54,07	36°01'17.24070"	32°48'06.68498"
2019-06-29-15:16:51	18	482121,676	3987987,547	58,353	36°01'18.73200"	32°48'05.96858"
2019-06-29-15:20:12	19	482127,884	3988037,514	57,58	36°01'20.35354"	32°48'06.21244"
2019-06-29-15:26:37	20	482132,552	3988105,166	65,837	36°01'22.54875"	32°48'06.39338"
2019-06-29-15:31:57	21	482137,579	3988168,146	65,889	36°01'24.59244"	32°48'06.58904"
2019-06-29-15:35:54	22	482143,238	3988229,354	69,001	36°01'26.57863"	32°48'06.81008"
2019-06-29-15:39:36	23	482168,908	3988322,013	70,662	36°01'29.58657"	32°48'07.82780"
2019-06-29-15:44:08	24	482159,777	3988383,678	75,234	36°01'31.58662"	32°48'07.45812"
2019-06-29-16:05:43	25	482251	3988329,807	54,892	36°01'29.84484"	32°48'11.10589"

**Figure 2.** Measurement of GCPs And Their Location on Google Earth

After determining the GCP and completing the measurements in the field, a total of 7 flights were performed using the Phantom-3 UAV with a weight of 1380 grams, an image size of 3000*4000, a flight time of approximately 15-20 minutes and a camera resolution of 12 megapixels. With 7 flights performed in the ancient city with an area of approximately 400 000 m², it was determined that the transverse overlap rate was 80% and the longitudinal overlap rate was 60%, flights were performed for 39 minutes, and as a result of this study, a total of 649 aerial photographs were obtained. During the study, the flight plan was made, as shown in Figure 3, and the flights, including the information presented in Table 2, were completed.

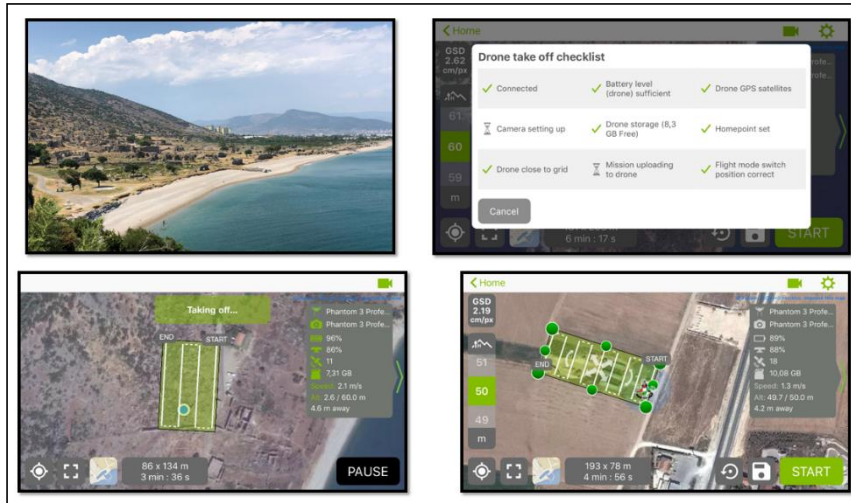


Figure 3. Flight Plan

Table 2. Flight Information

Flight	Facade Length	Flight Area (m ²)	Flight Time (minute)	Flight Height (m)	Number of Satellite	Transverse Overlap Rate	Longitudinal Overlap Rate
1	372*431	160.332	9	60	18	60	80
2	225*328	73.800	7	60	16	60	80
3	159*168	26.712	3	60	15	60	80
4	181*293	53.033	6	60	14	60	80
5	243*332	80.676	7	60	15	60	80
6	86*134	11.524	3	60	11	60	80
7	85*178	15.130	4	60	12	60	80
TOTAL		421207 m ²	39 min.				

As a result of the flight studies, all aerial photographs were added to the application using the Agisoft PhotoScan software, and the photographs were combined. A sparse point cloud image consisting of approximately 300 000 points, a dense point cloud consisting of approximately 31 000 000 points, a 3D solid model consisting of 2 000 000 surfaces, DEM and orthomosaic images of 20 000*30 000 size were obtained from 649 aerial photographs of 3.51 GB using the virtual machine with a 32 GB Ram 12 Core virtual operating system Win 2012 r2 Data Center. The results of the study were examined, and as a result of the optimization, data with X, Y, Z positioning accuracy below 10 cm was produced, and it was considered to have a suitable accuracy for the study to be conducted (Figure 4, Figure 5). Furthermore, the resolution area was selected as "highest" in the Agisoft PhotoScan application in order to produce the highest quality orthomosaic image, which was intended to be used as a basis in the creation of a database, and accordingly, orthomosaic production progressed slower than low-resolution production. It took about 6-8 days, and photo combining, orthomosaic production, 3D solid model and DEM production were performed at once.

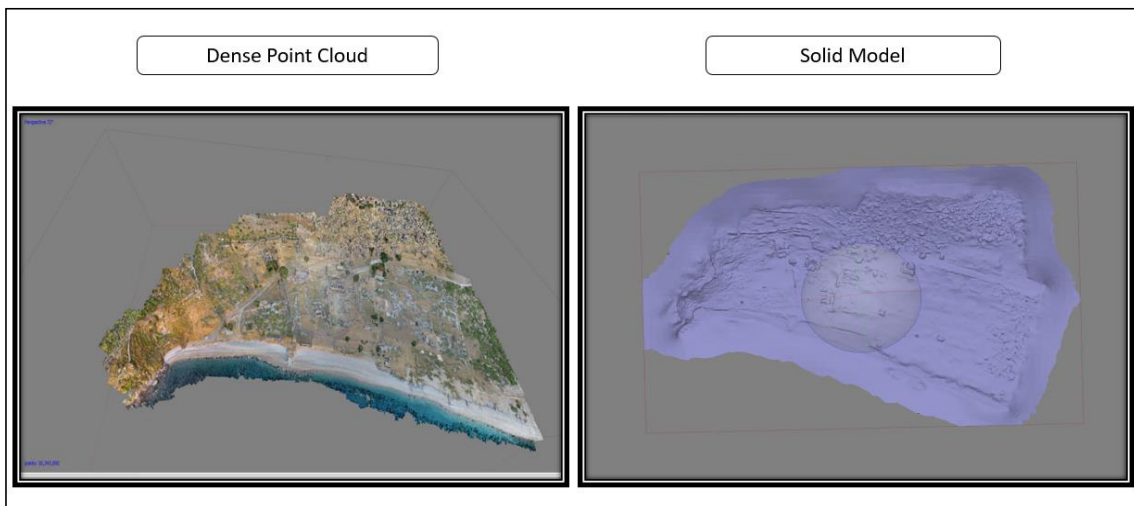


Figure 4. Dense Point Cloud and Solid Model

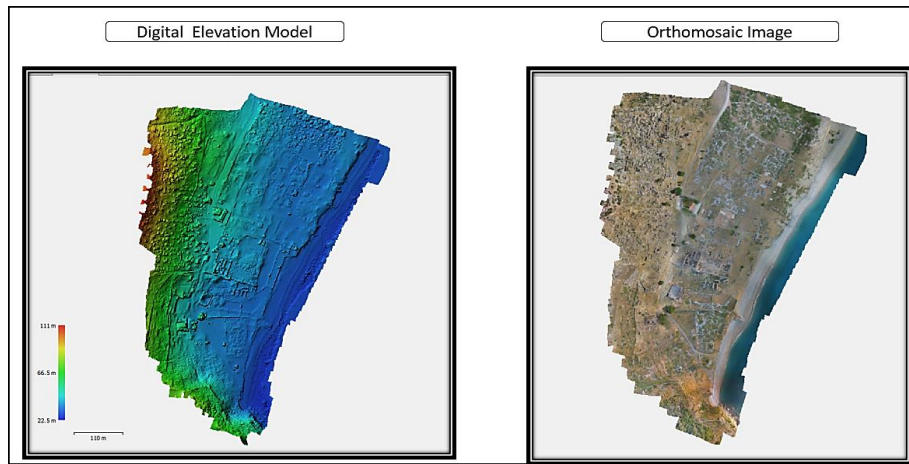


Figure 5. Digital Elevation Model and Orthomosaic Image

To produce a usable and sustainable database in the ancient city area, which was the main aim of this study, the basis to be used, in other words, the orthomosaic image produced was displayed in the ArcMap 10.4.1 software, and also, in this program, the stone buildings were digitized, and the database was designed. In addition to conducting a literature search for table data at the stage of preparing a relational geographic database, information such as the investigation of all stone buildings, the date of construction of the stone buildings and their intended use was obtained by physically existing in the field, and it was associated with the geographic data in the system. We were in Anemurium ancient city on 26.06.2019, both field investigations were conducted, and information on stone buildings was obtained together with the excavation team. To create the data sets, various sources were reviewed to record all components in the field such as cultural heritage, boundaries, buildings, and roads built later in the ancient city, and investigations were conducted during the time in the field.

Before the database design, the required information such as the diversity of buildings in the field, the boundaries of division into regions, the attributes of the stone buildings in the area, the province and district of the ancient city, and the orthomosaic image of the area was completed from the field, the general network or with the products produced. Thus, it will be useful to evaluate the available data and design a usable database that can be developed in the future. First, the data sets forming the basis of the database were created and collected under six headings, including Stone Building, Transportation, Urban Area, Boundary, Address and Post-Built Buildings (Figure 6), and classes were created as the subheadings of the data sets. The attribute information of these classes was kept in separate tables, and it was ensured that geographic data and verbal information could be displayed simultaneously. Depending on the suitability of the areas where different information belonging to each class would be stored, while some of them were the areas with a "subset" and in which one of the subheadings added to the database design must be selected, some of them were the areas where information was entered manually based on the user's request. All stone buildings in the area with the cultural heritage property or that were built later and had no cultural heritage property were digitized and separated according to their class. The information on the country, province, and district of the ancient city was produced using ArcGIS application examples verbally and as vector and downloadable information on the website of the General Directorate of Mapping.

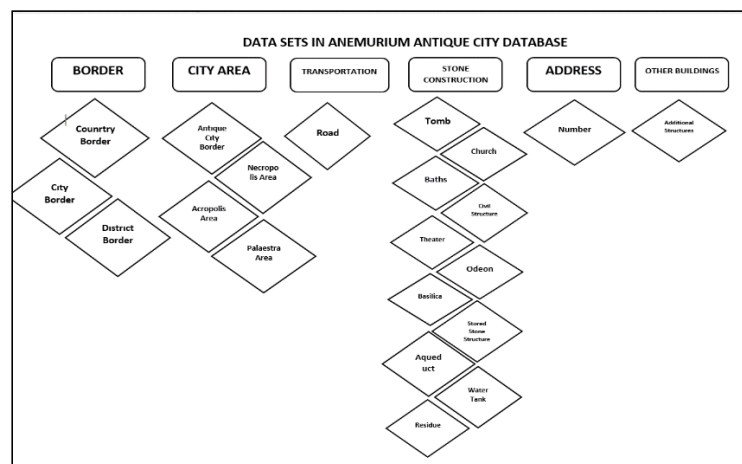


Figure 6. Data Sets in Anemurium Antique City Layers

While designing the database, it was designed based on a relational database, and it was primarily considered useful. The relationships were established as in the examples presented in Figure 7, such as country and province, province and district, district and ancient city, structure and number. For example, from the value in the 'Code' area of the country layer to the value in the 'CountryCode' area of the Province layer, it is observed to be associated. Likewise, if the 'Code' area value in the Ancient City Area layer and the 'AncientCity Code' value of the Necropolis area layer are the same, it indicates that it is associated and directly connected.

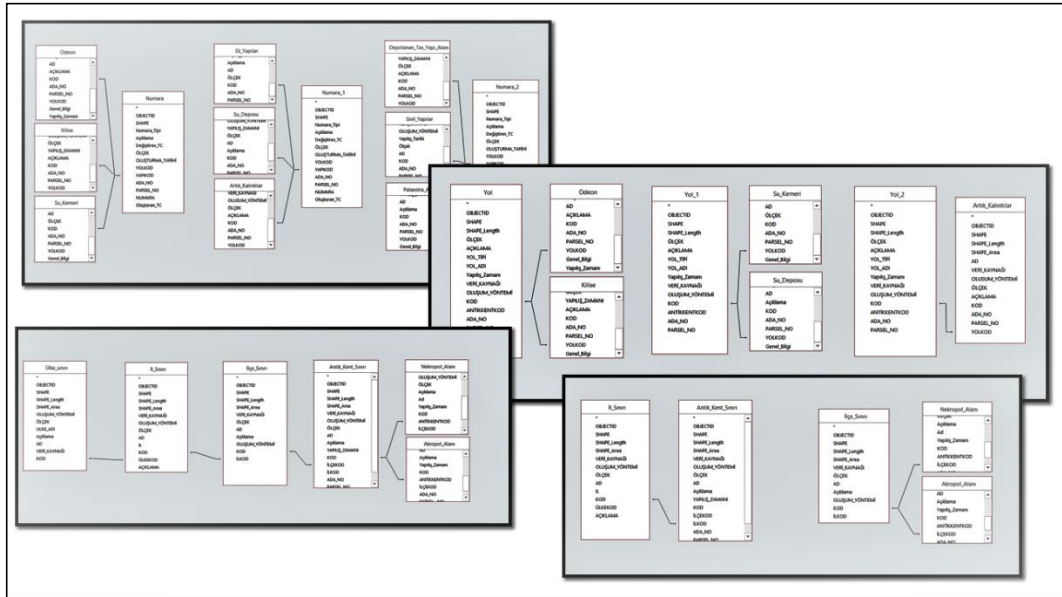


Figure 7. Examples of Inter-Class Relationships

Furthermore, one unique address value was given for each stone building and associated with the relevant building so that it would be on an address basis and the stone building investigated for any reason could be determined in the fastest way. These values were designed differently and uniquely based on the data classes. Information on the explanation of all layers, general information texts, on what scale they were produced, the date of construction, from where the data were produced, what the method of formation was, and island and parcel was entered manually. However, in the ancient city area, each of the following areas:

1. Data Source
2. Method
3. Scale
4. Type of Church
5. Type of Number
6. Type of Turkish Bath
7. Type of Area (For additional building layer)
8. Type of Road

has unique subsets, and the user only has to choose one of these subsets (Figure 8). The names, codes, and subheadings of the areas with subsets are presented in Table 3.



Figure 8. Examples of The Areas With a Subset

Table 3. Areas Including Subsets

Code	Data Source	Method	Scale	Church Type	Number Type	Bath Type	Area Type	Road Type
1	Data Received from General Directorate of Mapping	Digitizing from Orthophoto	1/100	Treasure Church	Bath Entrance	Great Bath	Area to Stay	Vehicle Road
2	Data Taken from Satellite Image	Digitizing from Google Satellite Image	1/200	Aposteles Church	Church Entrance	Small Bath	Cafe / Restaurant	Sidewalk
3	Data Taken from the Produced Orthophoto	Digitizing from Bing Satellite Image	1/300	Necropolis Church	Civil Structure Entrance	Public Bath	Car park	
4	Data Received from Authorized Authority	Digitization from Orthophoto Produced (27.06.2019)	1/500	Church III 10 C	Theater Entrance	II 11 II Bath	Fountain	
5	Data Collected Directly from the Field	Production with GPS Technique	1/700		Water Tank Entrance	III 5 Baths	Garden	
6	Other	Free Production	1/800		Grave Entrance		Other	
7		Other	1/1000		Odeon Entrance			
8			1/1500		Basilica Entrance			
9			1/2000		Palaestra Entrance			
10					Other			

All details such as country, province, district, ancient city, Acropolis Area, Necropolis Area, Turkish Bath, Church, Odeon, Basilica, Theater, water channels, and water reservoir were produced as shown in Figure 9 and Figure 10.

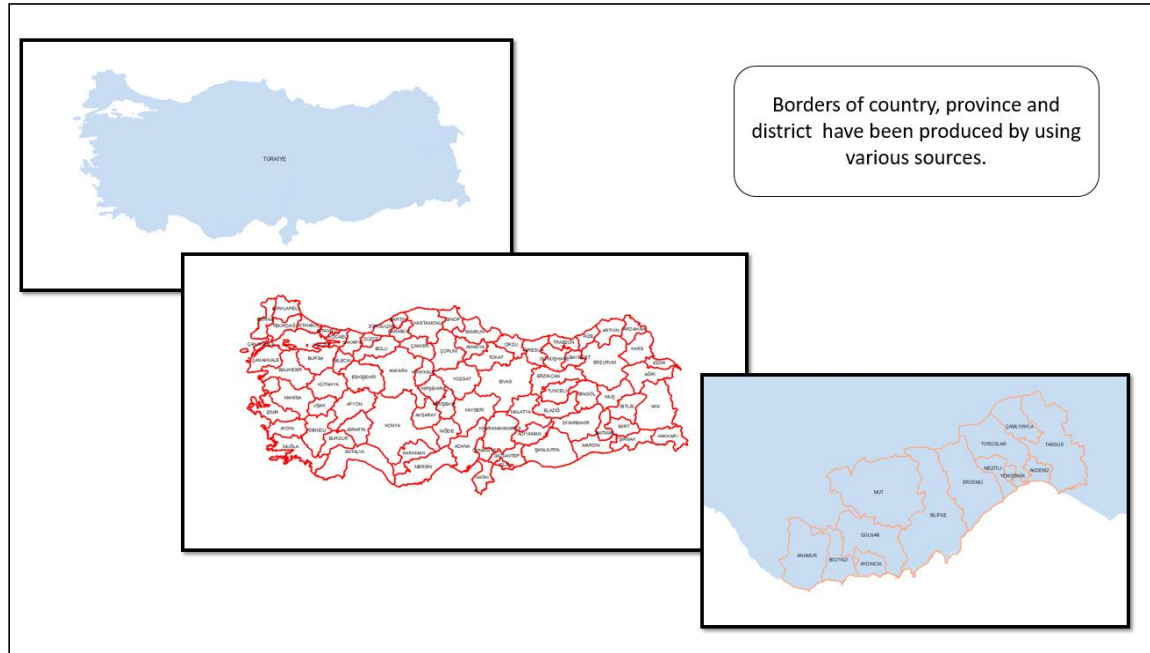


Figure 9. Creation Of Country, Province, And District Boundaries

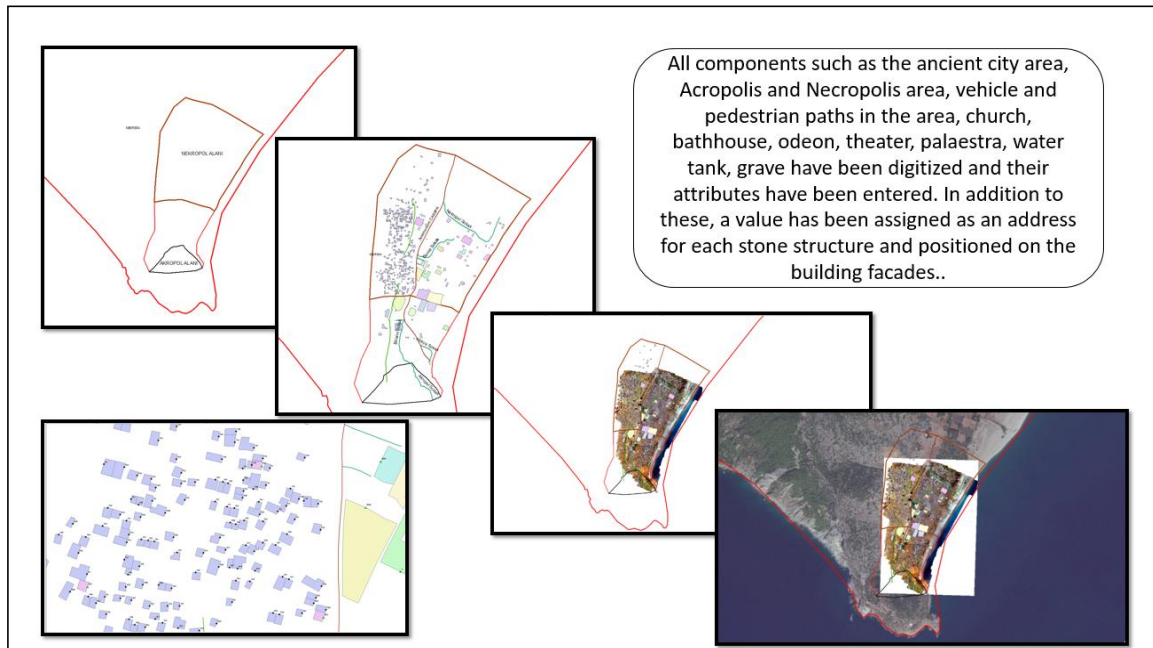


Figure 10. Digitization of All Data in The Ancient City Area

3. Result and Discussion

As a result of the application and literature search, it has been understood that UAV platforms are now a source for the studies such as inspection, surveillance, mapping, recording, and 3D modeling and can also be used in archaeological sites. It has been understood that the recording of cultural heritage in archaeological sites and turning the recorded heritage into a sustainable system will be beneficial for many situations such as preserving the history that sheds light on the future, transferring it to the future, contributing to tourism, and creating a basis for other archaeological studies.

In Anemurium Ancient City, all cultural heritage and non-cultural heritage stone buildings in the ancient city were digitized, and data sets were created for this purpose. The subsets determined according to the needs, fitted values on an address basis were assigned for each layer produced, and the system was ensured to be utilizable. Within the scope of the study, 1 country, 81 provinces, 13 districts of Mersin province, 1 ancient city area, 1 Necropolis Area, 1 Acropolis Area, 10 roads, 383 tombs, 38 residual remains, 14 stored stone buildings, 5 Turkish baths and 5 additional buildings, 4 churches, 3 civil buildings, 2 aqueducts, 1 theater, basilica, odeon, water tank, and

palaestra area, and 457 numbers on an address basis were created (Table 4). The values on an address basis for each data set were named with a certain harmony within themselves, and the system was ensured to be organized and easily detectable.

Table 4. All Layers Created For The Ancient City Area, Their Numbers And Production Methods

Layers	Number	Description
Country	1	The country border has been produced by using the country border, which can be downloaded from General Directorate of Map (GDM), and the ArcGIS training set applications.
Province	81	81 provincial borders were produced by using the provincial border, which can be downloaded from GDM, and the ArcGIS training set applications.
District	13	By using the district border that can be downloaded from GDM and ArcGIS training set applications, 13 district borders of Mersin were produced.
Ancient City Area	1	Anemurium Ancient City Area (current border) was created by using the produced orthomosaic data and Bing image.
Necropol Area	1	Necropol Area was created by using the produced orthomosaic data and Bing image.
Acropol Field	1	Acropol Area was created by using the produced orthomosaic data and Bing image.
Road	10	Road data (pedestrian / vehicle) was produced by using the produced orthomosaic data.
Tomb	383	By using the orthomosaic data produced, the grave data in the Necropolis area were produced.
No Longer	38	By using the orthomosaic data produced, the residual residue (stone structures that are the remains of other structures and have no connection with the residue) data were produced.
Stored Stone Structure	14	Using the produced orthomosaic data, the Stored Stone Structure (small areas where the stones from the renewal and cleaning process are collected) data were produced.
Bath	5	Using the produced orthomosaic data, the data of the baths in the area were produced.
Additional Structure	5	Using the orthomosaic data produced, the data of the Additional Structures (buildings built later in the Ancient City area and without historical value) were produced.
The Church	4	By using the orthomosaic data produced, 4 types of church data in the area were produced.
Civil Structure	3	Using the orthomosaic data produced, the Civil Structure data in the area were created.
Aqueduct	2	By using the orthomosaic data produced, Aqueduct data were created in the form of 2 different pieces in the area.
Theater	1	Using the orthomosaic data produced, Theater data in the area was created.
Odeon	1	By using the orthomosaic data produced, Odeon data in the field was created.
Basilica	1	Using the orthomosaic data produced, the Basilica data in the area was created.
Water Tank	1	Using the orthomosaic data produced, the Water Tank data in the area was created.
Palaestra Area	1	Palaestra Area data in the area was created by using the produced orthomosaic data.
Number	457	As an address for all stone structures created, each layer has a different design and a number was created on the facade of the building.

In this study, both fast and low-cost orthophoto production was provided with the help of UAV in the ancient city area, and a relational database was created for GIS by using the produced image and digitizing it. Thus, it was ensured that the ancient city area was recorded, conserved, planned, and made suitable for tourism, its address was defined, and it provided a basis for many studies. When the data obtained as a result of the study in which a database for GIS was created using UAV in the archaeological site were examined by considering parameters such as speed, time, cost, sustainability and accuracy, it was found that they would provide significant advantages to documentation, recording, conservation, tourism, tracking, and detection studies in archaeological sites. It was revealed that it was highly important to use GIS in order to ensure the correct transfer of cultural heritage from the past to the next generations by working in harmony with technology and without deterioration and the geographic/verbal information, and to benefit from UAVs by considering the contactless, low cost, accuracy, and speed criteria in the creation of the system. Considering that the study conducted in Anemurium Ancient City provides many advantages as mentioned above, it was considered that its application in ancient city areas in our country and the world would be a useful study for Anatolian and world archeology.

As a result of the study, it was concluded that UAVs were usable tools for uncovering stone buildings due to their accurate coordinate information and were suitable platforms for producing the necessary basic data in the documentation of material cultural assets. In this inventory and database design study conducted in the archaeological site with UAV, an orthomosaic image of less than 10 cm of the X, Y, Z positioning accuracy was obtained by flying from a height of 60 m, and a digital basis was created for many studies, and it was considered that it would be beneficial to conduct similar mapping studies in all archaeological sites in the future and that different data production methods could be used in case of detailed analysis for each stone building separately. It would be correct to list the gains obtained by creating a database for GIS with UAV in archaeological sites as follows.

- It was found that fast, contactless, and sensitive data can be produced with UAV.
- The inventory study of all material cultural assets was conducted.
- It was ensured that the most important parameters for archaeological sites were recorded, conserved, and monitored.
- The production and archiving of all components of the area were ensured.
- A database was created in which the analysis needed on the area could be performed.
- Digital data were produced as a basis for management and planning that would be used primarily for contribution to tourism and in many areas.
- The easy availability and monitoring of stone buildings were achieved by performing addressing designed in specific standards for each class.
- The data and database suitable for studies to be carried out to prevent historical artifacts smuggling were created.

4. Conclusion

In conclusion, after the field and office work, the orthomosaic image of Anemurium Ancient City with less than 10 cm of the X, Y, Z positioning accuracy was obtained by flying from a height of 60 m, DEM, 3D images were produced with the help of UAV, and a relational database was created using these data as a basis in determining the data sets created for geographic information systems and in digitizing processes. Detectability and traceability were made possible by assigning unique values on an address basis to this database. The use of bases produced contactless, low-cost and rapidly with UAV, and recording all cultural heritage in the area and determining the boundaries by creating a relational database were considered important steps for Anatolian and world archeology.

Acknowledgement

We would especially like to thank the personnel of the Prof. Mehmet Tekocak and excavation team for their support and technical cooperation.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Arias, V., 2013. Application of GIS and Spatial Data Modeling to Archaeology: A Case Study in the American South-west. University of New Mexico UNM Digital Repository, New Mexico.
- Avdan, U., Gülşen, F. F., Ergincan, F., Çömert, R., 2014. Arkeolojik Alanlarda Taş Yapılarının Çıkarılmasında İnsansız Hava Araçlarının Kullanılması (Anavarza örneği). HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim 2014, Hitit Üniversitesi, Çorum.
- Bendea, H., Chiabrando, F., Tonolo, F.G., Marenchinoa, D., 2007. Mapping of Archaeological Areas Using a Low-Cost UAV the Augusta Bagiennorum Test Site. XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, 1-6.
- Conolly, J., Lake, M., 2006. Geographic Information Systems in Archaeology, Putting GIS to Work in Archaeology, Cambridge University Press, Cambridge, 33-50.
- Cryderman, C, Mah, S.B., Shufletoski, A., 2014. Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations, *Geomatica*, 68 (4), 309-317.
- Draeyer, B., Strecha, C., 2014. White paper: How Accurate are UAV Surveying Methods? Pix4D White paper, February.
- Girişken, M. U., 2010. Türkiye'de Kültürel Mirasın Korunmasında Yaşanan Sorunlar ve Jeodezik Yaklaşımlar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Türkiye.
- Güleç, Ö., Tokat, S., Akyol, E., Söğüt, B., Alkan, M., 2015. Tarihi Yerleşim ve Arkeolojik Yapı Bilgi Sistemi: Denizli İli Örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 12-20.
- İncekara, S., Karakuyu, M., Karaburun, A., 2009. Ortaöğretim Coğrafya Derslerinde Yapararak Öğrenmeye Bir Örnek: Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Proje Temelli Öğrenimde Kullanılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (30), 305-322.

- Kısağa, M. G., 2016. Arkeolojik Uygulamalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yoluyla Mekana Yönelik Analizler: Knidos Arkeolojik Alan Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye.
- Levent, M. A., 2009. Arkeolojik Araştırmalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Veritabanı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Liritzis, I., Al-Otaibi, F.M., Volonakis, P., Drivaliari, A., 2015. Digital Technologies and Trends in Cultural Heritage. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 15 (3), 313-332.
- Sevin, V., 1999. Arkeoloji Bilimi, Tanım, Çalışma Alanı ve Yöntemleri, Temel Kavramları. Arkeolojik Kazı Sistemi El Kitabı, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- Tekocak, M., 2019. Akdeniz'de Bir Liman Kenti: Anemurium. *Selçuk Bakış Dergisi*, 48, 65-76.
- Tercan, E., 2017. İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhacılar Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 5 (3), 633-642.
- Torun, A., 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü Ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.
- Türk, T., 2018. İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri ve Arkeolojik Alanlarda Gerçekleştirilen Çalışmalar. Arkeolojik Çalışmalarda Harita ve Geoinformasyon Teknolojilerinin Kullanımı Semineri, Ekim-2018, Aydın.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A., Kaya, Y., 2020. İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3B Modelinin ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5 (1), 19-26.
- URL: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/6888/mod_resource/content/2/Konu%202.pdf. (Date accessed: 01.12.2020)
- Voltolini, F., Rizzi, A., Remondino, F., Girardi, S., Gonzo, L., 2007. Integration of Non-Invasive Techniques for Documentation and Preservation of Complex Architectures and Artworks. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/W47).
- Yakar, M., Mirdan, Ö., 2017. Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı ile Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Journal of Geomatics*, 2 (3), 118-125.



GÖRÜNTÜ FİLTRELEME İLE DENETİMSİZ RETİNA DAMAR BÖLÜTLENMESİ İÇİN PARAMETRE ENİYİLEŞTİRİLMESİ

Cem YAKUT¹, Sezer ULUKAYA^{2*}

¹ Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye

² Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Retina Görüntüsü,
Damar Örüntü Bölütlemesi,
Denetimsiz Görüntü İşleme.*

Öz

Göz hastalıklarının tespiti ve değerlendirilmesi için retina görüntüleri fundus adı verilen özelleştirilmiş bir kamera sistemi ile sayısal ortamda elde edilmektedir. Çeşitli gürültüler ve keskin olmayan zıtlık dolayısıyla gözdeki damarların uzmanlar tarafından tespiti zorlaşmakta ve bu durum uzmanların teşhis koymasını zorlaştırabilmektedir. Bu çalışmada, fundus görüntülerinden retina damar örgüsü bölütlenme başarısını arttırmak amacıyla denetimsiz görüntü işleme tabanlı matematiksel morfoloji ve Coyle filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yaklaşımları kullanılmıştır. Ek olarak, retina görüntüleri gürültü giderme ve zıtlık arttırmak için ön işlemden geçirilmiştir. Denetimsiz görüntü işleme tabanlı yaklaşımların başarısını arttırmak üzere parametre optimizasyonu yapılmıştır. Görüntü işlemede sıklıkla kullanılan kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) yönteminde renkli retina görüntüleri için en uygun kontrast üst sınır değeri araştırılmıştır. Önerilen yaklaşım, araştırmacıların erişimine açık DRIVE ve STARE veri kümelerinde test edilmiştir. Önceki denetimsiz öğrenme çalışmalarına kıyasla bazı metriklerde başabaş ve bazı metriklerde daha başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

PARAMETER OPTIMIZATION FOR UNSUPERVISED RETINAL VESSEL SEGMENTATION WITH IMAGE FILTERING

Keywords

*Retinal Image,
Vascular Pattern
Segmentation,
Unsupervised Image
Processing.*

Abstract

For the detection and evaluation of eye disorders, retinal pictures are obtained in a digital environment with a customized camera system called the fundus. Due to various noises and unsharp contrast, it is difficult to detect the vessels in the eye by specialists, and this can make it difficult for specialists to diagnose. In this study, unsupervised image processing-based mathematical morphology and Coyle filtering, and connected component analysis approaches were used to increase the success of retinal vascular segmentation from fundus images. In addition, retinal images are preprocessed for noise reduction and increased contrast. Parameter optimization was performed to increase the success of unsupervised image processing-based approaches. In the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) method, which is frequently used in image processing, the most appropriate upper limit value for contrast on color retinal images was investigated. The presented approach tested on the DRIVE and STARE datasets available to researchers. Compared to previous unsupervised learning studies, some metrics were at par with the literature and some metrics were more successful.

Alıntı / Cite

Yakut, C., Ulukaya, S., (2022). Görüntü Filtreleme İle Denetimsiz Retina Damar Bölütlenmesi İçin Parametre Eniyileştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 844-855.

* İlgili yazar / Corresponding author: sezerulukaya@trakya.edu.tr, +90-284-226-1217/1315

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C. Yakut, 0000-0002-4060-4867	Başvuru Tarihi / Submission Date	06.12.2021
S. Ulukaya, 0000-0003-0473-7547	Revizyon Tarihi / Revision Date	18.03.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Boş bir küre şekline sahip olan göz; sert, damar ve ağ tabakalarından oluşmak üzere 3 katmandan meydana gelir. Göz kapakları, kaslar, gözyaşı bezleri ve konjonktiva, gözü koruyan ve gözün fonksiyonlarını yerine getirmesine yardımcı olan yapılardır. Gözün arka kısmında yer alan, ışığı algılayan dokuya retina ismi verilir. Retina tabakası; fovea, optik disk ve makula gibi anatomik yapılardan ve retina damarlarından oluşmaktadır. Retina yüksek miktarda sinir içerir. Retinada; arteriyol ve venüller arasında kılcal (capillary) damarlar bulunur (Willoughby vd., 2010). Retinal venlerdeki basıncın göz içi basınçla aynı olduğu bilinmektedir. Retina damarlarında meydana gelebilecek bir hasar, retinal hastalıklar ile sonuçlanacağı için damar görüntüleme testleri tespit açısından oldukça önemlidirler.

Dijital retinografi, bir bilgisayar sistemi ve retina görüntüleme üzerine özelleştirilmiş bir kameradan (fundus) oluşmaktadır. Fundus kamera aracılığıyla retina tabakası görüntülenmektedir. Dijital retina taraması sonucunda elde edilen görüntü, retina kan damar örüntüsü, damar çapı, fovea ve makula genişlikleri, optik disk ile ilgili yapısal bilgileri sağlamaktadır. Yapısal bilgiler birçok retina hastalığının taranması, tespiti ve değerlendirilmesi açısından önemlidir (Akbar vd., 2019). Makula dejenerasyonu, retina yırtıkları, diyabetik retinopati, diyabetik glokom, makula deliği, retinal blastom, diyabetik makula ödemi retinada görülen başlıca hastalıklardır (Retinal Diseases, 2020). Kılcal damar ve optik sinirlerde meydana gelen hasarlar sonucu diyabetik retinopati, diyabetik makula ödemi ve glokom gibi retinal hastalıklar dijital retina taraması ile tespit ve birbirlerinden ayırt edilebilmektedirler (Santos vd., 2020).

Retina taraması sonucu elde edilen fundus görüntüleri görüntüye maruz kalabilmektedir, aydınlatma farklılıkları barındırabilmektedir ve düşük zıtlığa sahip olabilmektedir. Bu durum, retina hastalıklarının tespitinden önceki basamak olan hassas kılcal damarların tespitini zorlaştırmaktadır. Uzmanların teşhis koymasına yardımcı olan otomatik sistemlerin gözdeki damar yapısını ve anatomik yapıları yüksek hassasiyetle ayırabilmesi klinik açıdan ve yukarıda sıralanan zorluklardan dolayı çok önemlidir. Bu çalışmada, gözdeki damar yapısının otomatik ve denetimsiz olarak yüksek başarımla tespit edilebilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, renkli retina görüntülerinden, denetimsiz ön işleme yaklaşımları kullanılarak, retina damar bölütlenmesi algoritması önerilmiştir. Ayrıca, görüntü işlemede sıklıkla kullanılan kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) yönteminde renkli retina görüntüleri için en uygun kontrast üst sınır değeri araştırılmıştır. Retina damar bölütlenmesi için tasarlanan Coye filtreleme yönteminin başarısını arttırmak üzere Coye filtrelemenin bağlantılı bileşen analizi yaklaşımıyla birlikte kullanıldığında başarısı incelenmiştir. Wiener ve medyan filtrenin kullanımının sonuçları iyileştirme yönündeki etkisi de araştırılmıştır. Son olarak, matematiksel morfoloji ile Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yaklaşımlarının sonuçları en iyi parametrelere göre karşılaştırılmış ve ortaya çıkan başarımlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada sırasıyla Bölüm 2'de, literatürde yer alan retina damar yapısının denetimsiz bölütlenmesi üzerine yapılan çalışmalar aktarılmaktadır, Bölüm 3'te, kullanılan veri kümesi ve uygulanan yöntemlerin detayları açıklanmaktadır, Bölüm 4'te, yapılan deneysel testler ve elde edilen sonuçlar belirtilmiştir. Son olarak Bölüm 5'te sonuçların detaylı yorumlanmasına yer verilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde retina damar yapısının bölütlenmesi amacıyla denetimsiz çalışmalar ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar mevcuttur (Akbar vd., 2019; Li vd., 2021).

Zhang ve arkadaşları retina kan damarlarının doğru şekilde çıkarılması amacıyla Gauss türevi ile eşleştirme filtresi yöntemini önermiştir. Retina damarlarının eşik değeri eşleştirme filtresi ile bulunmaktadır. Birinci dereceden Gauss türevi yöntemi ile eşleştirme filtresinden kaçan birçok ince damar yapılarını da algılamaktadır. Bütünleştirilmiş yöntem resim başına 10 saniye gibi bir sürede retinadaki vasküler yapıları ayrıştırabilmektedir (Zhang vd., 2010).

You ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada ince ve kalın damarları aynı anda tespit edebilmek amacıyla radyal projeksiyon ve yönlendirilebilir dalgacık yöntemini kullanmışlardır. DRIVE veri kümesi üzerindeki test

sonucunda doğruluk % 94.34, STARE veri kümesindeki test sonucunda ise doğruluk % 94.97 olarak hesaplanmıştır (You vd., 2011).

Bir başka retina damar bölütlenmesi çalışmasında Gauss türevi filtresi ve morfolojik üst-hat operatörü yöntemleri birleştirilerek kullanılmıştır. Gri dönüşüm uygulanmış fundus görüntülerinden retina damarlarının sınırları Gauss türevi filtresi kullanılarak çıkarılmıştır. Morfolojik üst-hat operatörü kullanılarak damarların sürekliliği sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla; doğruluk, duyarlılık ve özgüllük parametrelerine göre değerlendirilmiştir. DRIVE veri kümesinde ortalama doğruluk % 94.30, ortalama duyarlılık % 71.52 ve ortalama özgüllük % 97.69 olarak bulunmuştur. STARE veri kümesinde ortalama doğruluk % 94.41, ortalama duyarlılık % 73.10 ve ortalama özgüllük % 96.81 bulunmuştur (Fraz vd., 2012).

Zhao ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada; ilk olarak fundus görüntülerine kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) ve 2B Gabor dalgacık dönüşümü yöntemini uygulayarak damarların kontrastını arttırmışlardır. Ardından görüntüyü yumuşatmak ve damar sınırlarını korumak için anizotropik filtre uygulanmıştır. Son olarak, damar örgüsünü elde etmek amacıyla bölge büyütme yöntemi ve aktif sınır modeli uygulanarak sonuçlar birleştirilmiştir. Oluşturulan sistem DRIVE ve STARE veri kümelerinde test edilmiş ve sırasıyla % 94.77 ve % 95.09 ortalama doğruluk değerlerine ulaşmıştır (Zhao vd., 2014).

Azzopardi ve diğerleri retina damar bölütlenmesi için Gauss filtresi ve kayan fark kombinasyonu yöntemi üzerine çalışmışlardır. Önerilen yöntem, ağırlıklı geometrik ortalama kullanarak damarların başlangıç ve bitiş noktalarını tespit edebilmektedir. Önerilen sistem duyarlılık ve özgüllük parametreleri kullanılarak raporlanmıştır. DRIVE veri kümesinde ortalama duyarlılık % 76.55 ve ortalama özgüllük % 97.04, STARE veri kümesinde ortalama duyarlılık % 77.16 ve ortalama özgüllük % 97.01 olarak bulunmuştur (Azzopardi vd., 2015).

Hassanien ve arkadaşları bulanık c-araçları ve yapay koloni optimizasyon yöntemlerini kullanarak retina damar bölütlenmesi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bulanık c-araçları ile ana damarları tespit etmişlerdir. Yapay koloni optimizasyonu yöntemi, önerilen yaklaşımda ince detayları saptamak için kullanılmıştır. DRIVE veri kümesinde yapılan deneyler sonucu ortalama doğruluk % 93.88, ortalama duyarlılık % 72.10 ve ortalama özgüllük % 97.10, STARE veri kümesinde ortalama doğruluk % 94.67, ortalama duyarlılık % 64.90 ve ortalama özgüllük % 98.20 değerlerine ulaşmıştır (Hassanien vd., 2015).

Bir diğer retina damar segmentasyonu çalışmasında ikinci dereceden türevlenebilir Gauss ve Hessian matris yöntemi kullanılmıştır. Önerdikleri yaklaşımda Hessian matris yöntemini kullanarak ince damarların bölütlenme başarıları arttırılmıştır. Yöntemin duyarlılık, özgüllük ve doğruluk sonuçlarını DRIVE veri kümesinde sırasıyla % 77.43, % 97.25 ve % 94.76, STARE veri kümesinde % 77.91, % 97.58 ve % 95.54 olarak elde etmişlerdir (Zhang vd., 2016).

Alhussein ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Hessian ve yoğunluk dönüşüm yöntemini birleştirerek kullanmışlardır. İlk olarak fundus görüntülerine KSAHE ve bağlamsal bölge optimizasyonu yöntemlerini uygulamışlardır. İşlenmiş fundus görüntülerindeki gürültüyü gidermek amacıyla morfolojik işlemler ve Wiener filtreme yapılmıştır. Fundus görüntülerindeki ince ve kalın damarları çıkarmak için ayrı ayrı Hessian matrisinden yararlanmışlardır. Kalın damarların daha iyi belirlenebilmesi amacıyla Otsu yöntemini kullanarak damar yapılarının yerel eşik değerlerini hesaplamışlardır. Hessian matris yöntemi sonucu elde edilen ince damar yapıları ile yerel eşikleme işlemi sonucu elde edilen kalın damar yapıları birleştirilmiştir. DRIVE veri kümesinde % 78.51 duyarlılık ve % 95.59 doğruluk sonuçlarına ulaşmışlardır (Alhussein vd., 2020).

Kumar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada retina görüntüsünden kan damarlarının tespiti için 2 boyutlu eşleme filtresi tekniğini kullanmışlardır. Damarları belirginleştirmek amacıyla KSAHE tekniğini tercih etmişlerdir. Damar olmayan yanlış sınıflandırmayı önlemek amacıyla da LoG (Laplace öncesi Gauss yumuşatma) filtresini uygulamışlardır. Böylece retina damarları, eşleme filtresi kullanılarak retina görüntülerinden ayrılmıştır. Önerilen yöntem, STARE veri kümesinde % 76.75 duyarlılık, % 97.99 özgüllük ve % 96.37 doğruluk sonucunu elde etmiştir (Kumar vd., 2016).

Bir diğer retina damar bölütlenmesi çalışmasında, Chebyshev Tip-1 işlemine dayalı 2 boyutlu eşleştirme filtresi önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, geleneksel eşleme filtrelerindeki Gauss olasılık dağılımının yerine kullanılmıştır. Damar - doku zıtlığını arttırmak amacıyla KSAHE yöntemi kullanılmıştır. Damar örgüsündeki gürültüyü azaltmak için son işlemler uygulanmıştır. Önerilen yöntem ile STARE veri kümesinde, % 73.1 duyarlılık, % 97.2 özgüllük ve % 95.3 doğruluk sonuçları elde edilmiştir (Dharmawan vd., 2017). Rodrigues ve arkadaşları otomatik damar bölütlenmesi için morfolojik ve topolojik yaklaşımları kullanmışlardır. Morfolojik operatörlerle daha başarılı sonuçlar elde etmek için retina görüntülerine gri seviye dönüşümü uygulamışlardır. Morfolojik ve

topolojik operatörler belli bir damar örgüsüne ait damar özelliklerini ve bağlanabilirliğini bulmak için kullanılmıştır. Böylece, damar bilgisi içermeyen nesnelere ayırt edilebilir kılmışlar ve damar sınırlarını düzelterek doğru retina damar örgüsüne ulaşabilmişlerdir. Önerilen yöntem, STARE veri kümesi üzerinde % 66.99 duyarlılık, % 97.97 özgüllük ve % 95.68 doğruluk sonuçlarını elde etmiştir (Rodrigues vd., 2016).

Son olarak, Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada retina damar bölütlenmesi için çok ölçekli morfoloji ve düğüm noktası takibi yöntemleri tercih edilmiştir. Damar örgüsünün işaretlenmesi amacıyla üst-hat operatörü ve çoklu eşikleme yaklaşımı önerilen yöntemin başarısını arttırmıştır. Önerilen yöntem STARE veri kümesinde % 74.86 duyarlılık, % 96.80 özgüllük ve % 94.60 doğruluk sonuçlarını elde etmiştir (Wang vd., 2018).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. DRIVE Veri Kümesi (DRIVE Data Set)

DRIVE veri kümesi Staal ve arkadaşları tarafından 2004 yılında toplanmıştır (Staal vd., 2004). Yedisi patolojik bulgulu olmak üzere toplamda 40 adet renkli retina görüntüsü içermektedir. DRIVE veri kümesi, her bir renkli retina görüntüsüne karşılık gelen yaklaşık 540 piksel boyuta sahip maske görüntüsü ve kan damarları işaretlenmiş referans görüntüsü (ground truth) içermektedir. DRIVE veri kümesi, eşit sayıda test (20 adet) ve eğitim (20 adet) kümelerine bölünmüş olarak araştırmacıların kullanımına açılmıştır (DRIVE, 2012). Veri kümesindeki tüm görüntüler 565x584 piksel boyutunda renkli görüntülerden oluşmaktadır.

3.2. STARE Veri Kümesi (STARE Data Set)

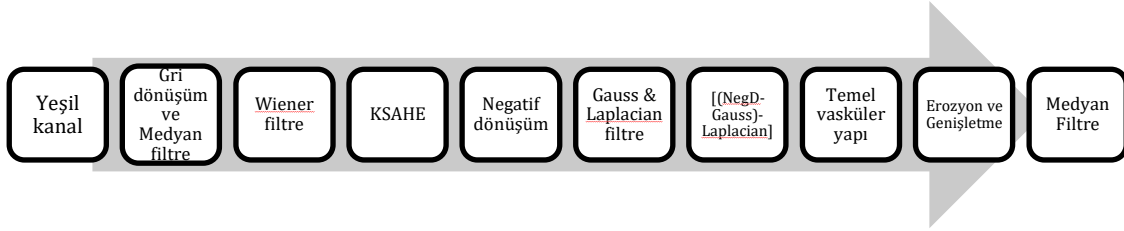
STARE veri kümesi Hoover ve arkadaşları tarafından 2000 yılında toplanmıştır (Hoover vd., 2000). Neredeyse tamamı patolojik bulgulu olmak üzere toplamda 20 adet renkli retina görüntüsü içermektedir. STARE veri kümesi, her bir renkli retina görüntüsüne karşılık gelen maske görüntüsü ve kan damarları işaretlenmiş referans görüntüsü (ground truth) içermektedir. STARE veri kümesi, retina damar bölütlenme çalışmaları için seçilmiş 20 adet görüntüsü araştırmacıların kullanımına açılmıştır (STARE, 2000). Veri kümesindeki tüm görüntüler 700x605 piksel boyutunda renkli görüntülerden oluşmaktadır.

3.3. Matematiksel Morfoloji Kullanarak Retina Damar Bölütlenmesi (Retinal Vessel Segmentation using Mathematical Morphology)

Matematiksel morfoloji kullanılarak retinadaki vasküler yapının ayrılması için renkli fundus görüntüleri RGB kanal ayrıştırma, gri seviye dönüşümü, Wiener filtreleme ve kontrast sınırlı adaptif histogram eşitleme (KSAHE) ön işlemlerinden geçirilmiştir. Ön işlem sonucunda görüntüdeki gürültü seviyesi azaltılmış ve görüntünün zıtlığı artırılmıştır. Matematiksel morfoloji yöntemine başlamadan önce elde edilen gri seviyeli görüntülere negatif dönüşüm uygulanmıştır. Negatif dönüşüm; gri tonlanmış görüntüdeki her bir piksel değerinden 255 çıkarılıp elde edilen sonucun mutlak değerinin tekrar o piksele atanmasıyla gerçekleştirilir. Başka bir deyişle, gri tonlu görüntüde siyah piksel beyaza, beyaz piksel ise siyaha dönüştürülür. Negatif dönüşüm işlemi matematiksel morfoloji kullanılarak elde edilen damar haritasında damar örgüsünü ikili görüntüde beyaz renkte elde edebilmek amacıyla uygulanmıştır.

Matematiksel morfoloji kullanılarak retinadaki vasküler yapının ayrılması iki adımda yapılmıştır. İlk olarak, negatif dönüşüm uygulanmış retina görüntüsüne sırasıyla $2B - 9 \times 9$ Gauss ve $2B - 9 \times 9$ Laplacian filtreleri uygulanarak görüntüler bulanıklaştırılmıştır. Filtreleme işlemlerinin sonucu, negatif dönüştürülmüş retina görüntülerinden sırasıyla matematiksel olarak çıkarılmıştır. Son olarak, fark alma işlemi sonucunda retina görüntüsündeki temel vasküler yapılar elde edilmiştir. Fark alma işlemi sonucunda görüntülerdeki gürültü erozyon işlemi kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır. Damar örgüsündeki olası kayıpları engellemek amacıyla da genişletme işlemi uygulanmıştır. Bu sayede, temel vasküler yapıları içeren görüntüde 10 pikselden küçük yapılar silinmiş ve 180 pikselden büyük yapılar da kalınlaştırılmıştır. Fark alma işleminden kaynaklanan gürültüler giderilmiş ve vasküler yapının sürekliliği sağlanmıştır.

Matematiksel morfoloji işleminin sonucunda elde edilen damar örgüsüne; ikili görüntüye çevirme ve $2B - 3 \times 3$ ve 5×5 medyan filtreleme olarak son işlemler uygulanmıştır. İlgili yöntemin akış şeması Şekil 1'de görülmektedir.



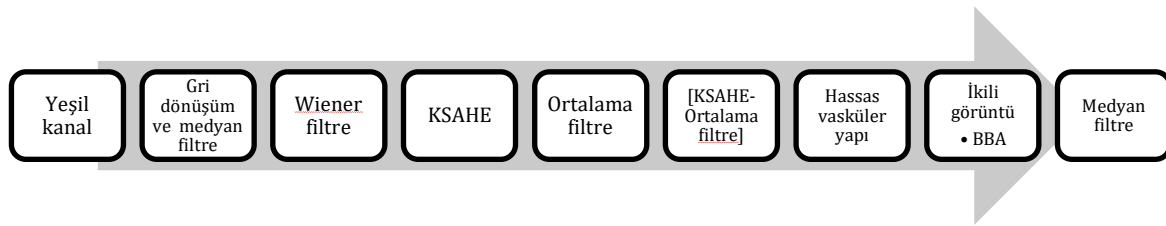
Şekil 1. Matematiksel Morfoloji Yöntemi Akış Şeması (The Flowchart of Mathematical Morphology Method)

3.4. Coye Filtreleme ve Bağlantılı Bileşen Analizi (BBA) Kullanarak Retina Damar Bölütlenmesi (Retinal Vessel Segmentation using Coye Filtering and Connected Component Analysis (CCA))

Coye filtreleme işlemi, Tyler L. Coye tarafından 2015 yılında tasarlanmıştır. Coye filtreleme işlemi dört adımda yapılmaktadır. İlk olarak, renkli retina görüntülerine; RGB kanal ayrıştırma, gri seviye dönüşümü, Wiener filtre ve KSAHE gibi ön işlemler uygulanmıştır. Ön işlem sonucunda görüntüdeki gürültü seviyesi azaltılmış ve görüntünün zıtlığı artırılmıştır. İkinci olarak, ön işlem sonucunda elde edilen görüntüye 2B – 9x9 ortalama filtre uygulanarak retina görüntüleri bulanıklaştırılmıştır. Üçüncü adımda, bulanıklaştırılan retina görüntüsü ile ön işleme sonucunda elde edilen gri seviyeli retina görüntüsü birbirinden matematiksel olarak çıkarılmıştır. Bu işlem sonunda retinadaki vasküler yapıların sınırları belirlenmiştir. Coye filtreleme işleminin esas amacı, her retina görüntüsüne göre adaptif eşik değeri belirlemektir. Belirlenen eşik değeri, vasküler yapının eşik değeridir. Bu sayede retinadaki ince vasküler yapılar daha iyi tespit edilebilmektedir.

Coye filtreleme işlemi sonunda elde edilen görüntü ikili görüntüye dönüştürülmüştür. Elde edilen ikili görüntüye 2B – 3x3 ve 5x5 medyan filtreleme uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bağlantılı bileşen analizi-BBA (Connected component analysis-CCA), düşük aydınlatmalı ya da parlak ışık gürültüsü olan retina görüntülerindeki vasküler yapıyı içine alan daire şeklindeki gürültünün yok edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Herhangi bir damar bilgisi içermeyen hare şeklinde yansımayı ikili görüntüden kaldırmak amacıyla görüntü işlemede sıklıkla tercih edilen bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanmıştır. DRIVE veri kümesindeki her bir fundus görüntüsüne karşılık gelen ikili görüntülerde adaptif olarak piksel numaraları belirlenmiştir. Belirlenen piksel numaralarının takip ettiği en büyük çapa sahip ve değeri 1 olan piksellerin değerleri 0 ile değiştirilmiştir. Bağlantılı bileşen analizi sonucunda, ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı başarıyla yok edilerek damar örgüsü bütünlüğü korunmuştur. Coye filtreleme yöntemi ince vasküler yapıları daha iyi tespit edebilirken, kalın vasküler yapıların sürekliliklerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Damar sürekliliğini sağlamak amacıyla ikili görüntülere 3x3 ve 5x5 maske boyutuna sahip medyan filtreleme uygulanmıştır. İlgili yöntemin akış şeması Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Coye Filtreleme Yöntemi Akış Şeması (The Flowchart of Coye Filter Method)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

KSAHE, tıbbi görüntülerdeki kontrastı iyileştirmek ve ilgilenilen doku görünürliğini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan denetimsiz görüntü işleme yöntemidir. KSAHE yönteminde uygun kontrast üst sınır değerinin belirlenmesi, yöntemin başarısını arttırmaktadır.

DRIVE veri kümesinin eğitim kümesi kullanılarak uygun kontrast üst sınır değeri belirlemek amacıyla, kontrast üst sınır değerinin doğruluk ölçütü üzerindeki değişimi incelenmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{GP+GN}{GP+YP+YN+GN} \quad (1)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{GP}{GP+YN} \quad (2)$$

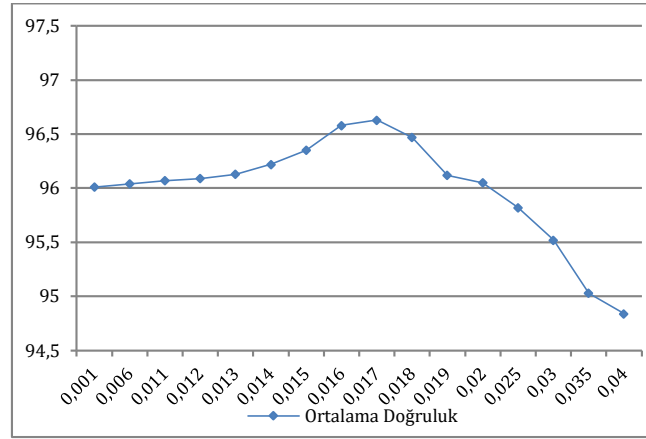
$$\text{Özgüllük} = \frac{GN}{GN+YP} \quad (3)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{GP}{GP+YP} \quad (4)$$

Verilen denklemlerde YP yanlış pozitif örnekleri, GP gerçek pozitif örnekleri, YN yanlış negatifleri ve GN gerçek negatifleri temsil etmektedir.

Uygun kontrast üst sınır değerini tespit etmek için DRIVE'in eğitim kümesindeki (20 adet) her bir görüntüsüne sırasıyla yeşil kanal ayrışması, gri seviye dönüşümü, KSAHE, adaptif retina damar eşik değeri hesaplama ve ikili görüntü dönüşümü uygulanmıştır. Retina görüntülerine sıralanan işlemler dışında herhangi bir yöntem uygulanmamıştır.

Retina görüntülerine 8x8 karo boyutunda KSAHE yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntemdeki kontrast üst sınır değeri 0,001'den başlayarak 0,040'a kadar 0,001'lik artış miktarıyla DRIVE eğitim kümesindeki tüm görüntülere uygulanmıştır. Wiener, medyan, ortalama vb. filtre gibi araçların en iyi performans için parametreleri ise 3x3, 5x5 ve 9x9 gibi farklı maske boyutları için denenerek bulunmuştur. Her bir parametre grubu değerine karşılık 20 görüntü için ortalama doğrulukta değer değişimi incelenmiş ve en iyi performansı veren parametreler seçilmiştir.

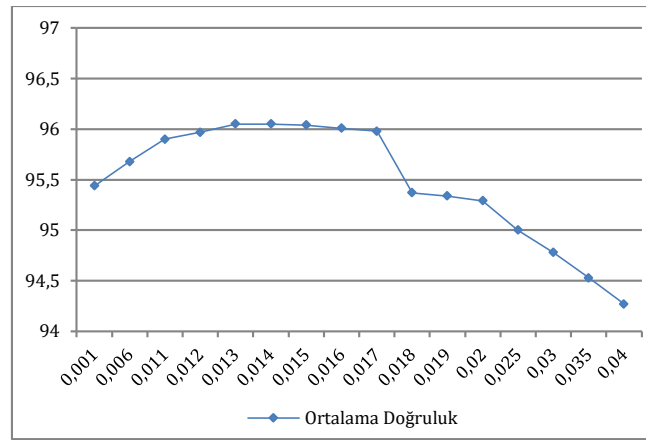


Şekil 3. DRIVE Veri Kümesi için Kontrast Üst Sınırın Doğruluğa Etkisi (The Effect of Clip Limit on Accuracy for DRIVE Data Set)

Şekil 3'de KSAHE yöntemindeki kontrast üst sınır değerinin DRIVE eğitim kümesindeki retina görüntülerinin ortalama doğruluk değerine etkisi gösterilmiştir. Kontrast üst sınır değerinin 0,001 ile 0,017 arasındaki değişimi, ortalama doğrulukta artış eğilimi görülmesini sağlamıştır. Ortalama doğruluk % 96,63 sonucuna 0,017 kontrast üst sınır değeriyle ulaşmıştır. Ortalama doğrulukta kontrast üst sınırın 0,017 değerinden itibaren azalma eğilimi gözlenmiştir. Anlamlı bulgular doğrultusunda, retina damar segmentasyonu için KSAHE yönteminin 8x8 karo boyu ve 0,017 kontrast üst sınır değeriyle kullanılması uygun görülmüştür.

STARE veri kümesinde de uygun kontrast üst sınır değerini tespit etmek için veri kümesindeki her bir retina görüntüsüne sırasıyla yeşil kanal ayrışması, gri seviye dönüşümü, KSAHE, adaptif retina damar eşik değeri hesaplama ve ikili görüntü dönüşümü uygulanmıştır. Retina görüntülerine sıralanan işlemler dışında herhangi bir yöntem uygulanmamıştır.

STARE veri kümesindeki retina görüntülerine KSAHE yöntemi 8x8 karo boyutunda uygulanmıştır. Uygulanan yöntemdeki kontrast üst sınır değeri 0,001'den başlayarak 0,040'a kadar 0,001'lik artış miktarıyla tüm görüntülere uygulanmıştır. Her bir kontrast üst sınır değerine karşılık 20 görüntü için ortalama doğrulukta değer değişimi incelenmiştir.



Şekil 4. STARE Veri Kümesi için Kontrast Üst Sınırın Doğruluğa Etkisi (The Effect of Clip Limit on Accuracy for STARE Data Set)

Şekil 4'te KSAHE yöntemindeki kontrast üst sınır değerinin STARE veri kümesindeki retina görüntülerinin ortalama doğruluk değerine etkisi gösterilmiştir. Kontrast üst sınır değerinin 0,001 ile 0,013 arasındaki değişimi, ortalama doğrulukta artış eğilimi görülmesini sağlamıştır. Ortalama doğruluk % 96,05 sonucuna 0,013 ve 0,014 kontrast üst sınır değeriyle ulaşmıştır. Veri kümesindeki retina görüntülerinin bulguları detaylı incelendiğinde ortalama doğruluk 0,013 kontrast üst sınır değerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ortalama doğrulukta kontrast üst sınırın 0,015 değerinden itibaren azalma eğilimi gözlenmiştir. Anlamlı bulgular doğrultusunda, STARE veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen retina damar segmentasyonu için KSAHE yönteminin 8x8 karo boyu ve 0,013 kontrast üst sınır değeriyle kullanılması uygun görülmüştür.

Matematiksel morfoloji yöntemini kullanarak, retina damar bölütlenme işleminin başarıyla yapılabilmesi için DRIVE eğitim kümesindeki renkli retina görüntülerine yeşil kanal ayrışması ve gri seviye dönüşümü uygulanmıştır. Gri tonlanmış retina görüntülerinin gürültüsünü gidermek amacıyla 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme ve literatürde de doğruluğu kanıtlanmış 2x2 maske boyutunda ve 0,015 gürültü gücüyle Wiener filtreleme işlemi uygulanmıştır (Alhusein vd., 2020; Santos vd., 2020; Sahu vd., 2019). Gürültüsü giderilmiş gri tonlu retina görüntülerindeki damar - doku zıtlığını arttırmak amacıyla kontrast üst sınır değeri 0,017 olarak belirlenmiş 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanmıştır. KSAHE işlemi ardından gereken matematiksel morfoloji işlemi tamamlanmıştır. Morfolojik işlem sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili görüntüye ulaşılmıştır. Elde edilen görüntüdeki kusurları gidermek ve damar sürekliliğini sağlamak amacıyla ikili görüntülere son işlem olarak medyan filtreleme işlemi uygulanmıştır.

Tablo 1. DRIVE Veri Kümesi için Matematiksel Morfoloji Yöntemi Sonuçları (The Results of Mathematical Morphology Method for DRIVE Data Set)

YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz - Medyan 3x3	0.6031	0.9886	0.9547	0.8469
Wiener Filtresiz - Medyan 5x5	0.5728	0.9907	0.9540	0.8673
Wiener Filtreli - Medyan 3x3	0.6291	0.9876	0.9559	0.8311
Wiener Filtreli - Medyan 5x5	0.5968	0.9852	0.9533	0.8101

Tablo 1'de DRIVE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere gürültü gidermek amacıyla uygulanan Wiener filtreleme ve son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip Medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 62,91 ve ortalama doğruluk % 95,59 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 98,76 ve ortalama kesinlik % 83,11 değerleri de kabul edilebilir başarı göstermiştir. Son olarak, retina görüntülerine matematiksel morfoloji yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütleme işlemi görüntü başına ortalama 1,3369 sn sürmüştür.

Matematiksel morfoloji yöntemini kullanarak, retina damar bölütlenme işleminin başarıyla yapılabilmesi için STARE veri kümesindeki renkli retina görüntülerine yeşil kanal ayrışması ve gri seviye dönüşümü uygulanmıştır. Gri tonlanmış retina görüntülerinin gürültüsünü gidermek amacıyla 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme ve literatürde de doğruluğu kanıtlanmış 2x2 maske boyutunda ve 0,015 gürültü gücüyle Wiener filtreleme işlemi uygulanmıştır (Alhusein vd., 2020; Santos vd., 2020; Sahu vd., 2019). Gürültüsü giderilmiş gri

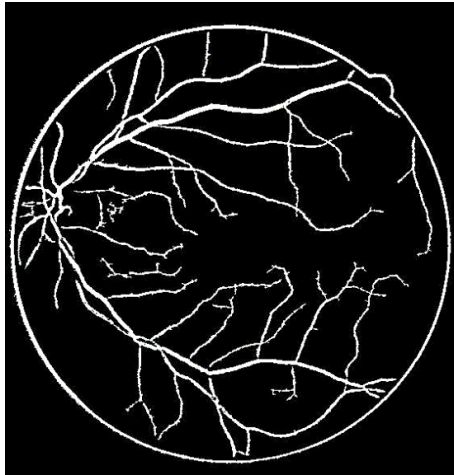
tonlu retina görüntülerindeki damar – doku zıtlığını arttırmak amacıyla kontrast üst sınır değeri 0,013 olarak belirlenmiş 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanmıştır. KSAHE işlemi ardından gereken matematiksel morfoloji işlemi tamamlanmıştır. Morfolojik işlem sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili görüntüye ulaşılmıştır. Elde edilen görüntüdeki kusurları gidermek ve damar sürekliliğini sağlamak için ikili görüntülere son işlem olarak medyan filtreleme uygulanmıştır.

Tablo 2. STARE Veri Kümesi için Matematiksel Morfoloji Yöntemi Sonuçları (The Results of Mathematical Morphology Method for STARE Data Set)

YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz – Medyan 3x3	0.6986	0.9764	0.9553	0.7261
Wiener Filtresiz – Medyan 5x5	0.6924	0.9793	0.9570	0.7485
Wiener Filtreli – Medyan 3x3	0.7082	0.9763	0.9578	0.7188
Wiener Filtreli – Medyan 5x5	0.6858	0.9792	0.9563	0.7409

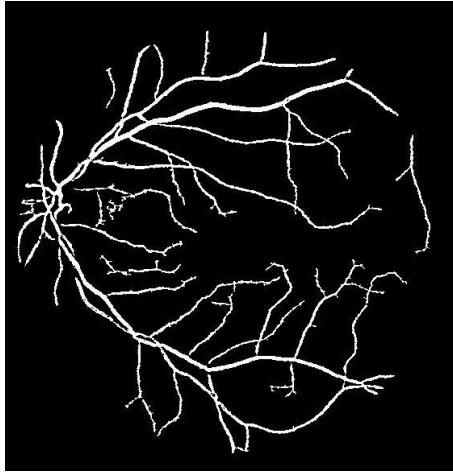
Tablo 2’de STARE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere gürültü gidermek amacıyla uygulanan Wiener filtreleme ve son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip Medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 70.82 ve ortalama doğruluk % 95.78 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 97.63 ve ortalama kesinlik % 71.88 değerleri de kabul edilebilir başarı göstermiştir. Son olarak, retina görüntülerine matematiksel morfoloji yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütleme işlemi görüntü başına ortalama 1,3274 sn sürmüştür.

Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemini kullanarak retina damar bölütlemesi yapabilmek için DRIVE eğitim veri kümesinin renkli retina görüntülerine RGB kanal ayrıştırılması uygulanmış ve yeşil kanal tercih edilmiştir. Yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiş ve ön işlem olarak Wiener filtreye ihtiyaç duyulmamıştır, fakat olası küçük boyutlu gürültüler için 3x3 maske boyutunda medyan filtre uygulanmıştır. Veri kümesindeki yeşil kanallı görüntülere gri seviye dönüşümü ve 0,017 kontrast üst sınır değeriyle 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanarak işleme devam edilmiştir. Coye filtreleme yöntemi sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili (siyah-beyaz) görüntü elde edilmiştir.



Şekil 5. BBA-sız İkili Görüntü (Binary Image without CCA)

Coye filtreleme işlemi sonucunda DRIVE veri kümesinin 21. görüntüsü için elde edilen ikili görüntü Şekil 5’te verilmiştir. Coye filtreleme yöntemi ince vasküler yapıları tespit etmede daha başarılı bulunmuştur. Yöntemin başarısına rağmen, ikili görüntülerde retina damar örgüsünü içine alan hare şeklinde yansımalar (retina sınırı) belirlemiştir. Herhangi bir damar bilgisi içermeyen hare şeklinde yansımayı ikili görüntüden kaldırmak amacıyla görüntü işlemede sıklıkla tercih edilen bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanmıştır. DRIVE veri kümesindeki her bir fundus görüntüsüne karşılık gelen ikili görüntülerde adaptif olarak piksel numaraları belirlenmiştir. Belirlenen piksel numaralarının takip ettiği en büyük çapa sahip ve değeri 1 olan piksellerin değerleri 0 ile değiştirilmiştir. Bağlantılı bileşen analizi sonucunda, ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı başarıyla yok edilerek damar örgüsü bütünlüğü korunmuştur.



Şekil 6. BBA-lı İkili Görüntü (Binary Image with CCA)

Şekil 6'da görüldüğü üzere DRIVE veri kümesi 21. görüntüsü için Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi kullanılarak retina damar örgüsü elde edilmiştir. Coye filtreleme yöntemi ince vasküler yapıları daha iyi tespit edebilirken, kalın vasküler yapıların sürekliliklerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Damar sürekliliğini sağlamak amacıyla ikili görüntülere medyan filtreleme uygulanmıştır.

Tablo 3. DRIVE Veri Kümesi için Coye Filtreleme ve BBA Yöntemi Sonuçları (The Results of Coye Filter with CCA for DRIVE Data Set)

YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz – Medyan 3x3	0.6320	0.9864	0.9551	0.8217
Wiener Filtresiz – Medyan 5x5	0.5698	0.9878	0.9509	0.8380
Wiener Filtreli – Medyan 3x3	0.6299	0.9824	0.9514	0.7826
Wiener Filtreli – Medyan 5x5	0.5871	0.9861	0.9511	0.8108

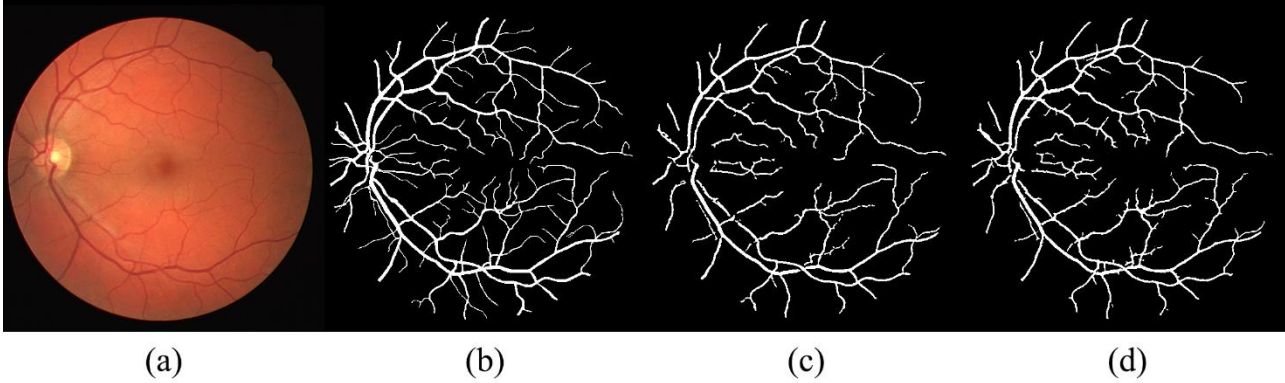
Tablo 3'te DRIVE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere, yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiştir. Vasküler yapıların sürekliliğini sağlamak amacıyla son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 63.20 ve ortalama doğruluk % 95.51 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 98.64 ve ortalama kesinlik % 82.17 değerleri de kabul edilebilir başarı göstermiştir. Wiener filtrenin Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonuçlarını iyileştirmede başarılı gözlenmiştir. Son olarak, renkli retina görüntülerine Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi işlemi görüntü başına ortalama 1,2914 sn sürmüştür.

Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemini kullanarak retina damar bölütlenmesi yapabilmek için STARE veri kümesinde de renkli retina görüntülerine RGB kanal ayrıştırılması uygulanmış ve yeşil kanal tercih edilmiştir. Yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiş ve ön işlem olarak Wiener filtreye ihtiyaç duyulmamıştır, fakat olası küçük boyutlu gürültüler için 3x3 maske boyutunda medyan filtre uygulanmıştır. Veri kümesindeki yeşil kanallı görüntülere gri seviye dönüşümü ve 0,013 kontrast üst sınır değeriyle 8x8 karo boyutunda KSAHE uygulanarak işleme devam edilmiştir. Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonrasında elde edilen damar görüntülerindeki vasküler yapıların eşik değeri her görüntü için adaptif olarak hesaplanarak ikili (siyah-beyaz) görüntü elde edilmiştir.

Tablo 4. STARE Veri Kümesi için Coye Filtreleme ve BBA Yöntemi Sonuçları (The Results of Coye Filter with CCA for STARE Data Set)

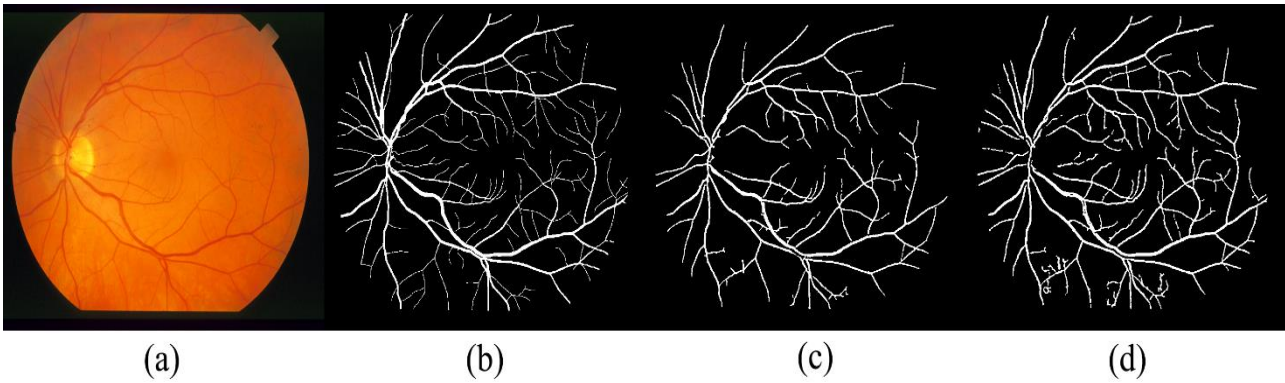
YÖNTEM	DUYARLILIK	ÖZGÜLLÜK	DOĞRULUK	KESİNLİK
Wiener Filtresiz – Medyan 3x3	0.8062	0.9576	0.9507	0.6294
Wiener Filtresiz – Medyan 5x5	0.7841	0.9651	0.9450	0.6694
Wiener Filtreli – Medyan 3x3	0.7997	0.9453	0.9335	0.5893
Wiener Filtreli – Medyan 5x5	0.7986	0.9509	0.9386	0.6164

Tablo 4'te STARE veri kümesi için verilen özet sonuçlardan anlaşıldığı üzere, yeşil kanal tercih edilerek görüntülerdeki gürültü ve aydınlatma kusurları giderilmiştir. Vasküler yapıların sürekliliğini sağlamak amacıyla son işlem olarak uygulanan 3x3 maske boyutuna sahip medyan filtreleme işlemiyle elde edilen ortalama duyarlılık % 80.62 ve ortalama doğruluk % 95.07 oranları diğerlerine göre daha başarılı bulunmuştur. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama özgüllük % 95.76 sonucuyla kabul edilebilir başarı göstermiştir. Wiener filtrenin Coyle filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonuçlarını iyileştirmediği gözlenmiştir. Son olarak, retina görüntülerine Coyle filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi uygulanarak gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi işlemi görüntü başına ortalama 1,2749 sn sürmüştür.



Şekil 7. DRIVE Veri Kümesi 35. Görüntü için Görsel Karşılaştırma Sonucu; a) Renkli fundus görüntüsü, b) Referans damar görüntüsü, c) Matematiksel morfoloji sonucu, d) Coyle filtreleme ve BBA sonucu (DRIVE Dataset Visual Comparison Result for Image 35; a) Color fundus image, b) Ground truth image, c) Mathematical morphology result, d) Coyle filtering and CCA result)

Şekil 7'de görüldüğü üzere DRIVE veri kümesi 35. görüntüsü için matematiksel morfoloji ve Coyle filtreleme-BBA yöntemi kullanılarak retina damar örgüsü elde edilmiştir. Coyle filtreleme-BBA yöntemi ince vasküler yapıları daha iyi tespit edebilmiştir. Matematiksel morfoloji yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.7020, 0.9903, 0.9633 ve 0.8674, Coyle filtreleme-BBA yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.7116, 0.9882, 0.9626 ve 0.8488 olarak bulunmuştur.



Şekil 8. STARE Veri Kümesi 11. Görüntü için Görsel Karşılaştırma Sonucu; a) Renkli fundus görüntüsü, b) Referans damar görüntüsü, c) Matematiksel morfoloji sonucu, d) Coyle filtreleme ve BBA sonucu (STARE Dataset Visual Comparison Result for Image 11; a) Color fundus image, b) Ground truth image, c) Mathematical morphology result, d) Coyle filtering and CCA result)

Şekil 8'de görüldüğü üzere STARE veri kümesi 11. görüntüsü için matematiksel morfoloji ve Coyle filtreleme-BBA yöntemi kullanılarak retina damar örgüsü elde edilmiştir. Coyle filtreleme-BBA yöntemi ince vasküler yapıları daha detaylı tespit edebilmiştir fakat Şekil 8(d)' de alt kısımdaki ana damarda kesiklik ve iç boşluklar oluşmuştur. Ana damar yapılarında matematiksel morfoloji yönteminde bütünlük daha fazla sağlanabilmiştir. Matematiksel morfoloji yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.6838, 0.9862, 0.9647 ve 0.8113, Coyle filtreleme-BBA yöntemi için sırasıyla duyarlılık, özgüllük, doğruluk ve kesinlik değerleri 0.7930, 0.9806, 0.9620 ve 0.7988 olarak bulunmuştur. STARE veri kümesinde DRIVE veri kümesine göre ince vasküler yapılar daha hassas olduğu için Coyle filtre-BBA yönteminin faydası bu görüntü için duyarlılık metriğinde matematiksel morfoloji yöntemine göre yaklaşık 11 puan avantaj sağlamıştır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Matematiksel morfoloji yöntemi kullanılarak DRIVE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi ortalama duyarlılıkta % 62.91, ortalama özgüllükte % 98.76, ortalama doğrulukta % 95.59 ve

ortalama kesinlikte % 83.11 değerleriyle literatürdeki denetimsiz yaklaşımlar ile kıyaslandığında en iyi özgüllük ve doğruluk bulgularını elde etmiştir. Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi kullanılarak DRIVE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlemesi için ortalama duyarlılıkta % 63.20, ortalama özgüllükte % 98.64, ortalama doğrulukta % 95.51 ve ortalama kesinlikte % 82.17 değerleri elde edilmiştir. İlgili yöntemde duyarlılık metriği dışında matematiksel morfoloji yaklaşımından daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, literatürdeki denetimsiz öğrenme çalışmalarına kıyasla DRIVE veri kümesi üzerinde en iyi ortalama doğruluk Alhussein ve arkadaşlarının çalışması (Alhussein vd., 2020) ile paylaşılmaktadır.

Matematiksel morfoloji yöntemi kullanılarak STARE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlenmesi ortalama duyarlılıkta % 70.82, ortalama özgüllükte % 97.63, ortalama doğrulukta % 95.78 ve ortalama kesinlikte % 71.88 değerleriyle literatürdeki denetimsiz yaklaşımlar ile kıyaslandığında en iyi 2. doğruluk bulgularını elde etmiştir. Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi kullanılarak STARE veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen retina damar bölütlemesi için ortalama duyarlılıkta % 80.62, ortalama özgüllükte % 95.76, ortalama doğrulukta % 95.07 ve ortalama kesinlikte % 62.94 değerleri elde edilmiş ve literatürdeki denetimsiz yaklaşımlar ile kıyaslandığında ortalama duyarlılıkta en başarılı sonuç elde edilmiştir. İlgili yöntemde duyarlılık metriği dışında matematiksel morfoloji yaklaşımından daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Matematiksel morfoloji yöntemi, elde edilen retina damar örgüsünde kalın vasküler yapıların tespit edilmesinde ve tespit edilen yapıların sürekliliğinin sağlanmasında başarılı iken ince vasküler yapıları tespit etmede Coye filtreleme yaklaşımına göre yetersiz kalmıştır. Coye filtreleme yöntemi kullanılarak elde edilen retina damar örgüsünde ise ince vasküler yapılar yüksek başarı ile belirlenmektedir. Ancak aydınlatma kusurları ve düşük kaliteli fundus görüntülerinde ise özellikle retina sınırındaki ışık yansımaları (herhangi bir damar bilgisi taşımadığı halde) vasküler yapı olarak işaretlenmekte ve yöntemin yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Coye filtreleme yaklaşımının önerilen bağlantılı bileşen analiziyle birlikte kullanılması sonucu ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı başarıyla yok edilmiştir. Böylece damar örgüsü bütünlüğü korunmuş olup Coye filtreleme yönteminin başarısının artırılmasına katkı sağlanmıştır.

DRIVE ve STARE veri kümeleri üzerindeki detaylı analiz sonucu Wiener filtrenin Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi yöntemi sonuçlarını iyileştirmediği gözlenmiştir. Coye filtrenin çıktısı olan ikili görüntülerdeki istenmeyen hare şeklindeki yapı önerilen bağlantılı bileşen analizi sonucunda başarıyla yok edilerek damar örgüsü bütünlüğü korunmuştur.

Glokom (Lim vd., 2015) ve diyabetik retinopati (Özçelik vd., 2021) gibi göz hastalıkları bireylerin yaşam kalitesini ciddi ölçekte etkileyebilmektedir. Bu hastalıkların uzmanlar tarafından retina görüntülerinden tespit edilebilmesi görüntü başına ortalama 8 dakika sürmektedir (Lim vd., 2015). Derin öğrenme tabanlı çalışmalar da yoğun miktarda etiketli veriye (Li vd., 2021) ve dolayısıyla uzun çalışma sürelerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada elde edilen ortalama doğruluk değerleri ve işlem süreleri dikkate alındığında önerilen yöntemin ön işlem adımı olarak kullanılarak performans artışı ve zaman tasarrufu sağlayabileceği öngörülmektedir. Ayrıca, literatürdeki denetimsiz çalışmalardan Zhang ve arkadaşlarının çalışmasına kıyasla önerilen çalışma ile ortalama işlem süresi görüntü başına 10 saniyeden (Zhang vd., 2010) 1.3 saniyeye düşürülmüştür.

Gelecek çalışmalarda matematiksel morfoloji ve Coye filtreleme ve bağlantılı bileşen analizi benzeri yöntemlerin tahminleri birleştirilerek daha iyi sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akbar S., Sharif M., Akram M.U., Saba T., Mahmood T., 2019. Automated techniques for blood vessels segmentation through fundus retinal images: A review. *Microscopy Research and Technique*, 82 (2): 153-170.
- Alhussein M., Aurangzeb K., Haider S.I., 2020. An unsupervised retinal vessel segmentation using Hessian and intensity based approach. *IEEE Access*, 8: 165056-165070.
- Azzopardi G., Strisciuglio N., Vento M., Petkov N., 2015. Trainable COSFIRE filters for vessel delineation with application to retinal images. *Medical Image Analysis*, 19 (1): 46-57.
- Dharmawan D. A. and Ng B. P., 2017. A new two-dimensional matched filter based on the modified Chebyshev type I function for retinal vessels detection. In *Proc. 39th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBC)*, pp. 369-372.

- Dos Santos J.C.M., Carrijo G.A., dos Santos Cardoso C.D.F., Ferreira J.C., Sousa P.M. ve Patrocinio AC., 2020. Fundus image quality enhancement for blood vessel detection via a neural network using CLAHE and Wiener Filter. *Research on Biomedical Engineering*, 36: 107-119.
- DRIVE: Digital Retinal Images for Vessel Extraction, 2012. 20 Ekim 2021 tarihinde <https://drive.grand-challenge.org/> adresinden erişildi.
- Fraz M.M., Barman S.A., Remagnino P., Hoppe A., Basit A. Uyyanonvara B., Rudnicka AR., Owen CG., 2012. An approach to localize the retinal blood vessels using bit planes and centerline detection. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108 (2): 600-616.
- Hassanien A.E., Emary E., Zawbaa H.M., 2015. Retinal blood vessel localization approach based on bee colony swarm optimization, fuzzy c-means and pattern search. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 31: 186-196.
- Hoover A. D., Kouznetsova V., Goldbaum M., 2000. Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 19, no. 3, pp. 203-210.
- Kumar D., Pramanik A., Kar S. S., Maity S. P., 2016. Retinal blood vessel segmentation using matched filter and laplacian of Gaussian. In *Proc. Int. Conf. Signal Process. Commun. (SPCOM)*, pp. 1-5.
- Li T., Bo W., Hu C., Kang H., Liu H., Wang K., Fu H., 2021. Applications of deep learning in fundus images: A review. *Medical Image Analysis*, 69: 101971.
- Lim G., Cheng Y., Hsu W., Lee M. L., 2015. Integrated optic disc and cup segmentation with deep learning. In *2015 IEEE 27th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pp. 162-169.
- Özçelik Y.B. and Altan A., 2021. Diyabetik retinopati teşhisi için fundus görüntülerinin derin öğrenme tabanlı sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 29: 156-167.
- Retinal Diseases (2020, 31 Mart). 20 Ekim 2021 tarihinde <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/retinal-diseases/symptoms-causes/syc-20355825> adresinden erişildi.
- Rodrigues J., Bezerra N., 2016. Retinal vessel segmentation using parallel grayscale skeletonization algorithm and mathematical morphology. In *Proc. 29th SIBGRAPI Conf. Graph., Patterns Images (SIBGRAPI)*, pp. 17-24.
- Sahu S., Singh A.K., Ghrera S.P., Elhoseny M., 2019. An approach for de-noising and contrast enhancement of retinal fundus image using CLAHE. *Optics & Laser Technology*, 110: 87-98.
- Staal J., Abramoff M.D., Niemeijer M., Viergever M.A., Van Ginneken B., 2004. Ridge based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 23 (4): 501-509.
- STARE: Structured Analysis of The Retina, 2000. 20 Ekim 2021 tarihinde <http://cecas.clemson.edu/~ahoover/stare/> adresinden erişildi.
- Wang, W., Zhang, J., Wu, W., Zhou, S., 2018. An automatic approach for retinal vessel segmentation by multi-scale morphology and seed point tracking. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 8(2), 262-274.
- Willoughby C.E., Ponzin D., Ferrari S., Lobo A., Landau K., Omidi Y., 2010. Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function: a review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 38:2-11.
- You X., Peng Q., Yuan Y., Cheung Y.M., Lei J., 2011. Segmentation of retinal blood vessels using the radial projection and semi-supervised approach. *Pattern Recognition*, 44 (10-11): 2314-2324.
- Zhang B., Zhang L., Zhang L., Karray F., 2010. Retinal vessel extraction by matched filter with first-order derivative of Gaussian. *Computers in Biology and Medicine*, 40 (4): 438-445.
- Zhang J., Dashtbozorg B., Bekkers E., Pluim J.P., Duits R., 2016. Robust retinal vessel segmentation via locally adaptive derivative frames in orientation scores. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35 (12): 2631-2644.
- Zhao Y.Q., Wang X.H., Wang X.F., Shih F.Y., 2014. Retinal vessels segmentation based on level set and region growing. *Pattern Recognition*, 47 (7): 2437-2446.



DÖKÜM PARÇA TAŞLAMA İŞLERİNDE EL-KOL TİTREŞİMİNİN ÖLÇÜLMESİ VE MARUZİYETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Onur ŞAHİN*, Müge Ensari ÖZAY, Rüştü UÇAN

Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*El Kol Titreşimi,
Dökümhane,
Taşlama,
Titreşim Ölçümü,
Günlük Maruziyet.*

Öz

Bu makale ile bir dökümhanede döküm parça taşlama işinde çalışanların el-kol titreşimi ve ilgili fiziksel stresler araştırılmıştır. Çalışmanın amacı döküm parçaların taşlanması sırasında taşlama aleti ile çalışanın el ve kollarına iletilen titreşim değerinin bir vardiya boyunca ölçülerek tespit edilmesi ve yüksek titreşim değerlerinin azaltılması için çözümler üretilmesidir. Bu amaçla taşlama operatörlerinde TS EN 5349 standartında belirtilen metodlar referans alınarak 21 döküm parça taşlama operatörü üzerinde, beş değişik taşlama işleminde ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sağ elde bir vardiya boyunca uygulanmıştır. Döküm parça taşlama yapan çalışanlarda 8 saatlik maruziyet için $1,79 \text{ m/sn}^2$ ile $95,69 \text{ m/sn}^2$ arasında değişen değerler elde edilmiştir. En yüksek değerler döndürücüye bağlı motor blok parçasının deliklerindeki temizlik işlemini havalı çekiç ile yaparken $A(8)=95,69 \text{ m/s}^2$, yere sabit bir makinada yapılan taşlama işleminde $A(8)=20,43 \text{ m/s}^2$ ve final taşlama işleminde $A(8)=12,76 \text{ m/s}^2$ elde edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre el-kol titreşim maruziyetlerinin azaltılması için öncelikle döküm parçada mühendislik çalışması ile taşlama gerektiren yüzeylerin azaltılması amaçlanmalıdır. Döküm parçada boşlukları oluşturan maça yüzeylerindeki maça kumu kaynaklı çapakların oluşması engellenmeli ve havalı tabanca ile açılabilen kum ile tıkalı delikler için dayanımı yüksek maça kullanılarak problem kaynağında giderilmelidir.

MEASUREMENT OF HAND-ARM VIBRATION AND EVALUATION OF EXPOSURE IN CASTING PARTS GRINDING WORKS

Keywords

*Hand-Arm Vibration,
Foundry,
Grinding,
Vibration Measurement,
Daily Exposure.*

Abstract

With this article, hand-arm vibration, and related physical stresses of those working in casting grinding work in a foundry were investigated. The aim of the study is to determine the vibration value transmitted to the hands and arms of the worker with the grinding tool during the grinding of cast parts by measuring during one shift and to produce solutions for reducing high vibration values. For this purpose, with reference to the methods specified in the TS EN 5349 standard for grinding operators, measurements were made on 21 cast part grinding operators in five different grinding processes. Measurements were performed in the right hand over. Values ranging from 1.79 m/s^2 to 95.69 m/s^2 were obtained for 8 hours of exposure in cast iron workers. The highest values are $A(8)=95.69 \text{ m/s}^2$ when cleaning the holes of the motor block part connected to the rotator with an air hammer, $A(8)=20.43 \text{ m/s}^2$ when grinding on a fixed machine and in the final grinding process $A(8)=12.76 \text{ m/s}^2$ was obtained. According to the results of the research, in order to reduce hand-arm vibration exposures, it should be aimed to reduce the surfaces that require grinding with engineering work in the cast part. The formation of burrs originating from the core sand on the core surfaces that form the voids in the cast part should be prevented and the problem should be eliminated at the source by using high-strength cores for the holes clogged with sand that can be opened with an air gun.

* İlgili yazar / Corresponding author: onur.sahin@doktas.com, +90-224-573-42-63

Alıntı / Cite

Şahin, O., Özay, E., Uçan, R., (2022). Döküm Parça Taşlama İşlerinde El-Kol Titreşiminin Ölçülmesi ve Maruziyetinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 856-868.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Şahin, 0000-0003-0712-2978
M.E. Özay, 0000-0002-4785-5503
R. Uçan, 0000-0003-2389-8231

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	16.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.04.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.04.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Döküm, erimiş metalin silis kumundan yapılan bir kalıp boşluğuna döküldüğü ve ardından katılaşmaya bırakıldığı bir üretim sürecidir (Barot vd., 2020). Bir dökümhanede çok sayıda potansiyel tehlike mevcuttur. Toz, ağır metaller, gürültü, titreşim, ısı stresi ve gazlar bu tehlikelerin en önemlileri olarak sıralanabilir (Şahin vd., 2021). İskelet sistemi, kas yapısı ve nörolojik etkilerinin yanında (Bovenzi, 2011), akut veya kronik olarak çalışanları etkileyen titreşim, dökümhanelerin hemen hemen bütün süreçlerinde var olup çoğu zaman çalışanları olumsuz olarak etkileyen önemli bir fiziksel risktir (Safe Work Australia, 2013). Bir dökümhanede hem el-kol titreşimine hem de tüm vücut titreşimine maruziyet söz konusudur. Forkliftlerle malzeme taşınması, döküm parçanın kalıptan çıkarılması işlemini gerçekleştiren vibrasyonlu makinelerin yakınında çalışması, kum hazırlama sistemlerinde döküm kumu hazırlama proseslerinde tüm vücut titreşimi görülürken özellikle döküm parçanın el aletleri ile çapaklarının taşlanması işinde ise el kol titreşimi ön plana çıkmaktadır (Mgonja, 2017). NIOSH tarafından yapılan bir çalışmada ABD’de ki dökümhanelerde yaklaşık 64.000 işçinin el aletleri nedeniyle titreşime maruz kaldığı bildirilmiştir (NIOSH, 1983). Bu çalışmada dökümhanelerde döküm parça taşlama sürecindeki el kol titreşim maruziyetlerinin titreşim ölçme araçları ile 8 saat boyunca ölçülmesi ve elde edilen bulgular ışığında değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle titreşimin tanınması ile başlayarak el kol titreşimi hakkında bilgiler verilmiş, ölçüm sonuçları değerlendirilerek taşlama işlerinde maruziyetin ve riskin azaltılması için alınması gereken önlemler paylaşılmıştır. Döküm parçanın bir vardiya boyunca taşlanması sırasında maruz kalınan titreşim değerinin ortaya koyulması ile ilgili literatürdeki eksiklik giderilmeye çalışılmıştır. Titreşim ölçümleri genellikle kısa süreli olarak ölçülüp 8 saat ölçülmüş kabul edilerek hesap edilir ve raporlanır. Bu çalışmada ise titreşim ölçümü 8 saat boyunca yapılarak taşlama sırasında oluşan pik değerleri incelenmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)**2.1. Titreşim (Vibration)**

Bir cismin iç veya dış kuvvetlerin etkisiyle yaptığı salınım hareketi olan titreşim (Sağlam, 2011) bir kaynaktan (araç, makine, el aleti gibi) kaynaklanarak vücuda el-kol vasıtasıyla ya da tüm vücut olarak iletilir (Burstrom vd., 2009). Bu çalışmada tüm vücut titreşimine değinilmemiş olup sadece el kol titreşimi üzerinde durulmuştur. El kol titreşimi bir taşlama aleti ile çapak temizleme veya döküm parçanın taşlanması gibi işlemlerden veya aletlerden kaynaklanan ve vücuda el parmaklarından veya avuç içinden giren mekanik titreşime el ile iletilen titreşimdir. El ile iletilen titreşimin sık kullanılan eş anlamlıları, el-kol titreşimi veya segmental titreşimdir (Bovenzi, 2011). El-kol titreşimi (HAV-Hand Arm Vibration), birçok sektörde ve meslekte çalışanlar için yaygın bir tehlikedir. İşyerinde HAV maruziyeti, taşlama motorları ve darbeli matkaplar gibi elde taşınan makinelerin, çim biçme makineleri, ağaç kesme testereleri (Tunay ve Emir, 2015) ve plaka sıkıştırıcılar gibi elle yönlendirilen makinelerin ve dövme çekiçleri gibi makinelerin kullanımından kaynaklanabilir. Titreşime genellikle aylar veya yıllar boyunca düzenli ve sık maruz kalınması operatörün sağlığını etkileyebilir. Ancak titreşimden kaynaklanan riskler kontrol edilebilir ve çoğu çalışan titreşimden kaynaklanan hastalıklardan korunabilir (HSE, 2019). El kol titreşimi için maruziyet eylem değeri EAV (Exposure Action Value) 2,5 m/s², maruziyet sınır değeri ELV (Exposure Limit Value) 5 m/s²’dir (Directive 2002/44/EC, 2002).

2.2. Titreşimin Etkileri ve Semptomlar (Effects of Vibration and Symptoms)

El kol titreşimine maruz kalınmasında en sık görülen etkiler; parmaklarda karıncalanma ve uyuşma, parmaklarda bir şeyler hissedememek, ellerde güç kaybı (ağır nesnelere daha az tutabilme), soğukta parmak uçlarının beyazlaşması, ardından kırmızı olması ve iyileşme sırasında ağrılı olmasıdır (Gerhardsson vd., 2021). Yüksek titreşimli araçlar kullanılmaya devam edilirse, bu belirtiler muhtemelen daha da kötüleşecektir. Örneğin ellerdeki uyuşma kalıcı hale gelebilir ve hiçbir şey hissedilmeyebilir, vida veya çivi gibi küçük nesnelere kaldırmakta zorlanılabilir (HSE, 2019). Titreşim, konforsuzluk hissine, iş veriminde düşüşe, fiziksel hasara ve kas iskelet rahatsızlıklarına giden süreci hızlandırmaya neden olur (Kaya ve Özok, 2018). Bunların yanında Pelmeur ve arkadaşları 1985’de yayınladıkları bir makalede titreşimin sadece dolaşım bozuklukları değil aynı zamanda

psikolojik problemlere de yol açtığını belirtmişlerdir (Pelmeur vd., 1986). Shen ve House yaptıkları bir çalışmada titreşime bağlı semptomların genellikle orta yaşta başladığını, ancak semptomların yüksek yoğunlukta titreşime maruz kalan genç işçilerde de ortaya çıkabileceğini belirtmişlerdir (Shen ve House, 2017). Kişilerin maruz kaldığı titreşimin güvenli seviyelerini belirlemek ve değerlendirmek için titreşim risklerinin değerlendirilmesi ve titreşim maruziyet seviyelerinin belirlenmesi gereklidir. Ayrıca tıbbi araştırmaların periyodik olarak yapılması ile erken teşhis ve tedavi imkanları ortaya çıkacaktır (Vihlborg vd., 2017). Üçüncül önlemler olarak yönetsel önlemler kullanılmalıdır. Çalışanların maruziyet süresini düşürmek için vardiya düzenlenmesi ve molalar düşünülmelidir. Son çare olarak kişisel korunma tedbirlerine başvurulmalıdır (HSE, 2001).

2.3. Dökümhanelerdeki Titreşim Kaynakları (Sources of Vibration in Foundries)

Dökümü gerçekleştirmek için yapılan faaliyetlerden oluşan titreşimin bir kısmı bütün vücudu etkilerken bir kısmı da el ve kolları etkiler. Forkliftle çalışma, ergitim ocaklarına vibratör ile parça besleme bütün vücudu etkilerken parça taşlama işlerinde oluşan titreşim el ve kolları etkiler. Dökümhanelerde ki başlıca titreşim kaynakları; sarsaklar, ocak besleme vibratörleri (Carra vd., 2019), presler ve parça temizleme işleridir (HSE, 2019). Döküm parça kum kalıptan çıkarıldığında üzerinde besleyiciler, çıkıcılar ve çapaklar gibi çeşitli malzemeler barındırır (Armstrong vd., 2002). Döküm parçanın son şeklini alabilmesi için bu malzemeler çeşitli ekipmanlar ile parça üzerinden temizlenir. Temizlerken kullanılan ekipmanlar genelde pnömatik el taşlama motoru, havalı çekiç ve elektrikli taşlama makineleridir. Döküm parça üzerinde oluşan çapak, çıkıcı, besleyici gibi malzemelerin kesilmesi esnasında el aleti üzerinde oluşan titreşim tutamak vasıtasıyla kollara iletilir (Reynolds vd., 1983).

2.4. Döküm Parça Taşlama Araçları (Casting Grinding Tools)

Dökümhaneler birçok kimyasal ve fiziksel tehlikeleri içeren yüksek riskli işletmelerdir. Döküm parçanın taşlanması sırasında oluşan gürültü, kumdan çıkarılma esnasındaki sıcak parça yüzeyleri, toz, özellikle maça üretiminde ve parça boyama prosesinde kullanılan kimyasal maddeler ve titreşim öne çıkan, çalışanları ciddi şekilde etkileyen tehlike kaynaklarıdır. Döküm parça fazlalıkları pnömatik çapak kırma çekici (havalı keski), büyük-küçük boy elektrikli ve pnömatik taşlama motorları, armut tipi elektrikli taş motoru, pnömatik dik taşlama makinası ve sabit taşlama makinası ile temizlenmektedir (Armstrong vd., 2002). Aşağıda tablo 1'de döküm parçanın son kullanıcıya ulaşmadan önce üzerindeki istenmeyen fazlalıklarının temizlenmesi ve çapaklarının taşlanması için kullanılan el aletlerinin (Şekil 1) titreşim değerleri, ağırlık ve geometrik ölçüleri ile ilgili bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Taşlama Yapılan Araçlar (Grinding Tools)

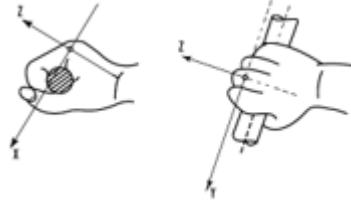
Cihaz No	Taşlama el aleti adı	Titreşim değeri	Geometrik ölçüler ve ağırlık
1	Büyük-Küçük açılı taşlama makinası (elektrikli taşlama motoru)	125 mm: 2,0-6,0 m/s ² 230 mm: 4,5-7,5 m/s ²	Disk çapı: 125 mm Ağırlık: 2,3 kg Disk çapı: 230 mm Ağırlık: 5,1 kg
2	Çapak kırma çekici (havalı keski)	7-8 m/s ²	Ağırlık:15 kg Uzunluk:60 cm
3	Havalı taşlama motoru (düşey taşlama makinası)	<2,5 m/s ²	Ağırlık: 4 kg Uzunluk: 12,8 cm
4	Düz taşlama makinası	2,5 m/s ²	Ağırlık: 5,4 kg Uzunluk: 53,5 cm
5	Askılı taşlama makinası (swing frame)		Ağırlık: 750 kg Uzunluk: 750 cm
6	Yere sabit taşlama makinası		Ağırlık: 500 kg Uzunluk: 750 cm



Şekil 1. Döküm Parça Taşlamada Kullanılan Araçlar (Tools Used in Casting Parts Grinding)

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Döküm fabrikalarında taşlamadan kaynaklı titreşimin tespiti için bir döküm fabrikasında 21 taşlama operatörünün sağ elleri üzerinde, çalışma esnasında 8 saat süre ile titreşim değerleri ölçülmüştür. Ölçümler Svantek-948 titreşim ölçüm cihazı ve Dytran el-kol titreşim ivmeölçeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Titreşim değerleri her 15 dakikada bir kaydedilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Operatörler taşlama yaparken pnömatik-elektrikli spiral taş motorları, havalı keski, askılı taşlama taşı (swing frame), pnömatik taşlama makinası kullanmışlardır. Yapılan ölçümlerde TS EN ISO 5349 standartında ki metodlar kullanılmıştır. Metoda göre kişinin titreşime maruz kaldığı el bölgesine (avuç içi) ivmeölçer sabitlenmiştir. Cihaz üzerinde yapılan gerekli ayarlamaların akabinde titreşimin şiddeti üç eksen için de ölçülerek ham veriler cihaza kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler cihaz hafızasından bilgisayar ortamında alınıp, cihazın kendi paket programı ile çalışma ve maruziyet süreleri dahilinde zaman ağırlıklı ortalamalar hesaplanarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. El Kol Titreşimi Ölçüm Yöntemi (Hand Arm Vibration Measurement Method) (TS EN 5349-1, 2001)

Titreşim büyüklüğü (a_{hv}) ve $A(8)$ günlük titreşim maruziyeti değeri hesaplamalarında aşağıdaki formüller kullanılmıştır (TS EN 5349-2, 2004)

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (1)$$

$$a_{hv} = \sqrt{a^2_{hwx} + a^2_{hwy} + a^2_{hwz}} \quad (2)$$

$A(8)$: m/s^2 cinsinden, günlük titreşime maruz kalma,

a_{hv} : m/s^2 cinsinden titreşim büyüklüğü,

a_{hwi} : m/s^2 cinsinden, i işlemi için frekans ağırlıklı elle iletilen titreşimin tek eksenli karelerinin ortalama karekök değeridir. Formülde k , y veya z ekleri, ölçme yönünü göstermek için kullanılır.

T : Titreşime maruz kalınan toplam süre (günlük),

T_0 : 8 saatlik referans süre.

Titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi için taşlama yöntemleri gruplandırılmış ve 5 farklı metod üzerinde çalışılmıştır.

1. Bir masada yapılan taşlama işlemi: Döküm parçanın ayırım yüzeyi çapağının, çıkıcılarının, besleyici gibi malzemelerin spiral taş motoru, avuç içi taşlama motoru ile temizlendiği işlemdir. Bu işlem için 6 operatör üzerinde ölçümler yapılmıştır.
2. Final taşlama işlemi: Döküm parçanın ayırım çapağı gibi istenmeyen kısımları taşlandıktan sonra final operasyonları için daha hassas işlemlerin yapıldığı taşlama işlemdir.
3. Bir döndürücüye bağlı motor blok taşlama işlemi: Motor blok parçası yatay olarak iki tarafından dönebilen bir döndürücü makinaya bağlanarak iç çapakları ve girintili bölgeleri havalı çekikle temizleme işlemidir.
4. Bir makinaya bağlı döküm parçanın askılı taşlama diski (swing frame) ile yapılan taşlama işlemi: Döküm parçanın sabit bir makinaya bağlanarak taşlama diskinin iki kolla tutulması ve diskin bir mekanizma ile asılı olması işlemidir.
5. Yere sabit taşlama makinasında taşlama işlemi: Yere sabit bir taşlama tezgahında döküm parçanın elle hareket ettirilmesi ile yapılan işlemdir.

4. Bulgular (Results)

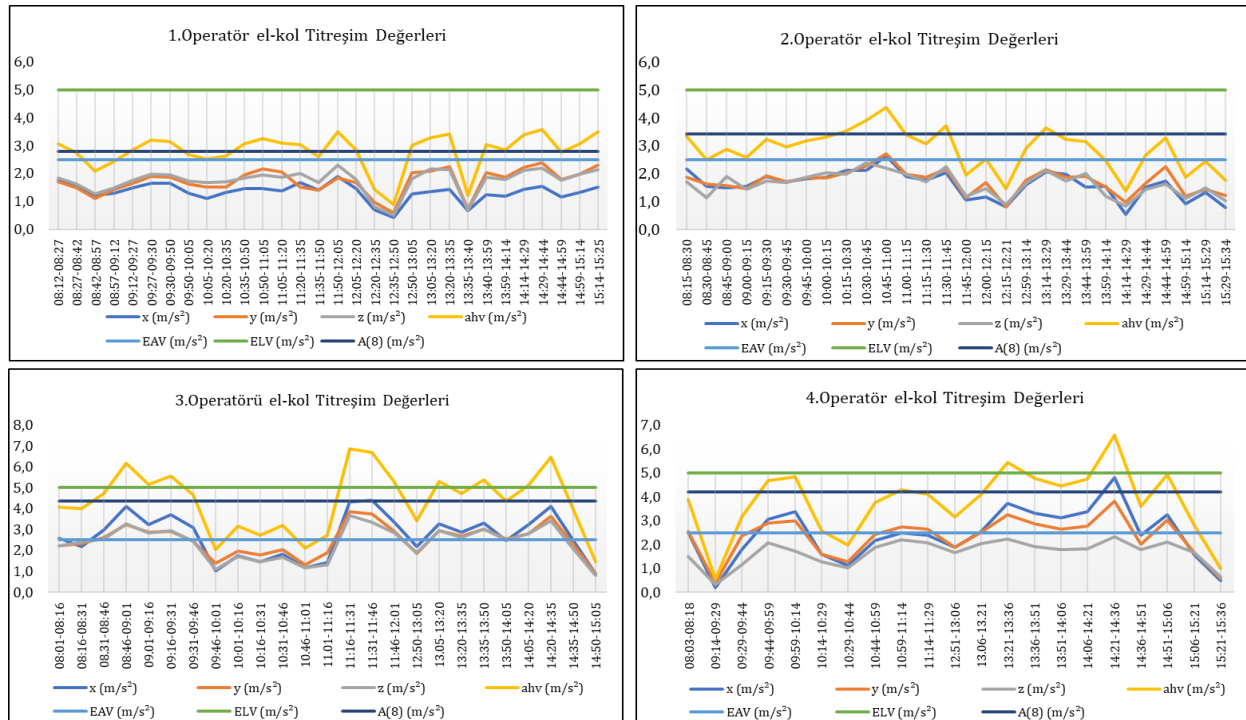
Ölçümler neticesinde elde edilen görev bazlı titreşim değerleri tablolar şeklinde verilmiştir. Ayrıca her bir operatörün bir vardiya boyunca her 15 dakikalık ortalama değerleri grafiksel olarak gösterilmiş ve pik değerleri irdelenmiştir.

4.1. Bir Masada Yapılan Taşlama İşleminde Operatörlerin Titreşim Bulguları (Vibration Findings of Operators in Grinding on a Table)

Döküm parçanın çapak ve çıkıcılarının spiral taşlama motorları ile taşlanarak temizlenmesi ve deliklerdeki tıkanıklığın havalı çekiç ile açıldığı işlemlerde altı (6) operatör üzerinde ölçümler yapılmıştır. 35 yaşında olan birinci ve 43 yaşında olan ikinci operatör havalı taşlama makinası kullanmıştır. Ölçümler yaklaşık 8 saat sürmüştür. Genel olarak x, y, z yönündeki titreşim büyüklükleri birinci operatörde 1,35 ile 1,75 m/s² arasında değişmiş ve bu değerlerin A(8) günlük titreşim maruziyeti değeri 2,8 m/s² elde edilmiş ve toplam büyüklük 2,5 m/s² değerinin üzerine çıkmıştır. "Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik" (ÇSGB, 2013) incelendiğinde el kol titreşimi için günlük maruziyet eylem değeri 2,5 m/s² ve günlük maruziyet sınır değeri 5,0 m/s²'dir. Dolayısıyla çalışanlarda ölçülen titreşim değerleri, çalışanların titreşimden kaynaklı risklerden etkilenebileceğini göstermektedir. İkinci operatörde 1,62 ile 1,73 m/s² arasında değişmekte ve buna bağlı olarak A(8) 3,41 m/s² olarak hesap edilmiştir. Üç ve dördüncü operatörlerin x, y, z titreşim büyüklükleri 2,5 m/s² civarında ölçülmüş olup günlük maruziyet düzeyi A(8) her üç operatör için Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelikte verilen eylem değeri aşılmıştır. Beşinci operatör genelde 2,5 m/s²'nin altında değerler ölçülmüştür. Altıncı operatör boyut olarak küçük döküm parçaları avuç içi el taşlama motoru ile taşıdığı için x, y ve z değerleri 1,5 ile 2 m/s² arasında ölçülmüştür. Beşinci ve altıncı operatörün grafikleri verilmemiştir (Tablo 2 ve Şekil 3).

Tablo 2. Döküm Parça Taşlama Operatörleri Titreşim Değerleri (Cast Part Grinding Operators Vibration Values)

Yapılan İşlem	Kullanılan el aletleri	Operatörlerin yaşı	Titreşim büyüklüğü			A(8) (m/s ²)
			x yönü (m/s ²)	y yönü (m/s ²)	z yönü (m/s ²)	
Bir masada yapılan taşlama işlemi	Poz 1,2,3,4 (Tablo 1)	1.Operatör (35)	1,35	1,72	1,75	2,80
		2.Operatör (43)	1,63	1,73	1,62	3,41
		3.Operatör (30)	2,70	2,49	2,36	4,37
		4.Operatör (41)	2,43	2,33	1,67	4,20
		5.Operatör (42)	1,23	1,52	1,23	2,32
		6.Operatör (25)	1,38	1,64	1,35	2,53



Şekil 3. 1-2-3-4 No'lu Operatörlerin 8 Saatlik Titreşim Değerleri Grafiği (8-Hour Vibration Values Graph For Operator 1-2-3-4)

4.2. Döküm Parça Final Taşlama Operatörleri Titreşim Bulguları (Cast Part Final Grinding Operators Vibration Findings)

Çapakları ve diğer fazlalıkları taşlama motorlarıyla alınmış döküm parçalar final temizlik işlemine alınırlar. Bu aşamada yapılan ölçümlerde tablo 3’de ki değerler elde edilmiştir. Yedinci operatör motor blok kafa parçasının yüzey çapaklarını alma işleminde girintili kısımlarındaki kum fazlalıklarını havalı çekiç ile temizlerken 08:26 ile 08:41 saatleri arasında 15 dakikada ortalama x,y,z yönlerinde 48 m/s^2 titreşim büyüklüklerine maruz kalmıştır. Buna göre a_{hv} $83,3 \text{ m/s}^2$ hesap edilmiştir. Sekiz saatlik maruziyeti ise $A(8)$ $12,76 \text{ m/s}^2$ olmuştur (Şekil 4). Dokuz nolu operatör saat 11:45 ile 12:00 arasında $x=72,8$, $y=108,7$, $z=110,6 \text{ m/s}^2$ büyüklüklere maruz kalmış bunun sonucunda titreşim büyüklüğü (a_{hv}) 171 m/s^2 , $A(8)$ de $8,92 \text{ m/s}^2$ olarak hesap edilmiştir (Şekil 4). On üçüncü operatör ise saat 14:55 ile 15:10 arasında $x=37,5$, $y=24,9$, $z=30,8 \text{ m/s}^2$ büyüklükler tespit edilmiş ve buna bağlı olarak a_{hv} $54,6 \text{ m/s}^2$ olarak hesap edilmiştir. $A(8)$ değeri ise $6,91 \text{ m/s}^2$ dir (Tablo 3). On beşinci operatör 08:24 ile 08:39 arasında 15 dakika boyunca $143,5$, $74,2$ ve $138,5 \text{ m/s}^2$ x, y, z titreşim büyüklüklerine maruz kalmıştır. Bu maruziyet sırasında operatör havalı çekiç ile dişli kutusu parçasında girintili kısımlarda kum hatalarını temizlemiş ve havalı çekicinin titreşimine maruz kalmıştır ve $A(8)$ $12,65 \text{ m/s}^2$ titreşim günlük maruziyetleri elde edilmiştir (Şekil 4). Dokuz ve on üç nolu operatörler titreşimin pik yaptığı 15 dakikalık aralıkta Şekil 4’de gösterildiği gibi parça iç yüzeyinde ki maça kaynaklı hataları havalı çekiç ile temizlemek için çalışmış ve yüksek titreşime maruz kalmıştır. Sekiz, onbir ve on iki nolu operatörler hariç tüm operatörler Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelikte verilen eylem değeri ve sınır değerini aşmış sadece 14 nolu operatör sınır değeri aşmamıştır.

Tablo 3. Döküm Parça Taşlama Final Operatörleri Titreşim Değerleri (Casting Part Grinding Final Operators Vibration Values)

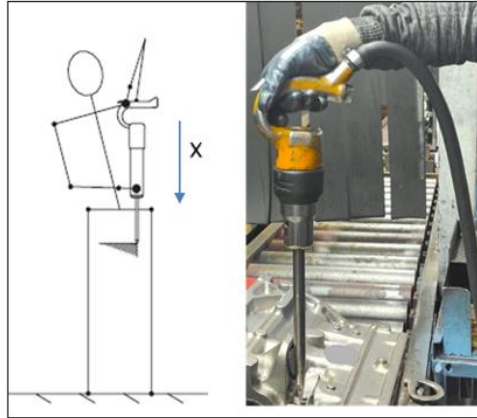
Yapılan İşlem	Kullanılan el aletleri	Operatörlerin yaşı	Titreşim büyüklüğü			A(8) (m/s ²)
			x yönü (m/s ²)	y yönü (m/s ²)	z yönü (m/s ²)	
Final Taşlama İşlemi	Poz 1,2,3,4 (Tablo 1)	7.Operatör (27)	7,79	7,58	6,69	12,76
		8.Operatör (24)	1,58	1,82	1,47	2,82
		9.Operatör (39)	4,18	5,59	5,55	8,92
		10.Operatör (47)	3,24	3,58	3,08	5,73
		11.Operatör (19)	0,89	1,19	1,01	1,80
		12.Operatör (21)	1,27	1,33	1,25	2,22
		13.Operatör (38)	3,92	4,18	3,87	6,91
		14.Operatör (39)	1,96	1,87	1,88	3,30
		15.Operatör (36)	7,99	5,61	8,04	12,65



Şekil 4. 7,9,13,15 No’lu Operatörlerin 8 Saatlik Titreşim Değerleri Grafiği (8-Hour Vibration Values Graph For Operator 7,9,13,15)

4.3. Motor Blok Taşlama Operatörleri Titreşim Bulguları (Engine Block Grinding Operators Vibration Findings)

Motor blok taşlama sırasında yapılan iki ölçümde birbirinden çok farklı değerler elde edilmiştir. Buna göre on altıncı operatör x yönünde $94,48 \text{ m/s}^2$ titreşime maruz kalırken aynı operatörün y ve z yönlerindeki değerleri $10,05$ ve $11,36 \text{ m/s}^2$ olarak ölçülmüştür. Toplam maruziyet değeri $A(8)$ ise $95,69 \text{ m/s}^2$ olarak hesap edilmiştir. On yedinci operatör x yönünde $4,61 \text{ m/s}^2$, y yönünde $5,35 \text{ m/s}^2$, z yönünde ise $5,90 \text{ m/s}^2$ titreşime maruz kalmış olup, toplam maruziyet değeri ise $9,20 \text{ m/s}^2$ olarak hesap edilmiştir. On altıncı operatör Şekil 5'de ki gibi havalı çekiç ile motor bloktaki girintili kısımları, On yedinci operatör ise spiral taş motoru ile motor blok temizleme işlemi yapmıştır. Havalı çekiç kullanan operatörün x yönünde döküm parçaya çekiç darbeleri uyguladığı (Şekil 5) ve döküm parça üzerinde istenmeyen kum hatalarını temizlediği tespit edilmiştir (Tablo 4). Şekil 13 de ki grafikte saat 13:21 de başlayıp vardiya sonuna kadar süren x yönündeki maruziyet verilmiştir. X yönünde operatörün kollarına yaklaşık 550 m/s^2 titreşim büyüklüğü iletilmiştir (Şekil 6). Bu değerler Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelikte verilen eylem değeri ve sınır değerlerinin çok üstünde değerler olup çalışanlar titreşim risklerine maruz kalmışlardır.

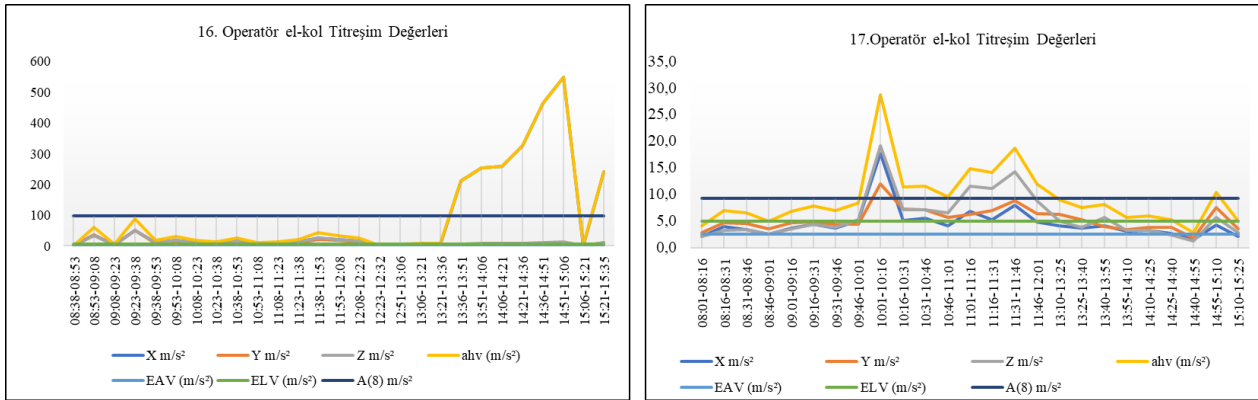


Şekil 5. Havalı Çekiç İle Motor Blok Temizleme İşlemi (Engine Block Cleaning With Air Hammer) (Amstrong vd., 2002)

Tablo 4. Motor Blok Taşlama Operatörleri Titreşim Değerleri (Engine Block Grinding Operators Vibration Values)

Yapılan İşlem	Kullanılan el aletleri	Operatörlerin yaşı	Titreşim büyüklüğü			A(8) (m/s ²)
			x yönü (m/s ²)	y yönü (m/s ²)	z yönü (m/s ²)	
Motor blok taşlama	Poz 1,2,3 (Tablo 1)	16.Operatör (39)	94,48	10,05	11,36	95,69
		17.Operatör (45)	4,61	5,35	5,90	9,20

+



Şekil 6. 16, 17 No'lu Operatörlerin 8 Saatlik Titreşim Değerleri Grafiği (8-Hour Vibration Values Graph For Operator 16,17)

4.4. Sabit Taşlama Makinası Operatörü Titreşim Bulguları (Stationary Grinding Machine Operator Vibration Findings)

Yere sabit olan bir makinada yapılan taşlama işleminde (Şekil 7) yapılan ölçümlerde titreşim büyüklükleri sırasıyla x, y, z yönlerinde $12,45$, $10,54$ ve $12,30 \text{ m/s}^2$ olarak ölçülmüş $A(8)$ değeri $20,43 \text{ m/s}^2$ olarak hesap edilmiştir (Tablo 5). Operatör bu tezgahta taşlama yaparken dönen bir diske döküm parçayı yaklaştırıp uzaklaştırma şeklinde taşlanacak parçayı hareket ettirmiştir. Parçayı diske temas ettirip kuvvet uygulama ve

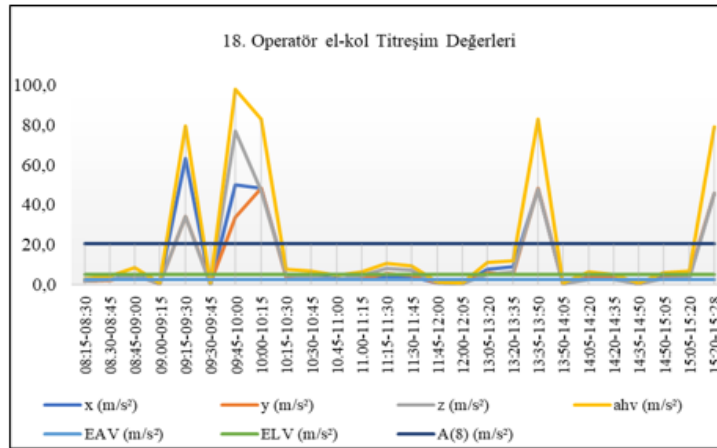
çapağın taşlanması sağlama şeklinde çalışmıştır. On sekiz nolu operatörün çalışma sırasında yönetmelikte verilen eylem ve sınır değerleri aştığı görülmektedir (Şekil 8).

Tablo 5. Sabit Taşlama Makinası Operatörleri Titreşim Değerleri (Stationary Grinding Machine Operators Vibration Values)

Yapılan İşlem	Kullanılan el aletleri	Operatörlerin yaşı	Titreşim büyüklüğü			A(8) (m/s ²)
			x yönü (m/s ²)	y yönü (m/s ²)	z yönü (m/s ²)	
Sabit taşlama makinesinde taşlama	Poz 6 (Tablo 1)	18. Operatör (44)	12,45	10,54	12,30	20,43



Şekil 7. Taşlama Tezgaahında Taşlama İşlemi (Grinding Operation)



Şekil 8. 18 No'lu Operatörün El-Kol Titreşim Değerleri (Grinding Operator (18) Hand-Arm Vibration Values)

4.5. Askılı Taşlama Makinasında Parça Taşlama Operatörleri Titreşim Bulguları (Workpiece Grinding Operators Vibration Findings on a Pendant Grinder)

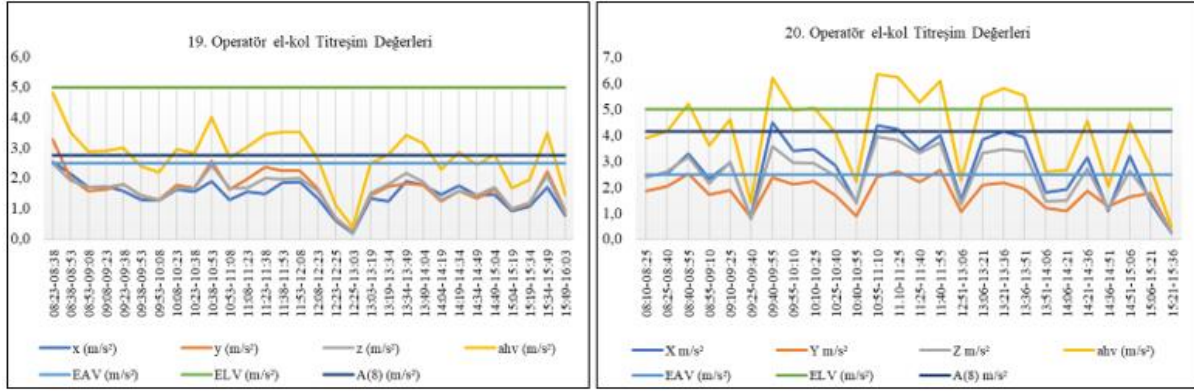
Döküm parça bir mekanizmaya bağlanarak sabitlenir ve taşlama diski hareket ettirilerek taşlama yapılır. Bu işlem sırasında yukarıya asılmış taşlama diskinin kolları operatör tarafından iki elle tutularak taşlama işlemi gerçekleştirilir (Şekil 9). Çalışma sırasında üç operatör üzerinde yapılan ölçümlerde 1,48 m/s² ile 2,78 m/s² arasında titreşim büyüklükleri tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak A(8) değerleri 2,75, 4,14 ve 3,70 m/s² olarak hesap edilmiştir (Tablo 6, Şekil 10).

Tablo 6. Askılı Taşlama Makinası Operatörleri Titreşim Değerleri (Vibration Values For Swing Frame Grinder Operators)

Yapılan İşlem	Kullanılan el aletleri	Operatörlerin yaşı	Titreşim büyüklüğü			A(8) (m/s ²)
			x yönü (m/s ²)	y yönü (m/s ²)	z yönü (m/s ²)	
Askılı taşlama makinası ile taşlama	Poz 5 (Tablo 1)	19.Operatör (43)	1,48	1,66	1,61	2,75
		20.Operatör (44)	2,78	1,78	2,50	4,14
		21.Operatör (38)	2,00	2,23	2,18	3,70



Şekil 9. Askılı Taşlama Operasyonu (Swing Frame Grinding Operation)



Şekil 10. 19,20 No'lu Operatörlerin 8 Saatlik Titreşim Değerleri Grafiği (8-Hour Vibration Values Graph For Operator 19,20)

5. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada yapılan titreşim ölçümlerinden elde edilen veriler ile literatürde ki benzer çalışmalar kıyaslanarak tartışılmıştır.

NIOSH tarafından yayınlanan Vibration Syndrome başlıklı bir çalışmada 147 dökümhane işçisi titreşim sendromu ve çalışma süresi açısından değerlendirilmiştir. Bu veriler, dökümhanelerde ve benzer alet ve işlemlerin bulunduğu diğer işyerlerinde titreşim sendromunun potansiyel tehlikelerini ortaya koymuştur. Titreşime maruz kalan yıllar ile vibrasyon sendromunun şiddeti arasında doğrudan bir ilişki vardır. 1,5 yıl veya daha az maruz kalan işçilerin %31'inde, 1,5 ile 3 yıl arasında maruz kalan işçilerin %41'inde ve işçilerin %71'inde evre 1 veya daha fazla şiddette vibrasyon sendromu saptanmıştır. Tersane çalışanları arasında da benzer bir ilişki olduğu belirtilmiştir (NIOSH, 1983).

Gerhardsson ve arkadaşları tarafından yayınlanan bir makalede 15 dökümhane işçisinin günlük titreşim değerinin $6,2 \text{ m/s}^2$ olduğu bildirilmiştir (min. 2 m/s^2 ve max. $8,9 \text{ m/s}^2$). İncelenen dökümhanede en yüksek titreşim değeri havalı keski makinesinde ölçüldüğü belirtilmiştir (20 m/s^2) (Gerhardsson vd., 2021). Gerhardsson ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar, bu çalışmada yapılan döküm parça taşlama el kol titreşim ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında havalı keski makinesi ile yapılan operasyonda ölçülen değer $9,2 \text{ m/s}^2$ ile $95,69 \text{ m/s}^2$ arasında değiştiği için (Tablo 4) Gerhardsson ve arkadaşlarının elde ettiği değerlere göre yüksek çıktığı anlaşılmaktadır.

Reynolds ve arkadaşları tarafından 1983 yılında yayınlanan makalede taşlama operatörlerinin titreşim büyüklüklerinin 6 ile 21 m/s^2 arasında değiştiği bildirilmiştir (Reynolds vd., 1983). Bu çalışmada beş farklı yöntem üzerinde yapılan ölçümlerde ise $1,79 \text{ m/s}^2$ ile $95,69 \text{ m/s}^2$ arasında değişen değerler elde edilmiş olup Reynolds ve arkadaşlarının çalışması ile kıyaslandığında $95,69 \text{ m/s}^2$ değerinin 21 m/s^2 değerine göre yaklaşık beş kat yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Taylor ve arkadaşları 1981 yılında yayınladıkları bir çalışmada bir dökümhanede ortalama 4 yıl maruziyeti olan havalı çekiç ve taşlama motoru kullanan 49 işçide el kol titreşim değerini 424 m/s^2 olarak belirtmişlerdir (NIOSH, 1989). Bu değer HSE (Health and Safety Executive) hazır hesap tablosunda yaklaşık olarak 10 m/s^2 değerine denk gelmektedir. Taylor ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar bu çalışmada yapılan 8 saatlik titreşim ölçümünün sonuçları ile kıyaslandığında benzer değerlerin ortaya çıktığı söylenebilir.

Sağlam, "Çalışma Hayatında Maruz Kalınan Titreşimin Ölçülmesi ve Bu Maruziyetten Kaynaklanan Titreşimin

İnsan Sağlığına Etkisi” konulu tezinde el kol titreşimi için yapılan ölçümlerde en yüksek değer tersanecilik sektöründeki taşlama titreşim değerinin ($14,1 \text{ m/s}^2$) olduğunu belirtmiştir (Sağlam, 2011). Bu makalede ölçtüğümüz değerler ile kıyaslandığında Sağlam’ın elde ettiği sonuçlar ile bu makaledeki sonuçların benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Clarke ve arkadaşları tarafından 1986 yılında yayınlanan bir çalışmada keskiden ele gelen titreşimin 24 m/s^2 değerlere çıktığını ve bu durumun beyaz parmak hastalığına sebep olabileceğini belirtmişlerdir (Clarke, 1986). Bu çalışmada ise motor blok taşlamada kullanılan havalı keski (çekiç)’den ele geçen titreşim $95,69 \text{ m/s}^2$ olarak ölçülmüş ve Clarke’ın çalışmasındaki değere göre yüksek çıkmıştır.

Christ, 2004 yılında Amerika’da yapılan 10.Uluslararası El Kol Titreşim Kongresinde yayınladığı çalışmasında taşlama motoru ile taşlama yapan çalışmada $x:5,4 \text{ m/s}^2$, $y:6,7 \text{ m/s}^2$ ve $z:6,4 \text{ m/s}^2$ olarak ölçmüş ve a_{hv} ’nin $10,7 \text{ m/s}^2$ olduğunu bildirmiştir (Christ, 2004). Christ’in elde ettiği sonuçları bu makaledeki sonuçlar ile kıyasladığımızda benzer değerlerin ölçüldüğü söylenebilir.

Lindell ve arkadaşları 2015 yılında Beijing’de yayınladıkları bir makalede taşlama motoru ile yaptıkları ölçümde $7,1 \text{ m/s}^2$ titreşim değeri elde ettiklerini bildirmişlerdir (Lindell vd., 2015). Bu makalede taşlama motoru ile yapılan ölçümlerde ortalama 4 m/s^2 titreşim değerleri ölçülmüş ve Lindell ve arkadaşlarının sonuçlarına göre düşük değerler elde edilmiştir.

Bovenzi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada 1 ile 12 yıl kıdemi olan dökümhane işçilerinde yapılan ölçümlerde taşlama operatörlerinde x, y, z toplamı $8,9 \text{ m/s}^2$ olduğunu belirtmişlerdir. (Bovenzi vd., 1983) Bu makalede ise birinci grup (Tablo 2) operatörün titreşim değerleri ortalaması $3,27 \text{ m/s}^2$, ikinci grup (Tablo 3) taşlama operatörlerinin titreşim değerlerinin ortalaması $6,34 \text{ m/s}^2$ olarak tespit edilmiş ve Bovenzi ve arkadaşlarının sonuçlarına göre düşük değerler elde edilmiştir.

Xie ve arkadaşları otomobil parçaları dökümü ve montajı yapan bir fabrikada EN 5349’a göre yaptıkları titreşim 8 saatlik ölçümlerinde; taşlama çarkı $1,61$ ile $8,97 \text{ m/s}^2$, iç taşlama işleminde $1,46$ ile $8,70 \text{ m/s}^2$ ve havalı çekiçte $11,10$ ile $14,50 \text{ m/s}^2$ arasında değişen titreşim değerleri (a_{hv}) elde etmişlerdir (Xie vd., 2016). Bu makalede elde edilen veriler ile kıyaslandığında özellikle havalı çekiçte elde edilen değerlerin benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Liljelind ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada döküm parça taşlama operatörünün maruz kaldığı titreşim büyüklüğünün $3,4 \text{ m/s}^2$ olarak ölçüldüğünü bildirmişlerdir (Liljelind vd., 2011). Bu çalışmada ise benzer pozisyonda çalışan taşlama operatörleri ortalama $3,27 \text{ m/s}^2$ titreşime maruz kalmış olup kıyaslama yapıldığında değerlerin benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Tablo 7. Literatürde ki Titreşim İle İlgili Çalışmalar (Studies on Vibration in The Literature)

Araştırmacılar	Çalışma Konusu	Bulgular
Gerhardsson vd.	15 dökümhane işçisinde titreşim ölçülmesi	<ul style="list-style-type: none"> A(8):$6,2 \text{ m/s}^2$ En yüksek titreşim değeri: A(8):20 m/s^2 (Havalı keski)
Reynolds vd.	Taşlama operatörlerinde titreşim ölçümü	<ul style="list-style-type: none"> A (8) -->6 ile 21 m/s^2 arasında değişen değerler elde edilmiştir
Taylor vd.	49 dökümhane işçisinde titreşim ölçümü	<ul style="list-style-type: none"> A(8):10 m/s^2
Sağlam	Tersane taşlama işçileri titreşim ölçümü	<ul style="list-style-type: none"> A(8):$14,1 \text{ m/s}^2$
Clarke	Keskiden gelen titreşim	<ul style="list-style-type: none"> a_{hv}:24 m/s^2
Christ	Taşlama motorundan ele geçen titreşim	<ul style="list-style-type: none"> a_{hv}:$10,7 \text{ m/s}^2$
Lindell vd.	Taşlama motorundan ele geçen titreşim	<ul style="list-style-type: none"> a_{hv}:$7,1 \text{ m/s}^2$
Bovenzi vd.	Dökümhane işçilerinde titreşim ölçümü	<ul style="list-style-type: none"> A(8):$8,9 \text{ m/s}^2$
Xie vd.	Otomobil parçaları dökümü ve montajında ölçümler	<ul style="list-style-type: none"> Taşlama çarkı a_{hv}: $1,61$ ile $8,97 \text{ m/s}^2$ İç taşlama işleminde a_{hv}: $1,46$ ile $8,70 \text{ m/s}^2$ Havalı çekiçte a_{hv}: $11,10$ ile $14,50 \text{ m/s}^2$
Liljelind vd.	Döküm parça taşlama	<ul style="list-style-type: none"> A(8):$3,4 \text{ m/s}^2$

Tablo 7 incelendiğinde literatürde dökümhane işlerinde titreşim ile ilgili çalışmalar yapıldığı anlaşılmaktadır.

Yazarların elde ettiği titreşim değerleri ile bu makalede elde edilen değerlerin benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Döküm yöntemi ile elde edilen teknolojik parçalarda çapak oluşumu mümkün olduğu kadar engellenmeye çalışılmakta ancak her şeye rağmen ayırım yüzeyi çapağı, çıkıcı vb. fazlalıklar engellenememektedir. Bu fazlalıklarda döküm parça sevk edilmeden önce temizlenmeli ve müşteriye çapaksız parça gönderilmelidir. Temizleme ya da dökümcülükteki adıyla "tamamlama" birçok taşlama metodunu barındırmaktadır. Çalışmamızda incelenen temizleme metodlarından havalı çekiç ile motor blok parçasının deliklerinin temizlenmesi işleminde birinci operatörde x yönünde ölçülen $95,7 \text{ m/s}^2$ titreşim değeri ile dikkat çekmektedir. İkinci operatörde ise $4,61$ ile $5,90 \text{ m/s}^2$ arasında değerler elde edilmiştir. İki ölçüm arasındaki fark motor blok girintili yüzeylerde oluşan döküm kumunun yüzeye yapışmış kısımlarının temizlenmesinden kaynaklanmaktadır. Döküm parçada, yüzeyde veya girintili kısımlarda oluşabilecek bu tür döküm hataları operatörlerin havalı çekici dik vaziyette ve yüksek kuvvetle uygulamalarına bu da çok yüksek titreşim değerlerine sebep olacaktır. Motor blok taşlamadaki yüksek titreşim değerlerine nazaran düşük olan ancak limit değerlerin üstünde olan başka titreşim değerleri ölçülmüştür. Bu değerler final taşlama yapan 1., 3. ve 9. operatörlere aittir. Bu ölçümlerde operatörler havalı çekici her üç yönde de (x,y,z) neredeyse eşit titreşim büyüklüklerine sebep olacak şekilde motor blok kafa parçasının deliklerine uygulamıştır. Yere sabitlenmiş bir taşlama tezgahının diskine döküm parçanın çapaklı kısımlarının bastırılarak fazlalıklarının temizlenmesinde 12 m/s^2 seviyelerinde büyüklükler elde edilmiştir. A(8) hesaplandığında operatörün maruz kaldığı titreşim büyüklüğü $20,43 \text{ m/s}^2$ olarak hesap edilmiştir ve bu değer günlük limit değerinin yaklaşık 4 katıdır. Aynı zamanda Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik'te verilen eylem değeri ve sınır değerlerini aştığı görülmektedir. Taşlama diskinin bağlı olduğu mekanizmayı iki elle tutan operatörlerde ise titreşim değerleri $1,5 \text{ m/s}^2$ ile $2,5 \text{ m/s}^2$ arasında değişmiştir ve yönetmelikte verilen değerlerin altında kalmıştır. Yere sabit olan taşlama diskine göre düşük olmasının nedeni diskin bir mekanizma ile asılı şekilde taşlama yapmasıdır. Bu durumda el ve kola iletilen titreşim büyüklüğünün azalmasına yardımcı olmaktadır. Tüm operatörler için Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik'te verilen eylem ve sınır değerlerine göre günlük maruziyet değerleri değerlendirilmiştir Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Elde edilen günlük maruziyet değerlerinin "Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik"te verilen eylem değeri ve sınır değerleri ile kıyaslanması (Comparison of the daily exposure values obtained with the action value and limit values given in the "Regulation on the protection of employees from vibration-related risks")

Operatör No	A(8) m/s^2	El-kol titreşimi için Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet		Değerlendirme
		Eylem değeri (m/s^2)	Sınır değeri (m/s^2)	
1.Operatör	2,80	2,5	5	Eylem değeri aşılmış, sınır değerinin altında kalmıştır.
2.Operatör	3,41	2,5	5	Eylem değeri aşılmış, sınır değerinin altında kalmıştır.
3.Operatör	4,37	2,5	5	Eylem değeri aşılmış, sınır değerinin altında kalmıştır.
4.Operatör	4,20	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.
5.Operatör	2,32	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmamıştır.
6.Operatör	2,53	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.
7.Operatör	12,76	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
8.Operatör	2,82	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.
9.Operatör	8,92	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
10.Operatör	5,73	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
11.Operatör	1,80	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmamıştır.
12.Operatör	2,22	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmamıştır.
13.Operatör	6,91	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
14.Operatör	3,30	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.
15.Operatör	12,65	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
16.Operatör	95,69	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
17.Operatör	9,20	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
18.Operatör	20,43	2,5	5	Hem eylem hem sınır değeri aşılmıştır.
19.Operatör	2,75	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.
20.Operatör	4,14	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.
21.Operatör	3,70	2,5	5	Eylem değeri aşılmış sınır değerinin altında kalmıştır.

Döküm parçaların taşlanması işlerinde ölçülen yüksek titreşim değerlerinin nedeni döküm sırasında oluşan döküm hatalarıdır. Bunun önlenmesi için özellikle havalı çekiç kullanımına ihtiyaç duyulmayacak şekilde döküm parametreleri ayarlanmalı ve temizleme işleminde yüksek titreşime neden olmayacak şekilde parça üretilmelidir. İkincil önlem olarak parça taşlama yöntemi üzerinde düşünülmeli ve titreşim yaratmayacak

yöntemler seçilmeye çalışılmalıdır. Örneğin motor blok içerisindeki kumları titreşimli bir mekanizma ile el değmeden temizlemek bu yöntemlerden biri olabilir.

Bu çalışma titreşim ölçümleri kısa süreler yerine 8 saat süreyle kesintisiz olarak ölçülmüş ve 15 dakikalık değerler kaydedilerek sonuçlar verilmiştir. Döküm parça taşıma yapılırken kısa sürelerde yapılan ölçümlerin sürecin tamamını yansıtmayacağı ve dolayısıyla hatalı sonuçlar vereceğini bunun yerine ölçümlerin bir vardiya boyunca yapılmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceğini göstermektedir. İleride geliştirilecek daha teknolojik ölçüm cihazları ile 8 saatlik sürenin tamamı tek bir grafikte verilebilir. Bu çalışmanın literatürde ki bu eksikliği gidermeye yol açacağını düşünüyoruz.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın oluşunda katkılarını sunan Sn. Ertuğrul İri, Sn. Kerem Topal, Sn. Serdar Pala ve Sn. Sedat Can Türk'e en derin teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Armstrong T.J., Marshall M.M., Martin B.J., Foulke J.A., Grieshaber D.C., Malone G., 2002. Exposure to forceful exertions and vibration in a foundry, *International Journal of Industrial Ergonomics* 163-179.
- Barot R.S., Patel J., Sharma B., Rathod B., Solanki H., Patel Y., 2020. Lean six sigma feasibility and implementation aspect in cast iron foundry, *Materials Today: Proceedings*, Volume 28, Part 2, Pages 1084-1091.
- Bovenzi M., Fiorito A., Giansante C., Calabrese S., Negro C., 1983. Platelet function and clotting parameters of vibration-exposed foundry workers, *Scand J Work Environ Health* 1983;9(4):347-352.
- Bovenzi M., 2021. Hand-Transmitted Vibration, *ilocis.org*, <https://www.iloencyclopaedia.org/>, Yayın tarihi : Mart 2011, Erişim tarihi Ekim 10, 2021.
- Burström L., Neely G., Lunström R., Lilsson T., 2019. Occupational exposure to vibration from hand-held tools: a teaching guide on health effects, risk assessment and prevention, *World Health Organization*.
- Carraa S., Monicaa L., Vignali G., 2019. Reduction of workers' hand-arm vibration exposure through optimal machine design: AHP methodology applied to a case study. *Safety Science* 120, 706-727, 201
- Christ E., 2004. Method For Assessing The Reduction Of The Risk Of Musculoskeletal Disorders By Using Ergonomically Designed Vibrating Tools, p195-200, *Conference Proceedings, 10th International Conference on Hand-Arm Vibration*, 7-11 June 2004, Las Vegas, Nevada, USA.
- Clarke J.B., William D., John F. G., 1986. Chipping hammer vibration, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* Vol. 12, No. 4, Fourth international symposium on hand-arm vibration: pp. 351-354 Published By: *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*.
- ÇSGB, 2013. Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik.
- Directive 2002/44/EC, The European Parliament And Of The Council, Article 3, Exposure limit values and action values.
- Gerhardsson L., Ahlstrand C., Ersson P., Jonsson P., Gustafsson E., 2021. Vibration related symptoms and signs in quarry and foundry workers, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 94(3):1-8.
- Hand-Arm Vibration In Foundries, 2001. Applications for reproduction should be made in writing to: Copyright Unit, Her Majesty's Stationery Office, St Clements House, 2-16 Colegate, Norwich NR3 1BQ ISBN 0 7176 1798, p:6.
- Health and Safety Executive, 2019. Hand-arm vibration, The Control of Vibration at Work Regulations, Guidance on Regulations, <https://www.hse.gov.uk/vibration/hav/regulations.htm>, Yayın tarihi 2019, Erişim tarihi Aralık 15, 2021
- ISO 5349-1, 2021. Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration. *International Organization for Standardization*.
- Kaya Ö., Özok A.F., 2018. Hazır Giyim İşletmelerinin Ergonomik Risk Etmenleri Yönünden Değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 6 (ÖS: Ergonomi 2017), 263-270, 2018 e-ISSN: 1308-6693.
- Liljelind I., Wahlstro J., Nilsson L., Toomingas A., Burstrom L., 2011. Variability in Hand-Arm Vibration During Grinding Operations, *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 55, No. 3, pp. 296-304.
- Lindell H., Grétarsson S.L., Maches M., 2015. High frequency shock vibrations and implications of ISO 5349 - Measurement of vibration, simulating pressure propagation, risk assessment and preventive measures, *Hand-arm vibration: Exposure to isolated and repeated shock vibrations -Review of the International Expert Workshop 2015 in Beijing*, p: 18-30.
- Mgonja, C.A., 2017. A Review on Effects of Hazards in Foundries to Workers and Environment, *IJISSET International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 4 Issue 6, page 324-336.
- NIOSH, 1989. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hand-Arm Vibration, p:51
- NIOSH, 1983. Vibration Syndrome, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/83-110/default.html/> *Current Intelligence Bulletin* 38, DHHS (NIOSH) Publication Number 83-110, Yayın tarihi Mart 1983, Erişim tarihi Ekim 10, 2021
- Pelmear P.L., Leong D., Taraschuk I., Wong L., 1986. Hand-Arm Vibration Syndrome in Foundrymen and Hard Rock Miners, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* Vol.5 No.1, page 26-43.

- Reynolds D.D., Basel R., Wasserman D.E., Taylor W., 1983. A Study Of Hand Vibration On Chipping And Grinding Operators, Part I:Vibration Acceleration Levels Measured On Pneumatic Tools Used In Chipping And Grinding Operations, Journal of Sound and Vibration 95(4), 479-497.
- Safe Work Australia, 2013 Guide To Managing Risks Associated With Foundry Work, 2013. Vibration, <https://www.safeworkaustralia.gov.au/system/files/documents/1702/guide-managing-risks-associated-foundry-work.docx>, Yayın tarihi Nisan, 2013, Erişim tarihi Kasım 11, 2021
- Sağlam, H., 2011. Çalışma Hayatında Maruz Kalınan Titreşimin Ölçülmesi Ve Bu Maruziyetten Kaynaklanan Titreşimin İnsan Sağlığına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Shen S.C., House R.A., 2017. Hand-arm vibration syndrome, What family physicians should know, Can Fam Physician, p:206-210.
- Şahin O., Özay M.E., Uçan R., 2021. Dökümhane Maça Üretim Çalışmalarında İş Sağlığı ve Güvenliği, Cilt no:1, Editör:İsa Burak Güngör, Efe Akademi Yayınevi, ISBN:978-625-7664-40-0, İstanbul.
- Tunay M., Emir T., 2015. Farklı Ağaç Türleri Üzerinde Motorlu Testerelerden Operatöre İletilen El kol Titreşimlerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 3(3),ÖS:Ergonomi2015,441-447,2015 ISSN:1308-6693.
- Vhihlborg P., Bryngelsson LI., Lindgren B., Gunnarsson GL., Graff P., 2017. Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry, International Journal of Industrial Ergonomics p:1-5.
- Xie X.S., Qi C, Du X.Y., Shi W.W., Zhang M., 2016. Measurement and analysis of hand-transmitted vibration of vibration tools in workplace for automobile casting and assembly, Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi, 34(2):107-10.



YER FISTIĞI KABUĞU KÜLÜNÜN SIFCON'UN BAZI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yusuf Tahir ALTUNCI^{*1}, Cenk ÖCAL²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Çimento Bulamacı Emdirilmiş Lifli Beton, Yer Fıstığı Kabuğu Külü, Kalsinasyon, İkameli Çimento.</i>	Bu çalışmada SIFCON (Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton) üretiminde CEM I 42.5 R tipi çimento yerine yer fıstığı kabuğu külünün değişik oranlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla; her numune için hacimce %10 oranında TS EN 14889-1 standardına uygun 0.75 mm çaplı ve 40 mm uzunluğunda çelik lif kullanılmıştır. 600 °C' de kalsine edilen yer fıstığı kabuğu külü CEM I 42.5 R tipi çimento yerine %0, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında ikame edilmiştir. Çimento bulamacı üretimlerinde; her numune için aynı oranda bağlayıcı (yer fıstığı kabuğu külü ikameli CEM I 42.5 R çimentosu), aynı oranda silis dumanı, aynı oranda kuvars kumu, aynı oranda su, aynı oranda kimyasal katkı kullanılmış ve aynı oranda hava hacmi hesaplanmıştır. Hazırlanan çimento bulamaçları, SIFCON üretim yöntemine göre kalıplara doldurularak üretimler yapılmıştır. Üretilen numunelerin; birim hacim ağırlıkları, 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları, su emme oranları, porozite yüzdeleri ve kılcal su emme değerleri belirlenerek, yer fıstığı kabuğu külü ikamesinin SIFCON üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

THE EFFECT OF PEANUT SHELL ASH ON SOME ENGINEERING FEATURES OF SIFCON

Keywords	Abstract
<i>Sifcon, Peanut Shell Ash, Calcination, Substitute Cement.</i>	In this study, the use of peanut shell ash in different proportions instead of CEM I 42.5 R type cement in the production of SIFCON (fiber concrete impregnated with cement slurry) was investigated. For this purpose; For each sample, steel fiber with a diameter of 0.75 mm and a length of 40 mm in accordance with the TS EN 14889-1 standard was used at 10% by volume. The peanut shell ash calcined at 600 °C was replaced by 0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10% instead of CEM I 42.5 R type cement. In cement slurry production; For each sample, the same amount of binder (peanut shell ash substituted CEM I 42.5 R cement), the same proportion of silica fume, the same proportion of quartz sand, the same proportion of water, the same amount of chemical additive was used and the same proportion of air volume was calculated. The prepared cement slurries were filled into molds according to the SIFCON production method, then production was made. The effect of peanut shell ash substitution on SIFCON was evaluated by determining unit volume weights, bending and compressive strengths for 28 days, water absorption rates, porosity percentages and capillary water absorption values of the samples produced.

Alıntı / Cite

Altuncu, Y.T., Ocal, C., (2022). Yer Fıstığı Kabuğu Külünün Sifcon'un Bazı Mühendislik Özelliklerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 869-877.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y.T. ALTUNCI, 0000-0002-5418-7742
C. ÖCAL, 0000-0002-1407-7637

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.03.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: yusufaltunci@isparta.edu.tr, +90 246 271 3036

1. Giriş (Introduction)

Küresel ısınmayla birlikte, gerek CO₂ salınımını azaltmak, gerekse de betonun performans özelliklerini iyileştirmek amacıyla, organik atıkların çimento esaslı kompozit malzemeler içerisinde kullanılmasına yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir (Demir ve Elmalı, 2020). Yüksek performanslı beton sınıfına giren SIFCON'da (Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton) üzerine çalışılan bu kompozit malzemelerden bir tanesidir.

SIFCON'un hem üretim şekli hem de bazı performans özellikleri lifli ve yüksek dayanımlı betonlardan farklıdır. Lifli betonlarda lif, taze betonun içine ilave edilip daha sonra kalıba dökülürken, SIFCON uygulamasında lif önce kalıbın içerisine serilir, ardından çimento bulamacı ile kalıp doldurularak beton dökümü yapılır. Yüksek dayanımlı betonlarda ise dayanım özelliği arttıkça gevreklik artmaktadır. SIFCON' da ise diğer yüksek performanslı betonların aksine dayanım artışına paralel olarak gevreklik azalmakta dolayısıyla enerji yutma kapasitesi ve süneklilik de artmaktadır (Bulutlar, 2006). SIFCON bu özelliklerinden dolayı yangına ve patlamalara karşı yüksek performans göstermekte ve askeri yapılarda ve sığınak uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Aydın, 2019). Literatürde; çimento, kum, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, bazalt, lif, elyaf, kayaç tozu, kırılmış atık lastikler vb. malzemelerden değişik oranlarda karışımlar hazırlanarak yapılmış SIFCON üretimleri mevcuttur (Bulutlar, 2006; Aydın, 2019; Canbay, 2014; Canbaz ve Çelikten, 2020; Canbaz ve Ünüvar, 2016; Doğan, 2017; Giridhar vd., 2015; Kılı, 2018; Mohan vd., 2020; Soylu ve Bingöl, 2019; Şengül, 2018; Yazıcı vd., 2010).

Yapılan bu çalışmalarda; Bulutlar (2006), çelik tel içeriğinin SIFCON'un mekanik davranışına olan etkisini araştırmıştır. En yüksek çekme dayanımı ve kırılma enerjisine sahip örneklerin %10 yüksek mukavemetli çelik lif içeren örnekler olduğunu belirlemiştir. Aydın (2019), farklı sıcaklıkların SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Oda sıcaklığına göre -30 °C' deki eğilme dayanımının yaklaşık olarak % 30 oranında arttığını, +300 °C' de %32, +200 °C' de %37 ve +100 °C' de %7 oranında dayanım azalmasının olduğunu belirlemiştir. Ayrıca en yüksek basınç dayanımı sonucunu da oda sıcaklığında gözlemiştir. Canbay (2014), çelik ve polipropilen liflerin SIFCON'da kullanılmasını araştırmıştır. Mekanik performans açısından çelik liflerin, ekonomiklik yönünden dalgalı geometriye sahip çelik liflerin, korozyona karşı ise polipropilen liflerin kullanımının uygun olacağı sonucuna varmıştır. Canbaz ve Çelikten (2020), atık taşı lastiklerinin SIFCON üretiminde kullanılabilirliğini araştırmak üzere CEM I çimentosu ile kırılmış atık taşı lastiklerini lif olarak kullanmışlar ve 12 MPa eğilme dayanımına sahip SIFCON kompozitler üretmişlerdir. Canbaz ve Ünüvar (2016), lif ve çimento türünün SIFCON üzerine etkisini araştırmışlardır. Katkısız çimento ve çelik lif kullanımı ile su emme oranlarının azalacağını, uçucu kül gibi mineral katkı kullanımının mikro düzeydeki boşlukları doldurma adına önemli katkılar sağlayacağını belirtmişlerdir. Doğan (2017), kayaç türlerinin SIFCON bulamacında agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Basınç dayanımı açısından en uygun birim maliyeti, referans örneğin ardından bazalt agregalı örnekler üzerinde gözlemlemiş, ayrıca en iyi dayanımı ve en düşük birim maliyeti ise taş kumu agregalı örnekler üzerinde tespit etmiştir. Giridhar vd. (2015), SIFCON'un mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarının sonucunda, hacimce % 8 oranında lif kullanımının, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve yamada çekme dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Kılı (2018), kür şartlarının SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. SIFCON bulamacı olarak hazırladığı karışımlarda, çimento yerine yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanımının %20 ikame oranında en iyi etkiyi gösterdiğini belirlemişlerdir. Soylu ve Bingöl (2019), çelik liflerin SIFCON'un eğilme ve basınç dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. % 8 oranına kadar artan lif hacmi ile eğilme ve basınç dayanımlarında artış gözlemlemişlerdir. Yazıcı vd. (2010), SIFCON üretiminde Portland çimentosu yerine ağırlıkça %50 oranında C sınıfı uçucu kül ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ikamesinin gözenekliliği azalttığı sonucuna varmışlardır.

Çalışmamızda ise, SIFCON üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan CEM I 42.5 R tipi çimentonun içerisine değişik oranlarda yer fıstığı kabuğu külü ikame edilerek ve diğer karışım oranları sabit tutularak, yer fıstığı kabuğu külünün SIFCON üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla; ilk olarak kalıp hacminin %10'u oranında çelik lif kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra, 600 °C' de kalsine edildikten sonra 0.25 mm'lik elekten elenerek toz haline getirilen yer fıstığı kabuğu külü CEM I 42.5 R tipi çimento yerine %0, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında ikame edilerek, her numune için aynı oranda bağlayıcı (yer fıstığı kabuğu külü ikameli CEM I 42.5 R çimentosu), aynı oranda silis dumanı, aynı oranda kuvars kumu, aynı oranda su, aynı oranda kimyasal katkı kullanarak çimento bulamacıları hazırlanmış ve kalıba yerleştirilen liflerin üzerine doldurulmuştur. Üretilen numunelerin; birim hacim ağırlıkları, 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları, su emme oranları, poroziteleri ve kılcal su emme değerleri belirlenerek, yer fıstığı kabuğu külü ikamesinin SIFCON üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak; 3.12 g/cm³ özgül ağırlığındaki CEM I 42.5 R tipi çimento, 2.32 g/cm³ özgül

ağırlığındaki silis dumanı ve 0.25 mm'lik elekten elenerek toz haline getirilen 2.10 g/cm^3 özgül ağırlığındaki yer fıstığı kabuğu külü kullanılmıştır. Yer fıstığı kabuğu külünün elde edilmiş görseli Şekil 1'de, kullanılan bağlayıcı malzemelerin kimyasal özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.



a) Yer fıstığı kabuğunun kalsine edilmesi



b) Yer fıstığı kabuğu külünün elenmesi

Şekil 1. Yer fıstığı kabuğu külü (Groundnut shell ash)

Tablo 1. Bağlayıcı malzemelerin kimyasal özellikleri (The properties of the chemical analyses of the binding material)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Kız. Kay.
CEM I 42.5 R	20.31	4.54	3.47	63.55	1.51	2.75	0.80	0.87	-	2.80
Silis Dumanı	84.76	1.06	0.81	0.68	5.01	0.97	-	-	-	3.16
Yer Fıstığı Kabuğu Külü	30.89	8.15	7.6	10.26	6.82	6.16	18.4	2.6	3.13	5.01

Çalışmada kum olarak; 100–300 µm elek aralığında ve 2.67 g/cm^3 özgül ağırlığındaki kuvars kumu, lif olarak; TS EN 14889-1 standardına uygun 0.75 mm çaplı ve 40 mm uzunluğundaki çelik lifler, kimyasal katkı maddesi olarak; 1.07 g/cm^3 özgül ağırlığındaki süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi ve karışım suyu olarak da, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Batı Kampüsündeki şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem (Method)

SIFCON üretimi iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada tüm numunelerde aynı olacak şekilde kalıp hacminin %10'u oranında çelik lifler kalıba rasgele yerleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, 600 °C'de kalsine edilerek elde edilen yer fıstığı kabuğu külü CEM I 42.5 R tipi çimento yerine %0, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında ikame edilerek ve silis dumanı, kuvars kumu, süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve su kullanılarak hazırlanan çimento bulamacıları kalıba dökülerek SIFCON üretimleri yapılmıştır. SIFCON üretim aşaması görseli Şekil 2'de, karışıma giren malzemelerin ortalama hacimsel oranları ise Tablo 2'de verilmiştir.



a) Çelik liflerin kalıba yerleştirilmesi



b) Çimento bulamacının kalıba yerleştirilmesi

Şekil 2. SIFCON üretimi (SIFCON-made)

Döküm işlemi tamamlanan numuneler daha sonra vibrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Numunelere ait notasyon ve 1 m^3 çimento bulamacının bileşenleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Notasyon ve çimento bulamacı bileşenleri (Notation and cement slurry components)

MALZEME / NOTASYON	YFKK0	YFKK2.5	YFKK5	YFKK7.5	YFKK10
Çimento (kg)	1000	975	950	925	900
Yer fıstığı kabuğu külü (kg)	-	16.99	33.98	50.97	67.96
Silis dumanı (kg)	74.36	74.36	74.36	74.36	74.36
Kuvars kumu (kg)	774	774	774	774	774
Su (kg)	330	330	330	330	330
Akışkanlaştırıcı (kg)	27	27	27	27	27

Numunelerin, 28 günlük standart kür sonrası ağırlıkları (M) ölçülmüş ve hacimlerine (V) bölünmek suretiyle (Eşitlik 1) birim hacim ağırlıkları (BHA) hesaplanmıştır. Daha sonra numunelerin etüv kurusu ağırlıkları (Md), suya doymuş ağırlıkları (Ms) ve su içerisindeki ağırlıkları (Mw) ölçülmüş ve TS 699 (2009) standardında belirtilen Eşitlik 2, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4 yardımıyla; su emme oranları (S), kompasite (K) ve porozite (P) değerleri belirlenmiştir. Numunelerin ağırlıklarının ölçülmesi görseli Şekil 3'de verilmiştir.

$$BHA = M / V \quad (1)$$

$$S = (Ms - Md) / Md \quad (2)$$

$$P = ((Ms - Md) / (Ms - Mw)) \times 100 \quad (3)$$

$$K = 100 - P \quad (4)$$



a) Numunelerin su içerisindeki ağırlıklarının ölçülmesi



b) Numunelerin havadaki ağırlıklarının ölçülmesi

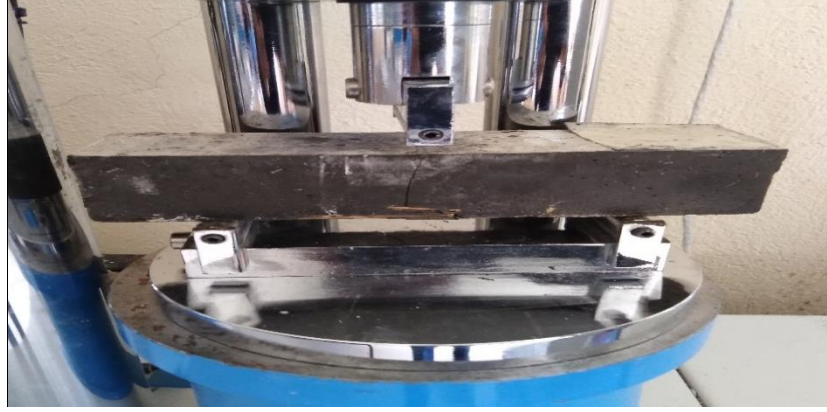
Şekil 3. Numunelerin ağırlıklarının ölçülmesi (Measuring the weight of the samples)

Kılcal su emme katsayısı değerlerini belirlemek için etüv kurusu durumda olan numunelerin suya temas edecek taban yüzeyi hariç diğer yan yüzeyleri parafinle geçirimsiz hale getirilmiş ve su içine bırakılan numunelerin 10. dakikada (m_1) ve 90. dakikadaki (m_2) ağırlıkları ölçülerek TS EN 1015-18 (2004) standardında belirtilen Eşitlik 5'e göre kılcal su emme değerleri belirlenmiştir. Kılcal su emme katsayısı deneyi görseli Şekil 4'de verilmiştir.

$$Wc = 0.1 \times (m_2 - m_1) \quad (5)$$

**Şekil 4.** Kılcal su emme katsayısı deneyi (Capillary absorption coefficient test)

Numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerleri ise TS EN 196-1 (2016) standardında belirtilen şekilde belirlenmiştir. Eğilme dayanımı deneyine ait görsel Şekil 5'de verilmiştir.

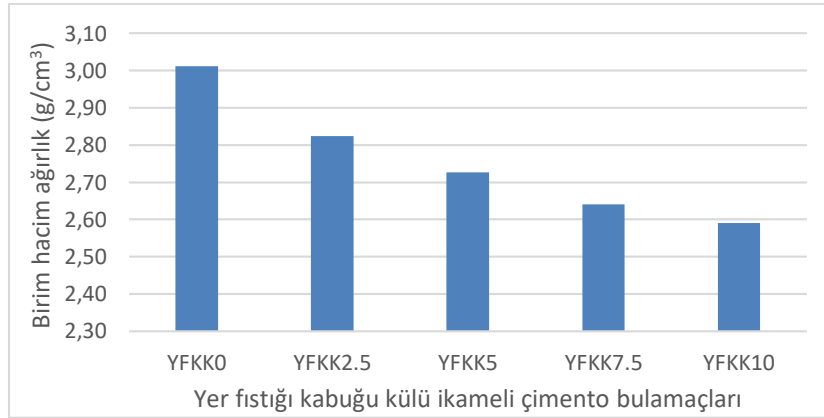


Şekil 5. Eğilme dayanımı deneyi (Flexural strength test)

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Birim Hacim Ağırlık (Weight per Unit of Volume)

Yer fıstığı kabuğu külü ikameli SIFCON numunelerinin 28 günlük kür işleminden sonra birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

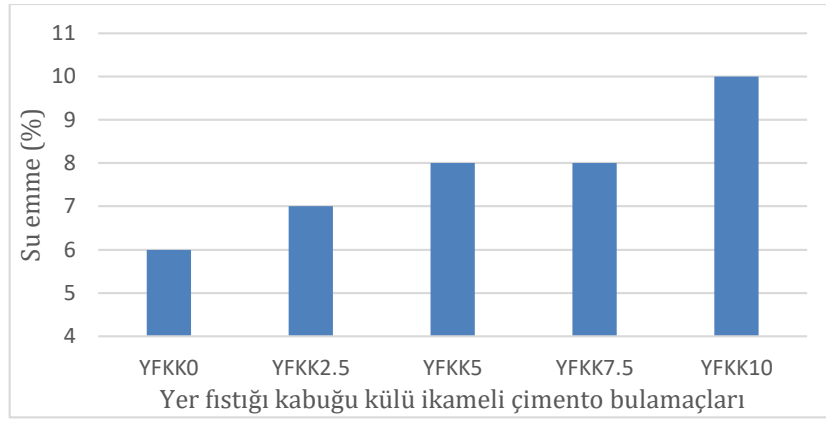


Şekil 6. Birim hacim ağırlık deney sonuçları (Weight per unit of volume test results)

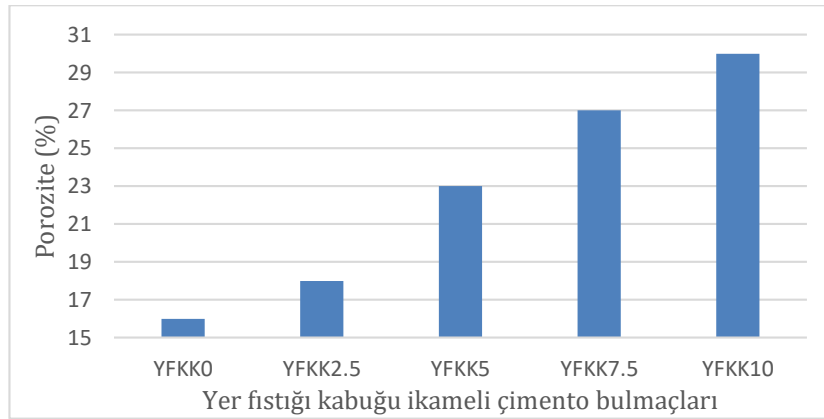
En hafif birim hacim ağırlığa sahip numune 2.59 g/cm³ değeri ile YFKK10 numunesi iken en yüksek birim hacim ağırlığa sahip numune ise 3.01 g/cm³ değeri ile YFKKO şahit numunesidir. YFKKO şahit numunesine göre; YFKK2.5 numunesinin birim hacim ağırlığı %6.23, YFKK5 numunesinin birim hacim ağırlığı %9.47, YFKK7.5 numunesinin birim hacim ağırlığı %12.32 ve YFKK10 numunesinin birim hacim ağırlığı ise %14.01 oranında azalmıştır. Tüm numunelerin, yer fıstığı kabuğu külü ikamesi ile birim hacim ağırlıklarının azaldığı gözlemlenmiştir. Buradaki durum tek değişken olan yer fıstığı kabuğu külünün yoğunluğunun (2.10 g/cm³) çimentonun yoğunluğundan (3.12 g/cm³) az olması ile açıklanabilir.

3.2. Su Emme ve Porozite (Water Absorption and Porosity)

28 günlük kür süresini tamamlayan yer fıstığı kabuğu külü ikameli SIFCON numunelerinin TS 699 (2009) standardına göre su emme ve porozite yüzdeleri hesaplanmıştır. Su emme deney sonuçları Şekil 7'de, porozite deney sonuçları ise Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Su emme deney sonuçları (Water absorption test results)

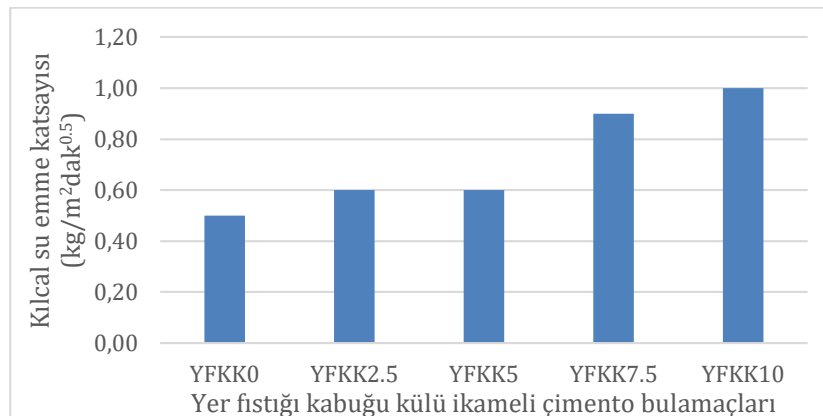


Şekil 8. Porozite deney sonuçları (Porosity test results)

Yer fıstığı kabuğu külü ikamesi ile su emmenin ve porozitenin arttığı, kompasitenin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Buna göre en yüksek su emme oranına sahip numune %10 ile YFKK10 numunesi iken en düşük su emme oranına sahip numune %6 ile YFKK0 şahit numunesidir. Porozite değerlerine bakıldığı zaman ise, su emmenin en yüksek olduğu numunede (YFKK10) bu değer %30 iken, en düşük su emme oranına sahip şahit numunede (YFKK0) ise bu oran %16'dır. YFKK0 şahit numunesinin su emme oranı; YFKK2.5 numunesine göre %14.29, YFKK5 numunesine göre %25, YFKK7.5 numunesine göre %25 ve YFKK10 numunesine göre %40 daha azdır. Yine YFKK0 şahit numunesinin porozite değeri, su emme oranına benzer şekilde; YFKK2.5 numunesine göre %11.11, YFKK5 numunesine göre %30.43, YFKK7.5 numunesine göre %40.74 ve YFKK10 numunesine göre %46.67 daha azdır. Bu durum su emme oranı ile porozite arasındaki doğru orantıdan kaynaklanmaktadır. Deney sonuçlarına göre yer fıstığı kabuğu külünün SIFCON içerisinde boşluklu yapıya sebep olduğu söylenebilir.

3.3. Kılcal Su Emme Katsayısı (Capillary Absorption Coefficient)

Yer fıstığı kabuğu külü ikameli SIFCON numunelerinin kılcal su emme katsayısı değerleri TS EN 1015-18 (2004) standardına göre belirlenmiştir. Kılcal su emme katsayısı deney sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.

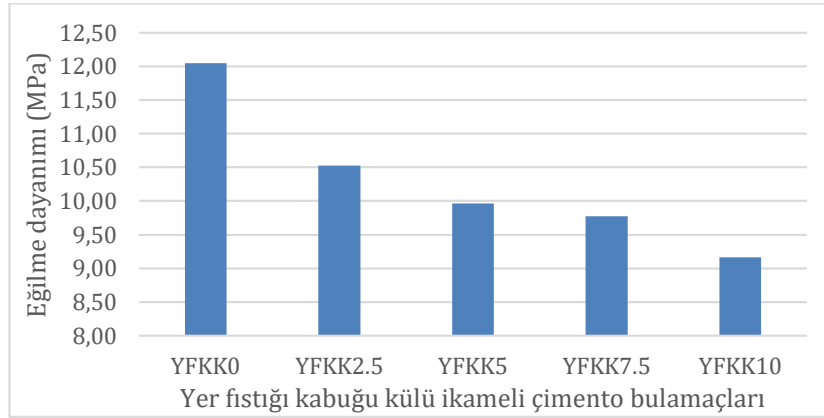


Şekil 9. Kılcal su emme katsayısı deney sonuçları (Capillary absorption coefficient test results)

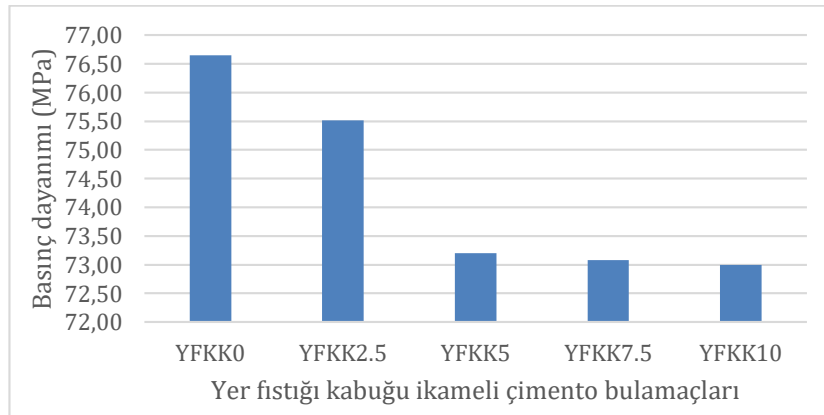
Kılcal su emme katsayısı en yüksek olan numune $1 \text{ kg/m}^2\text{dak}^{0.5}$ değeri ile YFKK10 iken en düşük kılcal su emme katsayısı değerine sahip numune ise $0.5 \text{ kg/m}^2\text{dak}^{0.5}$ değeri ile YFKK0 şahit numunesidir. Şahit numunenin (YFKK0) kılcal su emme katsayısı; YFKK2.5 numunesine göre %16.67, YFKK5 numunesine göre %16.67, YFKK7.5 numunesine göre %44.4 ve YFKK10 numunesine göre %50 daha azdır. Değerlerden görüleceği üzere, yer fıstığı kabuğu külü ikame oranı arttıkça kılcal su emme katsayısı değerleri artmıştır. Bu durum yer fıstığı kabuğu külünün yüzeyel yapısından dolayı boşlukları dolduramamasından kaynaklanmaktadır.

3.4. Eğilme ve Basınç Dayanımı (Flexural and Compressive Strength)

28 günlük kür süresini tamamlayan yer fıstığı kabuğu külü ikameli SIFCON numunelerinin eğilme ve basınç dayanımı değerleri TS EN 196-1 (2016) standardına göre belirlenmiştir. Eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 10'da, basınç dayanımı deney sonuçları ise Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10. Eğilme dayanımı deney sonuçları (Flexural strength test results)



Şekil 11. Basınç dayanımı deney sonuçları (Compressive strength test results)

Eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme dayanımı değerine sahip numune 12,05 MPa değeri ile YFKK0 şahit numunesi iken en düşük eğilme dayanımı değerine sahip numune ise 9,16 MPa değeri ile YFKK10 numunesidir. YFKK0 şahit numunesine göre; YFKK2.5 numunesinin eğilme dayanımı %12,62, YFKK5 numunesinin eğilme dayanımı %17,31, YFKK7.5 numunesinin eğilme dayanımı %18,86 ve YFKK10 numunesinin eğilme dayanımı ise %23,95 oranında azalmıştır. Eğilme dayanımlarındaki bu azalışa rağmen numunelerin içerisine rastgele yerleştirilen çelik lifler tüm numunelerin deney sonucunda ortadan ikiye ayrılmasını engellemiştir. Ayrıca, çelik lifler kalıp yüksekliğine göre homojen yerleştirilemediği için eğilme dayanımları arasında oransal olmayan farklılıklar oluşmuştur.

Basınç dayanımı deney sonuçlarına göre en yüksek basınç mukavemetine sahip numune 76,64 MPa ile YFKK0 şahit numunesi iken en düşük basınç dayanımına sahip numune 73,00 MPa değeri ile YFKK10 numunesidir. YFKK0 şahit numunesine göre; YFKK2.5 numunesinin basınç dayanımı %1,47, YFKK5 numunesinin basınç dayanımı %4,49, YFKK7.5 numunesinin basınç dayanımı %4,64 ve YFKK10 numunesinin basınç dayanımı ise %4,75 oranında azalmıştır. Basınç dayanımlarındaki bu küçük azalışlara rağmen yer fıstığı kabuğu külü ikameli SIFCON' un içerisine rastgele yerleştirilen çelik lifler numunelerin elasto-plastik davranış göstermesini sağlamaktadır.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yer fıstığı kabuğu külünün SIFCON' un bazı mühendislik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- %10 oranında yapılan yer fıstığı kabuğu külü ikamesi SIFCON' un birim hacim ağırlığını %14.01 oranında azaltmaktadır. Çimento yerine daha düşük yoğunluğa sahip olan kolemanit ikamesi ile yapılmış benzer bir çalışmada, kolemanit ikamesi malzemenin birim hacim ağırlığını azaltmıştır (Sallı Bideci ve Bideci, 2018). Bu durum sonuçlarımızı desteklemektedir. Dolayısıyla yer fıstığı kabuğu külünün yoğunluğu CEM I 42,5 R çimentosunun yoğunluğundan daha düşük olduğu için birim hacim ağırlıktaki bu azalma beklenen bir durumdur (Alabadan vd., 2006). Bu yüzden SIFCON üretimlerinde sabit yüklerin % 14 civarında azaltılması istenilen yerlerde CEM I 42,5 R tipi çimentoya %10 civarında yer fıstığı kabuğu külünün ikamesi önerilir.
- Doğal puzolanların çimento yerine ikame edilmesi sonucunda çimentonun toplam özgül yüzey alanı artmakta ve bu durum su ihtiyacını arttırmaktadır (Vu vd., 2001). Bu yüzden, yüzeysel alanı daha fazla olan yer fıstığı kabuğu külünün (Buari vd., 2019) CEM I 42.5 R çimentosu yerine %10 oranında ikame edilmesi, su emme oranını %66.67, poroziteyi %87.5 ve kılcak su emme katsayısını da %100 oranında arttırmıştır. Ancak su emme, porozite ve kılcak su emme katsayısı değerlerinin küçük oranlarda kalması ve üretimde çelik liflerin kullanılması bu durumdan kaynaklanan performans olumsuzlarını büyük oranda azaltmıştır.
- Çalışmada kullanılan yer fıstığı kabuğu külünün kimyasal içeriğinde SiO₂ ve Al₂O₃'in yüksek oranda bulunduğu gözlenmiştir. Bu bileşenlerin çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan C-S-H ve C-A-H jellerinin basınç dayanımını ve dolaylı yoldan eğilme dayanımını da arttırması beklenmektedir. Ancak %10 oranında yapılan yer fıstığı kabuğu külü ikamesi SIFCON'un eğilme dayanımını %23.95 oranında, basınç dayanımını ise %4.75 oranında azaltmıştır. Yer fıstığı kabuğu külünün beton içerisinde kullanımına yönelik Mahmoud vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada elde edilen veriler sonuçlarımızı desteklemektedir. Ayrıca çalışmamızdaki bu durumun SIFCON üretimlerinde kullanılan yer fıstığı kabuğu külünün 0.25 mm'lik elekten elenmesine rağmen, boyut olarak mikron düzeyinde kullanılamamasından ve bu yüzden puzolanik özelliğini tam olarak kazanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte; eğilme dayanımı deney sonuçlarının, basınç dayanımı deney sonuçlarına göre büyük oransal farklılıklar göstermesi, SIFCON üretim yöntemine göre rastgele yerleştirilen çelik liflerin kalıp yüksekliğince homojen olarak yerleştirilmemesinden ve oluşan mikro boşlukların eğilme dayanımı performansını daha fazla etkilemesinden kaynaklanmaktadır.
- Eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda, şahit numunede (YFKK0) meydana gelen elasto-plastik davranış tüm yer fıstığı kabuğu külü ikameli SIFCON numunelerinde de (YFKK2.5, YFKK5, YFKK7.5 ve YFKK10) meydana gelmiştir. Dolayısıyla yer fıstığı kabuğu ikamesi elasto-plastik davranışı olumsuz etkilememiştir. Zaten SIFCON'u yüksek dayanımlı betonlardan ayıran en önemli fark kırılma sırasında sünek davranış göstermesidir (Bayrak vd., 2019).

Sonuç olarak yer fıstığı kabuğu külü, SIFCON'un boşluk oranını arttırmış, bu durum hem mekanik hem de fiziksel özellikleri olumsuz etkilemiştir. Yer fıstığı kabuğu külü üretimindeki kalsinasyon sıcaklığının 600 °C üzerine çıkılmış olunmaması ve elde edilen külün mikron düzeyinde elenmemesinin bu olumsuzluklara katkı sağlamış olabileceği düşünülmektedir. Bundan sonraki yapılacak benzer çalışmalarda, kalsinasyon sıcaklığına, kalsinasyon süresine ve malzeme inceliğine dikkat edilmesi önerilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Alabadan, B. A., Njoku, C. F., and Yusuf, M. O. (2006). The Potentials of Groundnut Shell Ash as Concrete Admixture. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript BC 05 012, Vol. VIII, 1-8.
- Aydın, F., 2019. "Farklı Sıcaklıkların SIFCON Betonunun Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi". 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 22-24 Kasım, Şanlıurfa 2019.
- Bayrak, O. Ü., Bingöl, M. Z., ve Bayata, H. F. (2019). SIFCON ile Üretilen Beton Yolların Bazı Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 411-424.

- Buari, T. A., Ayininuola, G. M., Agbede, O. A., and Esan, M. T. (2019). Effects of varying Recycled Glass and Groundnut Shell Ash on Strength and durability Properties of Self Consolidating High Performance Concretes (SCHPC). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(3), 33-43.
- Bulutlar, Y.A., 2006. Çelik Tel İçeriğinin ve Dayanımının SIFCON'un Mekanik Davranışına Etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 65s.
- Canbay, M., 2014. Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Konbinasyonlu Olarak SIFCON'da Kullanılması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 78s.
- Canbaz, M., Çelikten, S., 2020. Kırılmış Atık Taşı Lastiklerinin SIFCON Üretiminde Farklı Bağlayıcılarla Değerlendirilmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (1), 9-15.
- Canbaz, M. ve Ünüvar, C. (2016). Lif ve Çimento Türünün SIFCON Özelliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (6), 400-404.
- Demir, İ. ve Elmali, M. (2020). Organik Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (4) , 1303-1311.
- Doğan, R., 2017. Farklı Kayaç Türlerinin SIFCON Bulamacında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 96s.
- Giridhar, R., Rama, P., Rao, M., 2015. Determination of Mechanical Properties of Slurry Infiltrated Concrete (SIFCON). *International Journal for Technological Research in Engineering*, 2 (7), 1366-1368.
- Kılı, A., 2018. Kür Şartlarının SIFCON'un Mekanik Özelliklerine Etkisi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 79s
- Mahmoud, H., Bebel, Z.A., Nwakaire, C., 2012. Groundnut Shell Ash as a Partial Replacement of Cement in Sandcrete Blocks Production, *International Journal of Development and Sustainability*, 1 (3), 1026-1032.
- Mohan, A., Karthika, S., Ajith, J., Dhal, L., Tholkapiyan, M., 2020. Investigation On Ultra High Strength Slurry Infiltrated Multiscale Fibre Reinforced Concrete. *Materials Today: Proceedings*, 22 (3), 904-911.
- Bideci, Ö. S., & Bideci, A. (2018). Öğütülmüş Kolemanit Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 133-138.
- Soylu, N., Bingöl, A.F., 2019. Research on Effect of The Quantity and Aspect Ratio of Steel Fibers on Compressive and Flexural Strength of SIFCON. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 5 (1), 29-34.
- Şengül, Ö., 2018. Mechanical Properties of Slurry İnfiltrated Fiber Concrete Produced with Waste Steel Fiber. *Construction and Building Materials* 186, 1082-1091.
- TS EN 196-1. (2016). Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 1015-18, (2004). Kâğır harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 18: Sertleşmiş Harcın Kapiler Etkiden Kaynaklanan Su Emme Katsayısının Tayini. Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 14889-1, (2006). Lifler - Betonda Kullanım İçin - Bölüm 1: Çelik Lifler - Tarifler, Özellikler ve Uygunluk. Türk Standartları, Ankara.
- TS 699, (2009). Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuar Deney Yöntemleri. Türk Standartları, Ankara.
- Vu, D. D., Stroeven, P., & Bui, V. B. (2001). Strength and Durability Aspects of Calcined Kaolin-Blended Portland Cement Mortar and Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 23(6), 471-478.
- Yazıcı, H., Aydın, S., Yiğiter, H., Yardımcı, M. Y., Alptuna, G., 2010. Improvement on SIFCON Performance by Fiber Orientation & High-Volume Mineral Admixture. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22 (11), 1093-1101.



ÜSTYAPI DURUM İNDEKSİ VE SÜRÜŞ KONFORU ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN MODELLENMESİ

Ufuk KIRBAŞ^{1*}, Mustafa KARAŞAHİN²

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

² İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Üstyapı Performansı,
PCI,
Sürüş Konforu,
Tüm Vücut Titreşimi.

Öz

Çalışmada üstyapı performans göstergesi olarak kullanılan Üstyapı Durum İndeksi (PCI) ve yolcu otomobilinde maruz kalınan tüm vücut titreşimi miktarı arasındaki ilişkilerin matematik olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Titreşim ölçümleri, teknik detayları ISO 2631 standardında açıklanan frekans ağırlıklı veri işleme yöntemine göre analiz edilerek düşey doğrultuda a_w değerleri elde edilmiştir. Bitümlü sıcak karışım üstyapıya sahip bir kentsel yol ağında belirlenen yol kesimlerinde, PCI değerleri ve 20-50 km/sa sürüş hızı aralığında yapılan gerçek titreşim ölçüm verileri arasındaki matematiksel ilişkiler doğrusal regresyon analizi kullanılarak modellenmiştir. Modellerin istatistik olarak uyumları incelenmiştir. Her bir sürüş hızı için oluşturulan matematik model aracılığıyla PCI'nin sürüş konforunu etkileyen eşik değerleri ve PAVER sisteminde önerilen geleneksel değerlendirme ölçeğindeki PCI sınır değerlerine karşılık gelen sürüş konforu değerleri belirlenmiştir. Değerlendirilen hız aralığında PCI sınır değerleri sırasıyla 'az konforsuz- biraz konforsuz' eşliğinde 0, 11, 29, 41, 'konforlu - az konforsuz' eşliğinde 37, 62, 69, 77 olarak bulunmuştur. Son olarak doğrusal regresyon analizi yöntemi ile üretilen eşik değerleri literatürde bulunan önceki çalışmalarda lojistik regresyon, bulanık mantık ve yapay sinir ağları teknikleri ile elde edilen eşik değerleri ile kıyaslanmıştır. Doğrusal regresyon analizinin diğer tekniklere nazaran daha düşük PCI eşik değerleri verdiği tespit edilmiştir.

MODELING THE RELATIONSHIPS BETWEEN PAVEMENT CONDITION INDEX AND RIDE COMFORT

Keywords

Pavement Performance,
PCI,
Ride Comfort,
Whole-Body Vibration.

Abstract

The study, it is aimed to mathematically model the relationships between the Pavement Condition Index (PCI), which is used as a pavement performance indicator, and the amount of whole-body vibration exposure in a passenger car. Vibration measurements were analyzed according to the frequency-weighted data processing method, the technical details of which were explained in the ISO 2631 standard, and a_w values were obtained in the vertical direction. Mathematical relationships between PCI values and actual vibration measurement data in the range of 20-50 km/h ride speed were modeled using linear regression analysis on the road sections determined in an urban road network with a bituminous hot-mixed pavement. The statistical compatibility of the models was examined. Through the mathematical models generated for each ride speed, the threshold values of PCI that affect ride comfort, and the ride comfort values corresponding to the PCI limit values in the traditional evaluation scale recommended by the PAVER system were determined. In the evaluated speed range, the PCI limit values were 0, 11, 29, 41 on the 'a little uncomfortable - fairly uncomfortable' threshold, 37, 62, 69, 77 on the 'not uncomfortable - a little uncomfortable' threshold, respectively. Finally, the threshold values produced by the linear regression method were compared with the threshold values obtained by logistic regression, fuzzy logic and artificial neural network techniques in previous studies in the literature. It was determined linear regression analysis generated lower PCI threshold values than other techniques.

* İlgili yazar / Corresponding author: ufuk.kirbas@omu.edu.tr

Alıntı / Cite

Kırbaş, U., Karasahin, M., (2022). Üstyapı Durum İndeksi ve Sürüş Konforu Arasındaki İlişkilerin Modellenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 878-890.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

U. Kırbaş, 0000-0002-2389-425X
M. Karasahin, 0000-0002-3811-2230

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.12.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Karayolu ağlarında güvenlik ve konforu sağlayan en önemli unsur olarak yol üstyapısı görülmektedir. Bir yol üstyapısından pürüzsüz, konforlu ve güvenli bir sürüş sağlama imkanı sunabilmesi beklenmektedir. AASHTO yol testi kapsamında yapılan çalışmalardan üstyapıların hizmet düzeyi hakkında bilgilerin çok önemli kısmının yüzey düzgünlüğü yardımıyla elde edildiği görülmektedir (Carey Jr ve Irick, 1960; Terzi ve Ahmed, 2020). Yol testi ile başlayan ve günümüze kadar devam eden çalışmalar sürüş kalitesi ile üstyapı hizmet düzeyi diğer bir adıyla düzgünlüğü arasında oldukça yüksek bir korelasyonun olduğunu göstermektedir (Shahin, 2005). Düzgünlük, seyahat edenler üzerinde konforsuzluğa neden olacak şekilde yol üstyapısının yüzeyinde görülen bozulmaların tümünü göstermektedir. Üstyapılarda görülen yüzey bozulmaları sürüş esnasında yol kullanıcılarının düşey ve yanal doğrultuda titreşime maruz kalmalarına sebep olmaktadır (İskender vd., 2022). Seyahat eden kişilerin (sürücü ve yolcular) konfor seviyesini sayısal olarak en makul şekilde ifade edebilen bileşen üstyapının boyuna profilinden türetilen düşey doğrultudaki titreşimlerdir (Cantisani ve Loprencipe, 2010; Sayers ve Karamihas, 1996; Wang ve Easa, 2016). Seyahat halinde taşıt içerisinde düşey eksen doğrultusunda maruz kalınan titreşimlerin ana sebeplerinin taşıtın mekanik yapısında oluşan rotasyonel hareketler ile yol yüzeyinde görülen yüzey bozulmaları olduğu bilinmektedir. Üstyapı performanslarının dolayısıyla sürüş konforunun üzerinde en önemli etkinin üstyapılarda görülen bozulmalar ve kusurlar olduğu bilinen bir gerçektir (Haas vd., 1994; Kırbaş ve Karasahin, 2018a). İşletmeciler, üstyapı tarafından yolun kullanıcılarına sunulan bu imkanların seviyesinin yeterliliğine ilişkin derecelendirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini savunmaktadırlar (Shahin, 2005).

Çalışmada üstyapının performans seviyesi ile sürüş konforu arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu kapsamda üstyapısı bitümlü sıcak karışım (BSK) olan ve kentsel alanda hizmet veren yaklaşık 56 km uzunluğunda bir karayolu ağında, platformun tüm şeritlerinde PCI değerleri belirlenmiştir. Eş zamanlı olarak değerlendirilen yol kesimlerinde standart bir yolcu otomobili ile 20, 30, 40 ve 50 km/sa sürüş hızlarında sürücü koltuğu üzerinden düşey eksende tüm vücut titreşimi ölçümleri yapılmıştır. ISO 2631 teknik standardında değerlendirme esasları anlatılan analiz yöntemi kullanılarak titreşim ölçümlerinden a_{wz} parametre değerleri elde edilmiştir. Ölçülen tüm yol ağı kesimlere ayrılarak değerlendirilen 20, 30, 40 ve 50 km/sa sürüş hızları için Üstyapı Durum İndeksi (PCI) ve a_{wz} değerleri arasındaki matematiksel ilişkiler doğrusal regresyon analizi modelleme tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme sonucu üretilen modellerin başarı düzeyleri regresyon katsayısı (R^2) karşılaştırma metriği kullanılarak değerlendirilmiştir. Üretilen matematik modeller aracılığıyla bahsi geçen her bir sürüş hızı için ISO standardının konforu ifade eden sınır değerlerine karşılık gelen PCI eşik değerleri belirlenmiştir. Bunun yanında üstyapıların performans seviyesinin gösteriminde kullanılan PAVER sistemi tarafından Geleneksel PCI Ölçeği olarak tavsiye edilen PCI sınır değerlerine karşılık gelen sürüş konforu değerleri belirlenmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Yol üstyapıların mevcut performansını sayısal olarak ifade edebilmek amacıyla çok sayıda indeks geliştirilmiştir. Uluslararası Düzgünlük İndeksi (International Roughness Index, IRI), Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index, PCI), Üstyapı Hizmet İndeksi (Pavement Serviceability Index, PSI), Sürüş Sayısı (Ride Number, RN) bunların başlıcaları arasında yer almakla birlikte çok daha fazla sayıda indeks olduğu bilinmektedir (Kırbaş ve Karasahin, 2016). Çalışmalardan farklı sürüş hızlarında tekrarlanan ölçümlerde üstyapı performans değerlendirme indeksi olarak çoğunlukla IRI'nın kullanıldığı, yanında PSI ve RN gibi indekslerinde tercih edildiği görülmektedir (Fuentes vd., 2021; La Torre vd., 2002; Yu vd., 2006). Kentsel yol üstyapılarında ise sıklıkla PCI'nin tercih edildiği anlaşılmaktadır (Kırbaş ve Karasahin, 2018a, 2019). Analizlerde oldukça yoğun bir şekilde yalnızca düşey doğrultudaki titreşimlerin değerlendirildiği dikkat çekmektedir. Çalışmalarda özellikle kentsel hız limitlerinde farklı boyutlardaki yolcu taşıtı (otomobil) türü taşıtlarda kaydedilen titreşimlerin taşıtın marka ve modeline göre önemli miktarda değişiklik göstermediği vurgulanmaktadır (Duarte ve de Melo, 2018; Múčka, 2020, 2021).

Uluslararası alanda geçerliliği olan ISO 2631 ve BS 6841 standartları Tüm Vücut Titreşimi (TVT) (Whole-Body Vibration, WBV) kavramının matematik temellerini açıklamaktadırlar. Araştırmacılar sürüş konforunu sayısal

olarak ifade edebilmenin en yalın halinin TVT değerlendirmesiyle olabileceği konusunda hem fikirdir (Griffin, 2007; Griffin, 2012). Çok sayıda çalışmada düşey eksen doğrultusunda ölçülen titreşim verilerinin ağırlıklandırılmış frekans çözümlenmesinden sonra değerlerin karesel ortalamalı kökü (a_w) alınarak sürüş konforunun değerlendirildiği görülmektedir (Cantisani ve Loprencipe, 2010; Wang ve Easa, 2016). Bunun yanında çok sık olmasa da titreşim doz değeri (Vibration Dose Value, VDV) parametresi de tercih edilmektedir (Cantisani ve Loprencipe, 2010; Griffin, 2007; ISO, 1997; Kirbaş ve Karashahin, 2018b; Múčka, 2020).

Tablo 1. Üstyapı performans indeksleri ve sürüş konforu bileşenleri arasındaki ilişkilerin araştırma özeti (Research summary of the relationships between pavement performance indexes and ride comfort components)

Referans	Yıl	Taşıt Türü & Ölçüm Noktası	Hız Aralığı (km/sa)	Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	Matematik Model	R ²
(Yu et al., 2006)	2006	Çeyrek taşıt modeli& Araç gövdesinin yaysız kütlesi	10 - 120	Şok	IRI, Hız	Doğrusal olmayan Regresyon	0.98
(Fichera, Scionti, & Garesci, 2007)	2007	Otobüs (3 çeşit) & Yolcu koltuğu	60	a_{wz} & a_w XYZ	IRI	Doğrusal Regresyon	0.752 - 0.882
(Cantisani & Loprencipe, 2010)	2010	Yolcu taşıtı & Yolcu koltuğu	30, 40, 50, 60, 70, 80, 90	a_{wz}	IRI	Doğrusal Regresyon	0.750 - 0.930
(Wang & Easa, 2016)	2016	Yolcu taşıtı & Sürücü ve yolcu koltuğu	40 - 120	a_{wz}	IRI, Hız	Doğrusal olmayan Regresyon ve Bulanık Mantık	0.880 - 0.870
(Múčka, 2017)	2017	Yolcu taşıtı, ticari taşıt, panelvan, ambulans, otobüs, kamyon & Yolcu koltuğu	30 - 120	IRI	Hız	Doğrusal Regresyon	0.988 - 0.997
(Abudinen, Fuentes, & Carvajal Muñoz, 2017)	2017	Çeyrek taşıt modeli & Yolcu koltuğu	30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100	a_{wz}	IRI	Doğrusal Regresyon	0.410 - 0.520
(Kirbaş, 2018)	2018	Yolcu taşıtı & Sürücü Koltuğu	30 - 90	IRI	a_{wz} , Hız	Yapay Sinir Ağları	0.784
(Kirbaş & Karashahin, 2018a)	2018	Yolcu taşıtı & Sürücü Koltuğu	20 - 50	PCI	Hız	Lojistik Regresyon	0.662 - 0.999
(Kirbaş & Karashahin, 2019)	2019	Yolcu taşıtı & Sürücü Koltuğu	20 - 50	a_{wz}	PCI, Hız	Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık	0.866 - 0.965, 0.759 - 0.916
(Nguyen, Lechner, Wong, & Tan, 2019)	2019	Otobüs & Yolcu koltuğu	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	a_{wz}	IRI	Doğrusal Regresyon	0.790 - 0.820
(Zhang, Wang, Jing, Wu, & Li, 2020)	2020	Yolcu taşıtı & Yolcu koltuğu	30, 50, 70	a_w	IRI, Hız	Doğrusal olmayan Regresyon	0.849, 0.916
(Múčka, 2020)	2020	Yolcu taşıtı (9 çeşit) & Yolcu Koltuğu	30 - 120	VDV	IRI, Hız	Doğrusal olmayan Regresyon	0.255 - 0.483
(Guanyu, Michael, & Gurmel, 2020)	2020	Yolcu taşıtı (simülasyon)&Ölçüm noktası belirsiz	30, 50	IRI	İvme rms, Hız, Kişi sayısı, Rijitlik, Amortisör kuvveti, Lastik basıncı	Doğrusal olmayan Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Karar ağacı, Rasgele orman algoritması	0.730 - 0.950
(Múčka, 2021)	2021	Yolcu taşıtı (9 çeşit) & Yolcu Koltuğu	30 - 140	a_w XYZ	IRI, Hız	Doğrusal olmayan Regresyon	0.317 - 0.493

Literatürde üstyapı performans indeksleri ile sürüş konforu arasındaki matematiksel ilişkilerin araştırıldığı konunun ilerlemesinde önemli kilometre taşı olarak kabul edilebilecek bazı çalışmalar Tablo 1'de özet halinde sunulmuştur. Tablo detaylıca incelediğinde ilişkilerin açıklanmasında sıklıkla regresyon yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere regresyon katsayısı dikkate alınarak karşılaştırma yapılırsa matematiksel ilişkilerin belirlenmesinde bazı çalışmalarda oldukça yüksek tahmin doğruluklarının yakalanabildiği, buna karşılık bazı çalışmalarda ise tahmin doğruluklarının sınırlı seviyede kaldığı göze

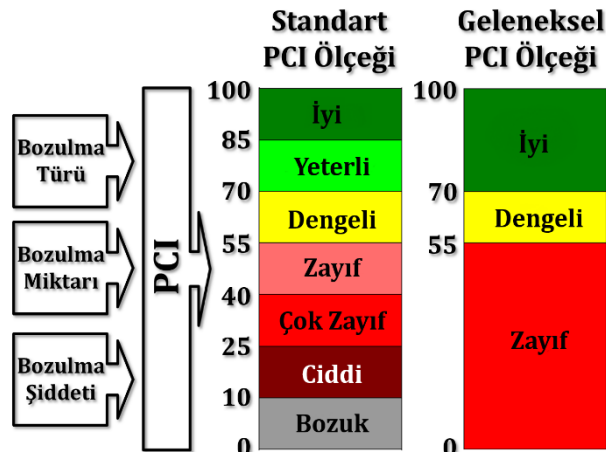
çarpılmaktadır. Öte yandan, ilişkilerin belirlenmesinde birden çok tekniğin karşılıklı değerlendirilmesinin yapıldığı çalışmanın oldukça az sayıda olduğu çok açıktır.

Üstyapıların mevcut durumunu gösteren performans göstergeleri ile sürüş konforu arasındaki ilişkileri araştıran çalışmalar sınırlı sayıdadır. Cantisani ve Loprencipe kalibre ettikleri bir taşıt modeli ile ürettikleri verileri kullanarak, Wang ve Easa 89 farklı esnek üstyapı kesiminde ölçtükleri verileri kullanarak, Abudinen vd. 102 farklı beton kaplamalı şehiriçi yol kesiminde yaptıkları ölçüm verilerini kullanarak IRI ile düşey doğrultudaki a_w (a_{wz}) değerleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır (Abudinen et al., 2017; Cantisani ve Loprencipe, 2010; Wang ve Easa, 2016). Yapılan çalışmalarda ISO 2631 standardında belirtilen konforsuzluk sınırlarına karşılık gelen IRI eşik değerleri belirlemişlerdir. Bu değerler farklı sürüş hızları için kalibre edilen modeller aracılığıyla üretilmiştir (Abudinen et al., 2017). Kırbaş ve Karaşahin şehir içi karayolu üstyapılarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan PCI'm ISO 2631 standardında belirtilen konfor parametresi sınırlarına karşılık gelen eşik değerleri önermişlerdir (Kırbaş ve Karaşahin, 2018a, 2019). Araştırmacılar çalışmalarında PCI ve a_{wz} arasındaki ilişkileri araştırırken lojistik regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık mantık modelleme tekniklerini kullanmışlardır (Kırbaş ve Karaşahin, 2018a, 2019). Bu çalışmalar ilişkilerin modellenmesinde regresyon teknikleri harici farklı tekniklerin kullanıldığı sınırlı çalışmalardandır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index)

Üstyapıların mevcut performans seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan ölçümler, sürüş esnasında taşıt içerisinde seyahat eden kişilerin maruz kaldığı rahatsızlığı sayısal olarak ifade edebilme prensibine dayanmaktadır. PAVER sistemi, bir üstyapı yüzeyinde rasgele dağıtım prensiplerine göre seçilen $225 \pm 90m^2$ boyutlarında örnek birimlerde (ÖB) (sample unit), ASTM D 6433 kodlu standarda göre toplanan yüzey bozulma verilerinin değerlendirilmesiyle üstyapıların mevcut performansının tespiti sürecini açıklamaktadır (ASTM, 2016; Şahin, 2005). Bu sistemde sürüş konforunun bir ölçüsü olan üstyapının hizmet edebilme yeteneği, esas olarak PCI gösterimi ile tarif edilmektedir. Bitümü Sıcak Karışım (BSK) yol üstyapılarında görülen yüzey bozulmalarının 20 farklı çeşitte tanımlanabileceği standardize edilmiştir. Değerlendirme düşük (D), orta (O) ve yüksek (Y) şiddet düzeylerinde toplanan verilerin, ÖB'in büyüklüğüne oranlanarak elde edilen değerlerin bozulma türüne göre hazırlanmış düşülen değer (DD) (deduct value) tablolarından sonuç değerleri okunarak yapılır. Elde edilen DD'ler 100'den çıkarılarak üstyapının performansını 0 – 100 arasında bir değerle tanımlayan PCI değeri elde edilir. Bir üstyapı için hesaplanan PCI değeri olarak 100 hiç bozukluk bulunmayan en iyi derecedeki üstyapıyı 0 ise tamamen bozulmuş kullanılamayacak derecedeki üstyapıyı ifade etmektedir. PCI, üstyapıya ait bozulma türü, bozulma miktarı ve bozulma şiddeti bileşenlerinin ortak değerlendirilmesi sonucunda üstyapının mevcut performansını gösteren bir indekstir (ASTM, 2016; Şahin, 2005). PCI indeksinin bileşenleri ve değerlendirme ölçekleri Şekil 1'de görülmektedir. PAVER sisteminde üstyapıların performans seviyelerini ifade edebilmek amacıyla ölçek kavramı geliştirilmiştir. Sistemde kullanıcılara detaylı bir değerlendirme için tavsiye edilen "Standart PCI Ölçeğinde" üstyapı 7 farklı kategoride sınıflara ayrılırken uygulamaya yönelik karar verme aşamasında faydalanılabilecek ölçek olan "Geleneksel PCI Ölçeği" üstyapının durumunu 3 farklı kategoride değerlendirmektedir. Söz konusu ölçekler ve sınır değerleri Şekil 1'de görülmektedir. Aynı zamanda değerlendirme ölçeklerinde üstyapı performansını "iyi", "yeterli" gibi sözel ifadelerle de tanımlamak mümkündür.



Şekil 1. PCI bileşenleri ve değerlendirme ölçekleri (PCI components and rating scales) (ASTM, 2016)

Sistemde bozulmaların şiddet düzeylerinin (D, O, Y) sürüş kalitesini etkileme dereceleri de tanımlanmıştır. D şiddet seviyesinde taşıt içerisinde titreşimler fark edilir seviyededir ancak konfor veya güvenlik için hızda herhangi bir azalmaya gerek yoktur. M şiddet seviyesinde taşıt içerisinde titreşimler önemli miktarda fark edilir seviyededir ve güvenlik ve konfor için hızda bir miktar azalma gerektirir. Y şiddet seviyesinde taşıt içerisinde titreşimler aşırı derecede fark edilir seviyededir, aynı zamanda güvenlik ve konfor için hızın önemli ölçüde azaltılmasını gerektirir.

3.2. TVT ve Titreşim Değerlendirmesi (WBV and Vibration Evaluation)

Sürüş konforunun değerlendirilmesinde en gerçekçi yaklaşımın TVT analizi olduğu yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Bir sürücüye sürüş esnasında, koltuğun oturma yüzeyinden, sırt bölgesinden, ayak bölgesinden ve direksiyondan olmak üzere dört farklı bölgeden titreşimler etki etmektedir. Bu titreşimleri karakterize edebilmek veya bu titreşimler için uygun bir değerlendirme kriteri belirlemek için konu üzerinde çok sayıda çalışma yapılmaktadır (Kim vd., 2011). Konforsuzluk, faaliyeti duraklatma, sağlığı olumsuz etkileme, oldukça düşük genlikteki titreşimi dahi algılama ve hareket hastalıkları gibi gittikçe şiddetlenen beş olumsuz etki, insan vücudunun TVT'ye olan tepkisini göstermektedir (Griffin, 2012). Yapılan çalışmalardan TVT kavramının açıklanmasında sıklıkla ISO 2631 standardının kullanıldığı görülmektedir.

Standardın birinci bölümü (ISO 2631-1) titreşim ölçüm ve analiz yöntemlerini açıklamaktadır. Bu standart, insan üzerine olan etkileri açısından 0.5 Hz ile 80 Hz frekans aralığında konfor, sağlık ve algı değerlendirmelerini, 0.1 Hz ile 0.5 Hz aralığında ise hareket hastalıkları değerlendirmelerini yapmak üzere titreşimleri sınıflandırmaktadır (ISO, 1997). Bu teknik standartta sürüş konforu tüm vücut titreşimi verilerinin ağırlıklandırılmış frekans çözümlenmesinden sonra değerlerin karesel ortalamalı kökü alınarak üretilen a_{wz} parametresi aracılığıyla gösterilmektedir. Bu değerlendirme düzeyi doğrultudaki titreşimler için yapıldığında a_{wz} parametresi ile ifade edilmektedir. a_{wz} parametresinin hesabında, düşey eksenindeki titreşim sinyallerinin zaman tanım alanından frekans tanım alanına dönüştürüldükten sonra butterworth tekniği ile 1/3 oktav band aralıklarına filtre edilmesiyle elde edilen güç spektral yoğunlukları elde edilir. Ardından güç spektral yoğunluğu bilinen sinyallerin genliği ile ait olduğu band aralığına karşılık gelen ağırlık faktörü (w_k) ile çarpılmaktadır. Değerlendirilen frekans aralığında kalan tüm band aralığı değerleri için elde edilen bu çarpım değerlerinin toplam karelerinin karekökü alınarak a_{wz} bileşeni hesaplanmaktadır (Griffin, 2007; Griffin, 2012). Kısaca açıklanan hesaplama yöntemi (1) nolu eşitlikte formülize edilmiştir.

$$a_{wz} = \left[\sum_i (w_{k,i} a_{i,z})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ISO 2631'de titreşim analiz sonuçlarının yorumlanması için tavsiye edilen sayısal değerler incelendiğinde konforsuzluğu ifade eden sınır değerlerin birbirlerinin içine geçmiş olduğu dikkat çekmektedir (bkz. Tablo2). Çalışmada deterministik bir analiz öngörüldüğü için, elde edilen sonuç değerlerinin yorumlanmasında bulanık olan bu aralıkların alt sınırları alınarak bulunan değerler, konforsuzluk sınır değerleri olarak kabul edilmiştir. Bu kabul Şekil 2'de görsel olarak açıklanmıştır.

Tablo 2. ISO 2631'de önerilen konforsuzluk ölçeği (Discomfort scale recommended in ISO 2631) (ISO, 1997)

a_{wz} değerleri	Konforsuzluk Seviyesi
< 0.315 m/sn ²	konforlu
0.315 – 0.63 m/sn ²	az konforsuz
0.5 – 1 m/sn ²	biraz konforsuz
0.8 – 1.6 m/sn ²	konforsuz
1.25 – 2.5 m/sn ²	çok konforsuz
> 2 m/sn ²	aşırı konforsuz

aşırı konforsuz	2.5	çok konforsuz	aşırı konforsuz
	2.0		> 2.0 m/sn ²
konforsuz	1.6	çok konforsuz	çok konforsuz
	1.25		1.25 - 2.0 m/sn ²
konforsuz	1.0	çok konforsuz	konforsuz
	0.8		0.8 - 1.25 m/sn ²
az konforsuz	0.63	biraz konforsuz	biraz konforsuz
	0.5		0.5 - 0.8 m/sn ²
az konforsuz	0.315	konforlu	az konforsuz
			0.315 - 0.5 m/sn ²
		konforlu	< 0.315 m/sn ²

Şekil 2. Konforsuzluk değerlendirilmesinde kullanılan sınır değerler (Limit values used in the evaluation of discomfort)

3.3. Saha Ölçümleri ve Değerlendirmeleri (Field Measurements and Evaluations)

Seyahat sırasında maruz kalınan titreşimlerin ana sebeplerinin taşıtın mekanik yapısından kaynaklı rotasyonel titreşimler ve üstyapı yüzey bozulmaları olduğu çok sayıda çalışmada vurgulanmaktadır (Kırbaş ve Karashahin, 2018b; Múčka, 2020). Çalışmada öncelikle üstyapı performans aralığı en kötüden en iyiye ölçeği tümüyle tasvir edecek şekilde seçilmiş BSK kaplamalı yol kesimlerinde üstyapı performans seviyeleri (PCI değerleri) belirlenmiştir. Ardından amaç üstyapı bozulmalarından kaynaklı titreşim, başka bir deyişle konforsuzluğu araştırmak olduğu için aynı kesimlerde dikey doğrultudaki titreşim değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmada, Samsun iline ait farklı hizmet seviyelerindeki kentsel karayolu ağında 99 adet farklı kesimde PAVER sisteminin öngördüğü ASTM D 6433 kodlu standart esasına uygun yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Seçilen bu yollarda yüzey bozulma değerlendirilmesi yapılması amacıyla PAVER sistemi kurallarına uyan 1415 adet ÖB öngörülmüş olup 1375 adet ÖB'de yüzey bozulma verileri toplanmıştır. Aynı zamanda, PAVER sistemine göre üstyapıların mevcut performanslarını gösteren PCI değerleri belirlenmiştir. Toplanan yüzey bozulma verileri ASTM D 6433 kodlu standardın teorik temelleri üzerine hazırlanmış olan PAVER Paket Yazılımı ® aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Titreşim ölçümleri yüzey bozulma değerlendirmelerinin yapıldığı aynı yol kesimlerinde eş zamanlı olarak Euro car taşıt değerlendirme sınıfına göre C segmentine giren bir yolcu taşıtı ile yapılmıştır. Titreşim değerleri bir adet ivmeölçer ($\pm 4g$ ölçüm aralığı, 500 ± 15 mV/g hassasiyet), bir adet GPS anteni (< 3 m doğruluk) ve bir adet veri kaydediciden oluşan ivme ölçüm seti aracılığıyla toplanmıştır. Dikey titreşim verileri saniyede 1000 adet ve GPS verileri saniyede 1 adet aralıklarla toplanmış ve anlık olarak bilgisayara aktarılmıştır. Çalışmada taşıt içerisinde kaydedilen titreşim ölçümleri ISO 2631 standardının da tavsiye ettiği şekilde sürücü ile etkileşimini sağlar şekilde sürücü koltuğu üzerinden toplanmıştır. Ayrıca, sürücünün tam altına yerleştirilen ivmeölçer ölçüm sırasında meydana gelen gürültüden izole olabilmesi için elastik bir yatak içerisinde konumlandırılmıştır (ISO, 2005). Farklı sürüş hızlarında kaydedilen titreşim verileri ISO standardında açıklanan titreşim parametresi analizini kullanan MATLAB® üzerinde çalışan ve araştırmacılar tarafından geliştirilen ara yüz yazılım yardımıyla değerlendirilmiştir. Saha araştırmaları için kullanılan titreşim ölçüm seti Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan titreşim ölçüm seti (Vibration measurement set used in the study)

Dünyanın birçok ülkesinde kentsel yollarda azami hız limitinin yaklaşık 50 km/sa olarak kabul edildiği varsayılmaktadır. Bu sebeple, 20, 30, 40 ve 50 km/sa sabit hızlarda titreşim ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmiştir. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında kentsel alanlarda yol geometrilerinden kaynaklı 50 km/sa üzerinde sabit hızlarda uzun süreli ölçüm yapabilmenin mümkün olmayacağı saptanmıştır. Değerlendirilen kesimlerde ölçüm hızını değiştirmeden ölçümlerin yapılabilmesi için aynı platform ve şerit boyunca taşıtla durmadan devam edilerek ve hız mümkün olduğunca korunmaya çalışılarak ölçümler tamamlanmıştır. Birden çok

trafik şeridi olan yol kesimlerinden ayrı ayrı her bir şerit için titreşim ölçümleri yapılmış ve a_{wz} değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin ortalaması alınarak kesimin genelini yansıtan a_{wz} değeri hesaplanmıştır. İfade edilen bu yaklaşım (2) nolu eşitlik yardımıyla açıklanmaktadır.

$$a_{wz} = \frac{a_{wz_{\text{şerit } 1}} + a_{wz_{\text{şerit } 2}} + \dots + a_{wz_{\text{şerit } n}}}{n} \quad (2)$$

Konfor değerlendirmesi yapılan yollarda 20, 30 ve 50 km/sa ölçüm hızların her biri için 22 farklı kesimde titreşim ölçümü yapılmıştır. Kentsel yollarda ortalama sürüş hızı olduğu tahmin edilen 40 km/sa ölçüm hızında ise 99 farklı kesimde titreşim ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm hızında çok daha fazla veri toplanarak, farklı PCI değerlerine göre ölçülen a_{wz} değerlerinin değişimlerinin tutarlılığı kontrol edilmiştir. Titreşim ölçümü yapılacak kesimlerin belirlenmesinde Standart PCI ölçeğinde belirtilen yedi adet aralığın (Şekil 1 bkz.) her birinde en az bir verinin (üstyapı PCI değerinin) bulunması prensibi dikkate alınmıştır. Bu şekilde, değerlendirme yapılan verilerin 0 - 100 aralığında tüm PCI ölçek aralıklarını ifade edebilmesi sağlanmıştır.

4. Bulgular (Results)

4.1. Doğrusal Regresyon Modeli (Linear Regression Model)

İstatistiksel regresyon teknikleri kullanan ampirik yaklaşımlar, PCI ve sürüş konforu arasındaki ilişkilerin öngörülmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Tablo 1 incelendiğinde değerlendirilen yol kesimlerinin üstyapı performans göstergeleri ile titreşim parametreleri arasındaki ilişkilerin en çok doğrusal regresyon analizi ile değerlendirildiği görülmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı ilişkiler taşıdığı çok sayıda çalışmada tespit edilen PCI ve a_{wz} değerleri arasındaki matematiksel ilişkiler doğrusal regresyon analizi yaklaşımı kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca, a_{wz} bileşeninin bağımsız değişken, PCI ve sürüş hızı bileşeninin bağımlı değişken olduğu durumda muhtelif doğrusal olmayan ilişkiler (karesel, üstel vb.) de araştırılmış, doğrusal regresyon yaklaşımından daha yüksek sayılabilir model tahmin doğruluklarının elde edilemediği tespit edilmiştir. Ayrıca doğrusal olmayan ilişkiler ile oluşturulan modellerde sınır değerler anlamsız çıktılar vermektedir.

Bir regresyon modelinin oluşturulmasında modellenen bağımlı değişkenin normal dağılıma uygun olması şartı aranmaktadır (Fisher, 1922). Dört farklı sürüş hızı için oluşturacağımız konforsuzluk seviyesi tahmin modellerinde, bağımlı değişken a_{wz} değerlerinin normal dağılıma uygunluğunu araştırmak amacıyla Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk Testleri uygulanmıştır. Değerlendirme sonucunda, tüm sürüş hızlarını temsilen üretilen veri dağılımlarında anlamlılık değerlerinin 0.05 değerinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Sonucunda bağımlı değişken olarak a_{wz} değerlerinin %95 güven aralığında normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca, histogram grafikleri ve test sonuç değerleri Şekil 4 ve Tablo 3'de görülmektedir. Ayrıca şekillerden görüldüğü üzere a_{wz} dağılımları belirli bir seviyede çarpıklık arz etse de istatistik analiz sonuçları kabul edilebilir seviyede kalmaktadır. Kullanılan veri setinin üretiminin zorlukları dikkate alındığında ve çok sayıda çalışmada sınırlı sayıda özgün veri yığını ile çalışılabildiği dikkate alındığında analizlerin tamamlanmaya değer olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada her bir sürüş hızı için doğrusal regresyon analizi yaklaşımı ile geliştirilen matematik modeller Tablo 4'de (3, 4, 5, 6) nolu eşitliklerde görülmektedir. Ayrıca ilgili tabloda modellerin regresyon doğrulukları (R^2) da görülmektedir. Modellerin varyans analiz değerlendirmesi sonucunda istatistik anlamlılık değerlerinin kabul edilebilirlik sınırında olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca her bir hız için üretilen modelin bağımlı (a_{wz}) ve bağımsız (PCI) değişkenleri arasındaki pearson korelasyon değerleri ve anlamlılıkları Tablo 5'de özetlenmiştir. Analiz için kullanılan verilerin dağılımları, doğrusal değişimleri ile PCI ölçeğine göre hangi aralıkta kaldığını gösteren şematik gösterim Şekil 5'de görülmektedir.

Tablo 3. Bağımlı değişkenlerin normal dağılım uygunluğu testlerinin anlamlılıkları (Significance of tests of normal distribution suitability of dependent variables)

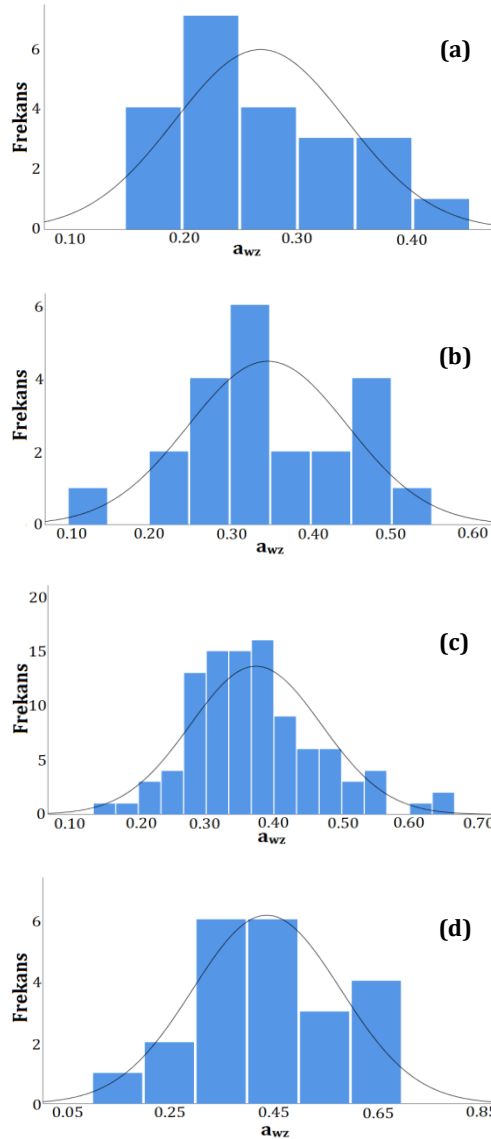
Sürüş Hızı	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
20 km/sa	0.061	0.153
30 km/sa	0.079	0.436
40 km/sa	0.052	0.101
50 km/sa	0.082	0.553

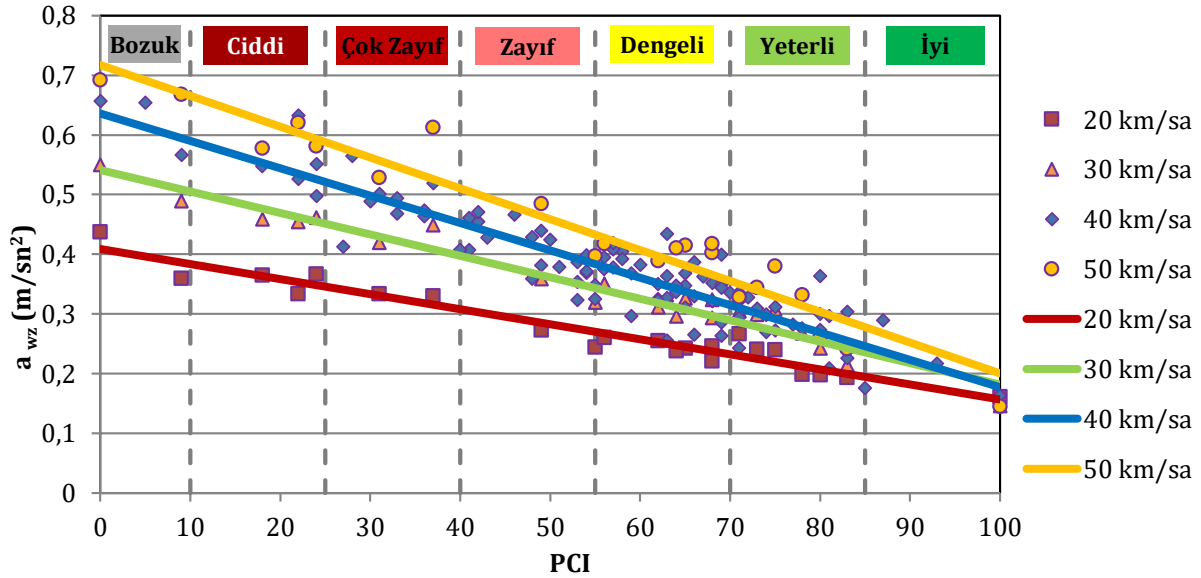
Tablo 4. PCI ve a_{wz} arasındaki doğrusal eşitlikler (Linear equations between PCI and a_{wz})

Sürüş Hızı	Model	R ²	Eşitlik No
20 km/sa	$a_{wz} = -0.0025 \cdot \text{PCI} + 0.4088$	0.940	(3)
30 km/sa	$a_{wz} = -0.0036 \cdot \text{PCI} + 0.5415$	0.955	(4)
40 km/sa	$a_{wz} = -0.0046 \cdot \text{PCI} + 0.6361$	0.846	(5)
50 km/sa	$a_{wz} = -0.0052 \cdot \text{PCI} + 0.7172$	0.931	(6)

Tablo 5. Regresyon modeli katsayılarının korelasyonları (Correlations of the regression model coefficients)

Sürüş Hızı		a_{wz}			
		20 km/sa	30 km/sa	40 km/sa	40 km/sa
P. Korelasyon	PCI	-0.970	-0.977	-0.920	-0.965
Anlamlılık	PCI	0.000	0.000	0.000	0.000

**Şekil 4.** 20 km/sa (a), 30 km/sa (b), 40 km/sa (c), 50 km/sa (d) sürüş hızları için üretilen a_{wz} değerlerinin normal dağılım histogramları (Normal distribution histograms of a_{wz} values produced for ride speeds of 20 km/h (a), 30 km/h (b), 40 km/h (c), 50 km/h (d))



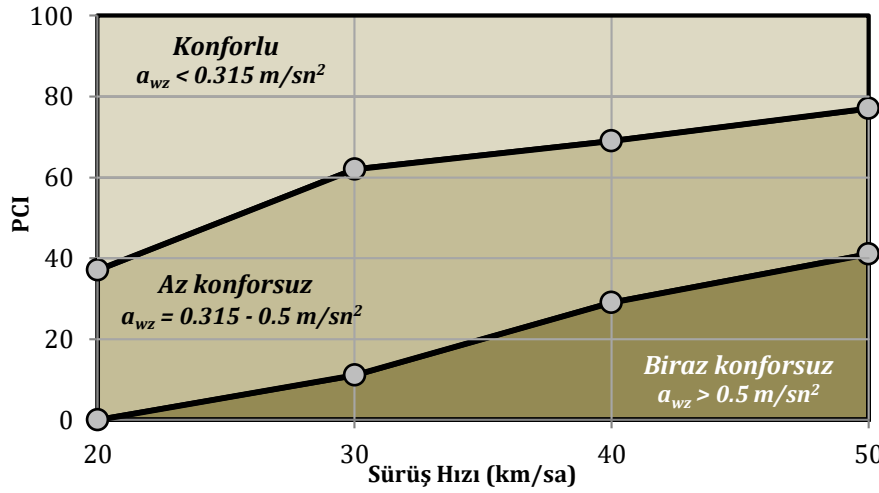
Şekil 5. Oluşturulan modellerin görsel anlatımı (Visual representation of the created models)

Her bir hız için a_{wz} titreşim parametresine ait veri yığınlarının normal dağılıma uygunlukları Tablo 3'de görülmektedir. Farklı sürüş hızlarında veri yığınlarının büyüklükleri birbirlerinden farklı olduğundan çalışmada normal dağılımı sorgulayan her iki yaklaşım da uygulanmıştır. Veri setlerinin %95 güven aralığı içerisinde normal dağılıma uygunlukları Kolmogorov-Smirnov yaklaşımında Shapiro-Wilk yaklaşımına göre sınır değerlere daha yakın olduğu göze çarpmaktadır. Analizler sonucu bulunan PCI ve a_{wz} arasındaki doğrusal modellerin R^2 değerleri (bkz. Tablo 4) oldukça yüksektir. Bu sonuçlar modellerin tahmin doğruluklarının oldukça yüksek olduğunu düşündürmekle birlikte farklı hızlarda PCI ve a_{wz} arasında doğrusal bir değişim olduğunun altını çizmektedir. Tablo 5'de görülen bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerleri de bu savı haklı çıkarmaktadır. PCI ve a_{wz} verilerinin bir koordinat düzleminde dağılımları ilgili tablolardaki öngörülerini görsel hale getirmektedir. Şekil 5 ile sunulan bu görsellik doğrusal değişimleri hızlara göre farklı renklerle ifade etmektedir. Şekil incelendiğinde PCI değerinin yüksek olduğu kesimlerde hızlara göre konfor seviyelerinin göreceli olarak birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Öte yandan PCI değerlerinin düştüğü kesimlerde konforsuzluk seviyeleri arasındaki farkların da açıldığı göze çarpmaktadır. PCI değerlerinin en düşük olduğu seviyelerde 20 - 50 km/sa sürüş hızları arasında neredeyse yarı yarıya sürüş konforunda azalma olduğu fark edilmektedir. Ayrıca Şekil 5'de üstyapıların performans seviyelerine göre veri dağılımlarının daha iyi anlaşılması amacıyla PCI eşikleri grafik üzerine işlenmiştir.

4.2. PCI Eşik Değerleri (PCI Thresholds)

Titreşim değerlendirmelerinin sonucunda tüm sürüş hızlarında elde edilen a_{wz} değerlerinin konfor seviyesi karşılıklarının, konforlu, az konforsuz ve biraz konforsuz olmak üzere en fazla üç kategoride toplandığı görülmüştür. Bu durumda, belirsizliğin yalnızca ilgili ölçeğin 0.5 - 0.63 m/sn² aralığına karşılık gelen az konforsuz ve biraz konforsuz konfor değerleri arasında olduğu görülmektedir. Matematik modelleme yardımıyla konfor sınırlarını mutlak olarak belirleyebilmek için az konforsuz ve biraz konforsuz arasındaki limit değeri güvenli tarafta kalabilmek için alt sınır değeri olan 0.5 m/s² olarak kabul edilmiştir. Bu kabul ışığında her sürüş hızı için PCI ve a_{wz} değerleri arasında doğrusal regresyon tekniği kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur ve bu modeller yardımıyla her bir sürüş hızı için 0 - 100 aralığında PCI bağımsız değişkenlerine karşılık gelen konfor eşikleri belirlenmiştir. a_{wz} titreşim parametresini kullanarak konfor seviyesinin yorumlanmasında bölüm 2.2'de vurgulanan kabuller dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda bulunan PCI eşik değerleri Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6'da görülen sonuç değerler sürüş sırasında konforun korunabilmesi için sürüş hızının artışı ile üstyapı kesimlerinde daha yüksek PCI değerlerine ihtiyaç olduğunu ifade etmektedir. Bu açıklama üstyapıların mevcut hizmet düzeyini gösteren PCI'nin sürüş konforunu ancak sürüş hızına bağlı olarak ifade edebildiğini anlatmaktadır. Bu durum literatürde yer alan çok sayıda çalışmada araştırmacılar tarafından vurgulanmış, sürüş konforunu açıklamak için üstyapının mevcut performans seviyesinin yanında sürüş hızının da dikkate alınması gerektiğinin altı çizilmiştir (Abudinen et al., 2017; Cantisani ve Loprencipe, 2010; Yu et al., 2006). Çalışmanın sonunda elde edilen PCI'nin eşik değerleri sayısal değerler olarak Tablo 6'da ve grafik olarak Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Kentsel yol ağında BSK kaplamalı üstyapılarda konforlu sürüş için PCI eşik değerleri (PCI thresholds for comfortable riding on HMA paved pavements in the urban road network)

Tablo 6. Konforlu sürüş için PCI eşik değerleri (PCI thresholds for comfortable riding)

Sürüş Hızı	Konforlu - Az konforsuz	Az konforsuz - Biraz konforsuz
20 km/sa	37	0
30 km/sa	62	11
40 km/sa	69	29
50 km/sa	77	41

5. Tartışma (Discussion)

5.1. Modelleme Yaklaşımlarının Karşılaştırılması (Comparison of Modeling Approaches)

Bu çalışmada kullanılan veriler lojistik regresyon, bulanık mantık ve yapay sinir ağları teknikleri ile değerlendirilmiş ve önceki çalışmalarda sonuçları yayınlanmıştır (Kırbaş ve Karaşahin, 2018a, 2019). Bu çalışmada elde edilen sonuç değerler ile birlikte tüm modelleme yaklaşımları ile elde edilen eşik değerler bir veri yığını halinde Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 7. Farklı modelleme yaklaşımları ile bulunan eşik değerlerin karşılaştırılması (Comparison of threshold values found with different modeling approaches)

Sürüş Hızı	Konforlu - Az konforsuz			
	Doğrusal Regresyon Model	Lojistik Regresyon Model	Yapay Sinir Ağları	Bulanık Mantık
20 km/sa	37	43	42	40
30 km/sa	62	63	67	70
40 km/sa	69	70	72	79
50 km/sa	77	78	78	82
Sürüş Hızı	Az konforsuz - Biraz konforsuz			
	Doğrusal Regresyon Model	Lojistik Regresyon Model	Yapay Sinir Ağları	Bulanık Mantık
20 km/sa	0	0	0	0
30 km/sa	11	5	12	11
40 km/sa	29	36	30	39
50 km/sa	41	51	45	50

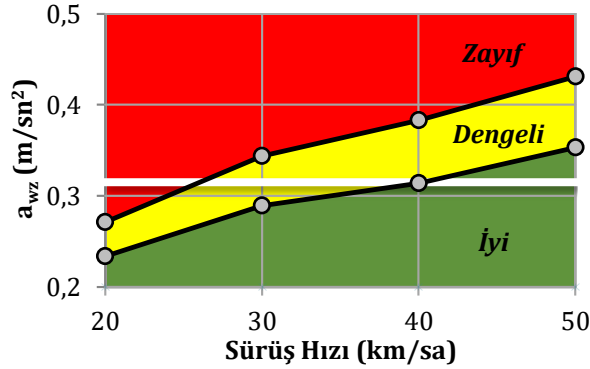
Tablo 7 detaylıca incelendiğinde hem konforlu ile az konforsuz sınırındaki hem de az konforsuz ve biraz konforsuz sınırındaki eşik değerlerde en düşük sonuç değer üreten yaklaşımın doğrusal regresyon modeli olduğu görülmektedir. Doğrusal regresyon modelini bulanık mantık yaklaşımı takip etmektedir. Lojistik regresyon ve sinir ağları noktasal yüksek ve alçak değerler üretmekle beraber nispeten birbirlerine yakın sonuçlar ürettikleri anlaşılmaktadır. Çeşitli modelleme yaklaşımlarının sonucu üretilen eşik değerlerin arasında üstyapıların

işletmecilerine en avantaj sağlayanının doğrusal regresyon modeli olması, literatürde de en çok bu yaklaşımda çalışmanın yapılmış olmasına ilave bir anlam da katmaktadır.

5.2. Üstyapı Performans Sınırlarının Konfor Karşılıkları (Comfort Correspondences of Pavement Performance Limits)

Üstyapıların mevcut performanslarının değerlendirme ölçeği işletmeci otoriteye göre farklılıklar göstermektedir. Dünyada birçok farklı ülkede farklı hizmet sınıflarındaki yollar için üstyapı performans kriteri kabulleri yapılmıştır. PAVER sistemi bu durumu iki farklı değerlendirme ölçeği (Standart ve geleneksel) ile sayısal sınırlara bağlamıştır. Çalışmada modelin sorgulanmasının ikinci aşamasında PAVER sisteminin öngördüğü Geleneksel PCI değerlendirme ölçeğine göre üstyapı performans kriteri sınır değerlerinin sürüş konforu karşılıkları belirlenmiştir. PAVER sisteminde BSK kaplamalı yol ağında hizmet veren yol üstyapılarının performans seviyelerini belirlemede kullanılan sınır değerleri ve sonuçları daha anlaşılır kılmak için uygulanan renk ölçeği sistemin de önerdiği haliyle Şekil 1’de görülmektedir.

Çalışma kapsamında üretilen doğrusal regresyon modeline Şekil 1’de önerilen geleneksel ölçeğe ait PCI sınır değerleri ve 20 – 50 km/sa aralığında sürüş hızı değerleri girilerek sınır değerlere karşılık gelen sürüş konforu (a_{wz}) değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 8’de görülmektedir. Model aracılığıyla üretilen ve Tablo 8’de sayısal değerleriyle ifade edilen sürüş konforunun (a_{wz}) sınır değerleri grafik olarak Şekil 7’de görülmektedir. Görsel değerlendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla Şekil 1’de önerilen renk ölçeği Şekil 7’de kullanılmıştır. Şekilde konforlu ve Az konforsuz konfor seviyelerini ayıran 0.315 (m/sn^2) değeri beyaz çizgi ile ayrılarak hıza göre konfor seviyesindeki değişim daha belirginleştirilmiştir.



Şekil 7. Geleneksel PCI ölçeğinin sınır değerlerine karşılık gelen a_{wz} değerlerinin grafiksel gösterimi (Graphical representation of a_{wz} values corresponding to the limit values of the conventional PCI scale)

Şekil 7’den görüldüğü üzere PAVER sisteminin önerdiği geleneksel PCI ölçek değerlendirmesine göre ‘İyi’ üstyapı performans seviyesinde 40 km/sa sürüş hızına kadar konforlu bir sürüş sağlanabilmektedir. Bu seviyede 40 km/sa üzerindeki hızlarda konforlu seviyesinde bir sürüşün sağlanamadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, ‘Dengeli’ üstyapı performans seviyesinde yaklaşık 27 km/sa üzerindeki hızlarda konforlu seviyesinde bir sürüşün sağlanamadığı grafikten görülmektedir. İlave olarak ölçeğe göre ‘Zayıf’ üstyapı performans seviyesinde değerlendirilen hız aralığında herhangi bir hızda konforlu bir sürüşün sağlanamadığı çok açıktır.

6. Sonuç (Conclusion)

Çalışmada, insan vücudunun maruz kaldığı titreşim yardımıyla açıklanan farklı sürüş konforu seviyelerinin PCI değerleri ile arasındaki matematiksel ilişkiler 20-50 km/sa hız aralığında araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı hizmet düzeylerine sahip sıcak asfalt kaplamalı yollarda (PCI değerleri bilinen) farklı sürüş hızlarında titreşim ölçümleri yapılmış ve aralarındaki ilişkiler doğrusal regresyon modelleme tekniği kullanılarak modellenmiştir. Üretilen modelin başarı düzeyi (R^2) ve istatistiksel yaklaşımlarla kabul edilebilir bir değerlendirme aracı olup olmadığı araştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucu kabul edilebilir olduğu tespit edilen matematik model aracılığıyla, ISO standardının sınır değerleri ve farklı sürüş hızlarına göre PCI’nın sürüş konforunu etkileyen eşik değerleri belirlenmiş, sonuçlar tablo ve grafikler yardımıyla sunulmuştur. Bunun yanında PAVER sisteminin geleneksel değerlendirme ölçeğinde tavsiye edilen ve üstyapıları üç kategoriye ayıran PCI sınır değerlerine (PCI = 55 ve 70) karşılık gelen sürüş konforu değerleri belirlenmiştir. Tüm bu değerlendirmeler grafikler aracılığıyla görselleştirilerek çalışmanın okunabilirliğine katkı sağlanmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler ışığında aşağıda belirtilen tespitler elde edilmiştir.

- Sürüş konforunun üstyapıların mevcut hizmet düzeylerinin yanında hıza da bağlı olduğu açıkça görülmektedir.

- Konfor seviyesi düşük (az konforsuz, biraz konforsuz) olan (çok miktarda titreşime maruz kalınan) üstyapı kesimlerinde, PCI'nin sürüş konforu üzerinde daha etkili olduğu açıktır.
- Üstyapı performansının düşük olduğu PCI değerlerinde, 20 – 50 km/sa hız aralığında sürüş sırasında maruz kalınan konforsuzluğun hızın artışı ile iki katına kadar arttığı fark edilmektedir. Kentsel karayolu ağlarında hız denetiminin yetersiz olduğu yol kesimlerinde PCI'nin konforsuzluk üzerindeki etkisi daha şiddetli bir şekilde hissedilmektedir.
- Öte yandan, farklı sürüş hızlarında bulunan regresyon modelleri ve modellerin istatistik göstergeleri, PCI ile a_{wz} arasında doğrusal bir değişim olduğunu göstermektedir. Literatürdeki bazı çalışmaların yanında bu çalışmada da PCI ve a_{wz} arasındaki ilişkinin basitçe doğrusal regresyonla gösterilebileceğinin altı çizilmiştir.
- 20 – 50 km/sa hız aralığında PAVER sisteminin önerdiği geleneksel PCI ölçek değerlendirmesine göre 'İyi' üstyapı performans seviyesinde 40 km/sa sürüş hızına kadar konforlu bir sürüş sağlanabilmektedir. Bu seviyede 40 km/sa üzerindeki hızlarda konforlu seviyesinde bir sürüşün sağlanamadığı anlaşılmaktadır.
- 'Dengeli' üstyapı performans seviyesinde yaklaşık 27 km/sa üzerindeki hızlarda konforlu seviyesinde bir sürüşün sağlanamadığı görülmektedir. İlaveten ölçeğe göre 'Zayıf' üstyapı performans seviyesinde değerlendirilen hız aralığında herhangi bir hızda konforlu bir sürüşün sağlanamadığı çok açıktır.
- Dört farklı modelleme tekniği ile üretilen sonuç değerler karşılaştırıldığında, hem konforlu ile az konforsuz sınırındaki hem de az konforsuz ve biraz konforsuz sınırındaki eşik değerlerde en düşük sonuç değer üreten yaklaşımın doğrusal regresyon modeli olduğu görülmektedir. Doğrusal regresyon modelini bulanık mantık yaklaşımı takip etmektedir. Lojistik regresyon ve sinir ağları noktasal yüksek ve alçak değerler üretmekle beraber nispeten birbirlerine yakın sonuçlar ürettikleri anlaşılmaktadır.
- Çeşitli modelleme yaklaşımlarının sonucu üretilen eşik değerleri arasında üstyapıların işletmecilerine en çok avantaj sağlayanının doğrusal regresyon modeli olması, literatürde de en çok bu yaklaşımda çalışmanın yapılmış olmasına ilave bir anlam da katmaktadır.

Çalışmanın literatürde yapılan benzer çalışmalara göre en üstün yanı, simülasyon teknikleri ile üretilen sentetik veriler yerine gerçek saha ölçümleri ile elde edilen verilerin kullanılarak sonuçların üretilmesinin yanında PAVER sisteminin geleneksel PCI ölçeği sınırlarının sürüş konforu seviyeleri bulunmuştur.

Belirlenen bu limitlerin, üstyapıların işletiminden (bakım&onarım) sorumlu birimler için, sorumluluklarında bulunan yol ağlarındaki memnuniyeti tespit edebilmelerinde önemli bir araç olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abudinen, D., Fuentes, L. G., Carvajal Muñoz, J. S., 2017. Travel Quality Assessment of Urban Roads Based on International Roughness Index. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2612, 1-10.
- ASTM. 2016. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, ASTM D 6433-16. West Conshohocken, PA, United States: ASTM International.
- Cantisani, G., Loprencipe, G., 2010. Road Roughness and Whole Body Vibration: Evaluation Tools and Comfort Limits. Journal of Transportation Engineering, 136 (9), 818-826.
- Carey Jr, W. N., Irick, P. E., 1960. The pavement serviceability-performance concept. Highway Research Board Bulletin, 250, 40-58.
- Duarte, M. L. M., De Melo, G. C., 2018. Influence of pavement type and speed on whole-body vibration (WBV) levels measured on passenger vehicles. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 40 (3), 150.
- Fichera, G., Scionti, M., Garesci, F., 2007. Experimental Correlation between the Road Roughness and the Comfort Perceived In Bus Cabins. SAE Technical Paper, 352, 1-13.
- Fisher, R. A., 1922. The Goodness of Fit of Regression Formulae, and the Distribution of Regression Coefficients. Journal of the Royal Statistical Society, 85 (4), 597-612.
- Fuentes, L., Camargo, R., Martínez-Arguelles, G., Komba, J. J., Naik, B., Walubita, L. F., 2021. Pavement serviceability evaluation using whole body vibration techniques: a case study for urban roads. International Journal of Pavement Engineering, 22 (10), 1238-1249.
- Griffin, M. J., 2007. Discomfort from feeling vehicle vibration. Vehicle System Dynamics, 45 (7-8), 679-698.

- Griffin, M. J., 2012. Handbook of human vibration. London, UK: Academic press.
- Guanyu, W., Michael, B., Gurmel, G., 2020. Study of the Factors Affecting Road Roughness Measurement Using Smartphones. *Journal of Infrastructure Systems*, 26 (3), 04020020.
- Haas, R., Hudson, W. R., Zaniewski, J. P., 1994. Modern Pavement Management. Malabar, Florida, USA: Krieger Pub. Co.
- ISO. 1997. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General Requirement, ISO 2631-1. Geneva, Switzerland: ISO.
- ISO. 2005. Human response to vibration - Measuring instrumentation, ISO BS EN 8041. Geneva, Switzerland: ISO.
- İşkender, E., Seymen A., Aksoy, A., 2022. Asfalt Kaplamalarda Tabaka Kalınlığının Etkisinin Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10 (1), 61-73.
- Kim, M. S., Kim, K. W., Yoo, W. S., 2011. Method to objectively evaluate subjective ratings of ride comfort. *International Journal of Automotive Technology*, 12 (6), 831-837.
- Kırbaş, U., 2018. Konforlu Sürüş İçin Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi Sınır Değerlerinin Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6 (2), 301-309.
- Kırbaş, U., Karaşahin, M., 2016. Performance models for hot mix asphalt pavements in urban roads. *Construction and Building Materials*, 116, 281-288.
- Kırbaş, U., Karaşahin, M., 2018a. Investigation of ride comfort limits on urban asphalt concrete pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 19 (10), 949-955.
- Kırbaş, U., Karaşahin, M., 2018b. Pavement performance levels causing human health risks. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 70 (10), 851-861.
- Kırbaş, U., Karaşahin, M., 2019. Determination of Pavement Performance Thresholds for Comfortable Riding on Urban Roads. *Journal of Testing and Evaluation*, 47 (1), 57-77.
- La Torre, F., Ballerini, L., Di Volo, N., 2002. Correlation Between Longitudinal Roughness and User Perception in Urban Areas. *Transportation Research Record*, 1806 (1), 131-139.
- Múčka, P., 2017. Road Roughness Limit Values Based on Measured Vehicle Vibration. *Journal of Infrastructure Systems*, 23 (2), 04016029.
- Múčka, P., 2020. Vibration Dose Value in Passenger Car and Road Roughness. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 146 (4), 04020064.
- Múčka, P., 2021. International Roughness Index Thresholds Based on Whole-Body Vibration in Passenger Cars. *Transportation Research Record*, 2675 (1), 305-320.
- Nguyen, T., Lechner, B., Wong, Y. D., Tan, J. Y., 2019. Bus Ride Index – a refined approach to evaluating road surface irregularities. *Road Materials and Pavement Design*, 22 (2), 423-443.
- Sayers, M. W., Karamihas, S. M., 1996. Interpretation of road roughness profile data: 166: Federal Highway Administration.
- Shahin, M. Y., 2005. Pavement management for airports, roads, and parking lots. New York: Springer.
- Terzi, S., Ahmed, M.H., 2020. Kırsal Yolların Üstyapı Performans Analizinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılabilirliği: Isparta Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6 (3), 904-911.
- Wang, F., Easa, S., 2016. Analytical Evaluation of Ride Comfort on Asphalt Concrete Pavements. *Journal of Testing and Evaluation*, 44 (4), 1671-1682.
- Yu, J., Chou, E. Y. J., Yau, J.-T., 2006. Development of Speed-Related Ride Quality Thresholds Using International Roughness Index. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1974, 47-53.
- Zhang, J., Wang, L., Jing, P., Wu, Y., Li, H., 2020. IRI Threshold Values Based on Riding Comfort. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 146 (1), 04020001.



GIDA SEKTÖRÜNDE YÖNETİM SİSTEMLERİ DENETİMLERİ VE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

M. Kemal DEMİRAĞ¹ A. Zeki HEPÇİMEN^{2*} Fırat ÖZEL³ Ö. Kemal KEMAHLIOĞLU⁴

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Müh. Böl. Bornova, İzmir

²Celal Bayar Üniversitesi, Saruhanlı Meslek Yüksekokulu, Manisa

³Pars Eğitim & Danışmanlık, Manisa

⁴Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Bornova, İzmir

Anahtar Kelimeler

*Gıda Güvenliği,
Kalite Yönetim Sistemleri,
Gıda Denetimi,
Standart Denetimleri,
BRC IFS ISO 22000.*

Öz

Güvenli gıdaya ulaşmada en temel öge denetimdir. Gıda fabrikaları ve tedarikçileri düzenli olarak kalite yönetimi ve gıda güvenliği kapsamlarında denetimlerden geçmektedir. Bu denetimler mevcut yasal düzenlemelerin ortaya koyduğu gerekliliklerin yanı sıra gıda güvenliği standartlarının öngördüğü konuları da içermektedir. Bu yönüyle denetimlerin içeriği, temel olarak gıda güvenliği ve gıda kalitesi konularını kapsamakla birlikte iş sağlığı güvenliği, çevre, sosyal uygunluk, dini beklentiler, gıda savunması, tarımsal üretim metotları ve özel müşteri beklentileri olabilmektedir. Ürün kalite kriterleri ve uygulamaları, uluslararası standart komisyonları, üretici ve perakendeci birlikleri, ulusal ve uluslararası zincir marketler tarafından standartlar olarak yayınlanmaktadır. Bu amaçla çıkartılan standartların hedefi gıda güvenliği ve gıda kalitesi olmaktadır. Ayrıca tüketicilerin sağlığını ve beklentilerini garanti altına almak, işletme uygulamalarından ortaya çıkabilecek riskleri de ortadan kaldırmaktır. Sektör olarak çok geniş bir yapı oluşturan gıda işletmeleri, standart uygulamalarından çok ciddi faydalar sağlamakla birlikte, denetim uygulamaları sırasında bazı zorluklar yaşayabilmektedir. Özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin gelişebilmeleri için doğru bilgi kaynaklarına ve maddi desteklere ihtiyaçları olduğu açıktır. Bu çalışmada standartların oluşturulma amaçları, kapsamı, üreticilerin sağladığı faydalar, uygulamalarda yaşanan sorunlar ve olası çözüm önerileri ile geleceğe ilişkin beklentiler değerlendirilmiştir.

MANAGEMENT SYSTEM AUDITS IN THE FOOD SECTOR AND ENCOUNTERED PROBLEMS

Keywords

*Food Safety,
Quality Management Systems,
Food Inspection,
Standard Audit,
BRC IFS ISO 22000.*

Abstract

The most basic element in accessing safety food is the audit. Food factories and suppliers regularly undergo inspections within the scope of quality management and food safety. These audits include the requirements set by the current legal regulations as well as the issues stipulated by social compliance standards. In this respect, although the content of the inspections mainly covers food safety and food quality issues, there may be occupational health safety, environment, social compliance, religious expectations, food defense, agricultural production methods and special customer expectations. Product quality criteria and practices are published as standards by international standard commissions, manufacturers and retailer associations, national and international chain markets. The goal of the standards set for this purpose is to guarantee food safety, food quality and the health and expectations of consumers. In addition, it is to eliminate the risks that may arise from the management practices of the factories. Food factories, which constitute a very wide structure as a sector, provide very serious benefits from their standard implementation but may experience some difficulties during inspection practices. It is clear that especially small and medium-sized factories need the right information sources and financial support to develop. In this study, the aims of establishing standards, their scope, the benefits provided by the producers, the problems

* İlgili yazar / Corresponding author: hepcimen@gmail.com, +90-555-967-77-36

experienced in the applications and possible solution suggestions and future expectations were evaluated.

Alıntı / Cite

Demirağ, M.K., Hepçimen, A.Z., Özel, F., Kemahlıoğlu, Ö.K., (2022). Gıda Sektöründe Yönetim Sistemi Denetimleri ve Karşılaşılan Sorunlar, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 891-898.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.K.Demirağ, 0000-0001-9332-7253
A.Z.Hepçimen, 0000-0002-2785-3607
F.Özel, 0000-0002-4358-032X
Ö.K.Kemahlıoğlu, 0000-0002-8125-6563

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	01.06.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde yaşanan pandeminin de gösterdiği gibi gıda güvenliği, halk sağlığının en temel unsurlarındandır ve bu güvenliğin sağlanmasında denetleyiciler ve denetlenenler arasında tam bir iş birliği ve güven ortamı sağlanmalıdır. Ulusal ve uluslararası düzeyde meydana gelen çeşitli hastalık etmenlerinin varlığının gıdalarda gözlenmesi (gıdalarda dioksin varlığı, *Salmonella*, *E. coli* gibi bakterilerin yüksek oranlarda saptanması), sanayiye dayalı gıda üretim sistemlerinin hem tüketicilere ve hem de üreticilere nasıl ve ne şekilde zararlar verebileceği konusundaki farkındalık çarpıcı bir şekilde arttırmıştır. Konu gıda kalitesi ve güvenliği kapsamında yayınlanan standartlarla nispeten çözülmüş olmakla birlikte önemli ölçüde artan küresel ticaret bağlamında gıda güvenliğinin sağlanmasının zorlukları ve maliyeti tartışılan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıda üretiminde kullanılan teknolojik uygulamaların, güvenli gıda üretmeye yönelik yaklaşımları bilim insanları, tüketiciler ve kamuoyu oluşturucuları (basım yayın organları vb.) tarafından giderek daha fazla sorgulanmakta ve değerlendirilmektedir.

Yüksek miktarlarda gıda ithal eden gelişmiş ülkeler, tüketicilerini korumak amacı ile gıda güvenliğine ilişkin düzenlemeleri (kanun, tüzük, yönetmelik ve standartlar) önceden oluşturmuşlar ve kullanmaya başlamışlardır. Daha sonrasında bu kriter ve standartlar, ithalatı gerçekleştirdikleri ülkelere bildirilmiş, bunlara uymaları istenmiş ve geçmişten günümüze daha katı bir şekilde güçlendirilerek günümüze ulaştırılmıştır. Bu doğrultuda ulusal ve uluslararası düzeyde geliştirilen ilkeler ve standartlar (örneğin çok taraflı kuruluşlar ve birlikler tarafından belirlenenler sistem standartları gibi) güvenli gıda üretimi anlayışına uygun olacak şekilde ortaya konulmuş ve tedarik zincirinde yer alan aktörlerin (üreticiler, perakendeciler, ithalatçılar, gıda ajansları ve ilgili kamu kuruluşları vb.) faaliyetlerinin işleyişinin bu düzenlemelere uygun olması istenmiştir. Bu düzenlemeler genellikle gıda kontrol mekanizmalarının, son ürüne ait normlarını (örneğin biyokimyasal ve mikrobiyolojik kirlenmelerin maksimum limitlerini), izlenebilirlik ve risk yönetimi sistemlerinin, tarla ve çiftliklerdeki iyi tarım uygulamalarının yanı sıra, gıda işletmeleri için ortaya konulan iyi uygulamaların yapısal özellikleri ile sorumluluk kuralları (örneğin HACCP) gibi faktörleri kapsamaktadır (Çetin ve Şahin, 2017; Koç ve Uzman, 2015; Dalgıç ve Belibağlı, 2006).

Bugün dünya ticaretindeki gelişmeler, üretilen malların tüketicilerin gereksinimlerini en yüksek fayda ile üreticiler açısından da en yüksek verimlilikle karşılaması açısından belirlenen kalite kriterleri doğrultusunda denetlemesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu denetimler ulusal ve uluslararası düzeyde oluşturulan hukuki uygulama ve sözleşmelere göre gerçekleştirilmekte ve gıda üretim tesislerinin yanı sıra ilgili yan sanayi (katkı maddeleri, ambalaj sanayi vb.) üretimi ve ticaretini de kapsamaktadır. Güvenli gıda ve gıda güvenliğine ilişkin oluşturulan yönetmelik ve standartlar giderek artan bir şekilde dünya tarımı ve gıda ticaretine egemen olmaktadır. Bu olgular doğrultusunda çalışmada, konuya ilişkin literatürde yer alan görüşler ve bazı uzman denetçilerin denetlemelerde karşılaştıkları zorluklar da dikkate alınarak gıda güvenliği sistemleri ve yönetim sistemlerinin denetlenmesi ile ilgili yaşanan sorunların ortaya konulması ve bazı çözüm önerilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Gıda Standartlarının Oluşturulma Nedenleri (Reasons for Establishing Food Standards)

Hızla gelişen bir küreselleşme sürecinin yaşandığı günümüzde, işletmelerin iç ve dış pazarlarda rekabet edebilme güçlerini koruyabilmeleri için ürün tasarımlarında ve üretim olanaklarının geliştirilmesinde müşteri beklentilerini ve taleplerini mutlaka göz önünde bulundurma zorunlulukları ortaya çıkmıştır. Bu nedenle standartların ve kalite faktörlerinin belirlenmesinde tüketici talep ve beklentileri önemli bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan artan dünya nüfusu, bilim ve teknolojiye gelişmeler, beslenme özelliklerindeki değişimler gibi temel faktörler gıdanın da stratejik ürünler grubu içerisine girmesine, küresel gıda tedarik ve satış zincirlerinin gelişmesine neden olmuştur. Bu doğrultuda güçlenen market zincirleri rekabet avantajı sağlamak için kendilerine özel standartları ortaya koymaya başlamışlardır. Böylelikle birçok gıda işletmesi daha sistematik ve kontrollü üretim yapısına ulaşmış, ulusal ve uluslararası standartların oluşmasına neden olmuşlardır. Uluslararası Standardizasyon Örgütüne (ISO) göre standart; "üretimde, hizmette ve anlayışta, ölçme ve analizde tekdüze bir yaklaşım sağlanma işlemi" şeklinde

tanımlanmaktadır (Anonim, 2019a). ISO'nun kurucu üyelerinden birisi olan Türk Standartları Enstitüsü (TSE) standardizasyonu; "belirli bir faaliyetle ilgili olarak, ekonomik fayda sağlamak üzere, bütün ilgili tarafların yardım ve iş birliği ile belirli kurallar koyma ve bu kuralları uygulama işlemi" olarak ifade etmektedir (Anonim, 2020a). Bu iki tanımlama dikkate alındığında, genel anlamda standart terimi "Bir işletme organizasyonunda, bir ürünü, bir çalışma yöntemini, üretilecek miktarı, bütçe için gerekli finans miktarı gibi konuları açık ve net bir şekilde belirlemek için konulmuş kurallar bütünü" olarak açıklanabilir. Gıda sektörüne yönelik standartlar ise genel olarak tarımsal ve gıda üretim faaliyetleri için, hammadde ve girdi temini, işleme, depolama ve lojistik ile ilgili kuralların geliştirilmesidir (Demirağ vd., 2019; Anonim, 2019b). Burada amaç son tüketici veya büyük müşterilerin (örneğin toptancılar ve zincir marketler gibi) istek ve beklentilerinin üreticiler tarafından istenilen kalite düzeylerinde, güvenilir bir şekilde karşılanmasıdır. Bu nedenle hazırlanan standartlar gıda güvenliği şartlarını da kapsamlı ve üreticiler bunlara uyarak ürünlerinin güvenilirliğini ortaya koymalıdır.

Gıda güvenliği ve gıda ticaretine ilişkin hukuki sözleşmeler ve standartlar, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki gıda üretim sistemlerinin güvenli gıda üretimi doğrultusunda revize edilerek daha yüksek teknoloji uygulamaları açısından olumlu yönde teşvik etmektedir. Bu doğrultuda yeterli üretim kapasitesine sahip olmayan küçük üreticilerde bu standartlara uyum göstererek işletmelerini risklere karşı hazırlıklı hale getirip, iş risklerini düşürmektedir. Bu standartlar aynı zamanda işletmelerin yeniliklere karşı hızla uyum göstermelerini sağlamakta, gelişme kültürlerini kazanarak, işletme performanslarını arttırmalarına da yardımcı olmaktadır. Üretimin belirli plan ve programa göre yapılması nedeniyle uygun kalitede ürün üretmeye imkân sağlamalarının yanı sıra depolamayı ve taşımayı kolaylaştırarak stok maliyetlerinin azalmasına, enerji kaynaklarının en uygun şekilde kullanımını teşvik ederek ekonomik tasarrufun gerçekleşmesine ve işletme imajının artmasını da sağlamaktadırlar (Anonim, 2020a; Anonim, 2019c). Genel anlamda bu standartlar;

- Ulusal ve uluslararası piyasalarda tüketicilere karşı güveni artırmakta,
- İşletme açısından verimliliği en yüksek düzeye çekmekte,
- Uluslararası ticarete sözleşme şartlarını yerine getirmelerini sağlamaktadır.

Bu üç temel faktör standartların işletmelere sağladığı yararlar olarak nitelendirilmelerinin yanı sıra standartların oluşturulma nedenleri olarak da sayılabilmektedir.

3. Gıda Standartlarının Uygulama Esaslarına Göre Çeşitliliği (Diversity of Food Standards According to Implementation Principles)

Ulusal ve uluslararası gıda ticaretinde, gıda üreticilerinin güvenilirliği kalite sistemi yönetimine ilişkin söz konusu standartların uygulandığını gösteren standart belgeleri ile değerlendirilmektedir. Yasal olarak bir zorunluluk olmamakla birlikte, bu durum gıda ticaretinde üst düzey müşteriler veya marketler ile çalışmak isteyen gıda üreticileri için standart uygulamalarının belgelendirilmesi kaçınılmaz bir hal almaktadır. Ayrıca bazı ülkeler için özel anlamda dini içerikli standartların kullanıldığı da görülmektedir (Anonim, 2020a; Anonim, 2019d).

Son tüketicinin ihtiyaç, istek ve beklentileri daha kabul edilebilir seviyelerde olmakla birlikte, uluslararası gıda zincirinde yer alan kuruluşların beklentileri tüm olası risklerin üretim aşamasında ortadan kaldırılması yönündedir. Bu nedenle uluslararası market standartlarının uygulanması ve belgelendirilmesi daha zorlayıcı olmaktadır. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) (Anonim, 2019a; Anonim, 2019e) tarafından sunulan yönetim sistem standartları ve diğer kalite standartları daha genel geçer kuralları tanımlamakla birlikte, dini içerikli standartlarda ise hedef olarak anılan konu kapsamında firmaya özgü uygulamaların denetimlerinde, dini kabul ve yorumlamalara bağlı kurallar değerlendirilmektedir. Standart içerikleri örneğin Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliğinde olduğu gibi mevzuatlara ilişkin ise, genel hükümler ile uyulması gerekli zorunlu kuralları içermektedir ve gerekli durumlar da uyulması gerekli şartlar için değerler ile uygulama esasları da belirtilebilmektedir (Anonim, 2020b). Standartlar ise temel olarak her bir ürün veya hizmet için ayrı ayrı hazırlandığından o ürün ve şart için daha fazla kalite kriteri ve daraltılmış kalite değerlerini içerebilmektedir. Mevzuat uygulamaları ile standart uygulamaları arasındaki en önemli fark, aksi belirtilmemiş ise standartların uygulamaları tercih nedeni iken, mevzuat uygulamaları zorunluluk arz etmesidir. Standartların oluşturulması temel olarak hem üretici hem de tüketicinin menfaatlerinin korunması açısından yasal otoritelerin oluşturduğu mevzuatların dışında konuya taraf olan kurum ve kuruluşların gönüllülüğü esasına dayanmaktadır. İşletmeler, farklı kapsamda oluşturulmuş bu standartları müşteri istekleri doğrultusunda uygulamakta ve belgelendirmektedir. Geçtiğimiz on yıllar boyunca, gıda güvenliği ile ilgili gereksinimler ve bunlara ilişkin ürün kalite niteliklerindeki beklentiler hızla artmış, gıda üretiminin etik ve çevresel kaygıları ile ilgili standartlar da önem kazanmıştır. Son zamanlarda, özellikle yöresel olarak geleneksel usullerle üretilen gıdalar için kalite kriterleri belirlenerek oluşturulan standart ve sertifikasyonlarla küçük üreticilerin ürünleri koruma altına alınmaya çalışılmaktadır (Kill, 2012).

Standardizasyon uygulamaları ve standart oluşturma, üretimi ilgilendiren her konuda (makine, gıda, madencilik, inşaat, sağlık, turizm, eğitim, bankacılık vb.) olabilmektedir. Oluşturulan çeşitli konulardaki standartlar, bu doğrultuda çeşitli gruplar altında sınıflandırılabilir. Genel olarak standartlar; yapı karakterine göre, uygulama alanları ve şekillerine göre gruplandırılabilir gibi, uygulama alanları dikkate alınarak;

- a) İşletme Standartları
- b) Endüstriyel Standartlar
- c) Milli Standartlar
- d) Bölgesel Standartlar
- e) Uluslararası Standartlar gibi başlıklar altında da sınıflandırılabilir (Anonim, 2020a).

İşletmeler açısından standartların uygulanması gönüllülük esasına dayanmakla birlikte insan sağlığı, can ve mal güvenliği, kaynakların kıtlığı, enerji darboğazı ve millî sanayinin korunması, dış ticaret ilişkilerindeki düzensizlikler gibi nedenlere bağlı olarak siyasi otoriteler bazı standartların uygulamasını mecburi hale getirebilmektedir. Konu gıda üretimi ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde uygulama alanı ve esaslarına göre gıda kalitesi ve güvenliği kapsamında birçok standart yürürlüğe girmiştir. Bu standartlardan bazıları; Uluslararası Gıda Standardı [International Food Standard (IFS)], İngiliz Perakendeciler Birliği Küresel Standardı [British Retailer Consortium Global Standard (BRCGS)], Güvenli Kaliteli Gıda [Safe Quality Food (SQF)], Japon Gıda Standardı [Japan Food Standard (JFS)], Gıda Güvenliği Standardı Sertifikasyonu [Food Safety Standard Certification (FSSC 22000)], Uluslararası Standartlar Organizasyonu Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Standardı (ISO 22000), Uluslararası Standartlar Organizasyonu Kalite Yönetim Sistemi (ISO 9001) Standardıdır (Anonim, 2020a; Anonim, 2019c; Kill, 2012).

4. Uygulama Alanlarına Göre Standartlar (Standards by Application Areas)

Gıda kalitesi ve güvenliği açısından en çok gündeme gelen standartlar uygulama alanlarına göre, ISO Yönetim Sistemi Standartları, Uluslararası ve Ulusal Market Zincirleri Standartları, Dini İçerikli Standartlar ve Diğer Standartlar olarak değerlendirilebilir. Bu standartlardan en geniş kullanım alanı bulan standartlar ISO tarafından oluşturulan yönetim sistemi standartlarıdır (Anonim, 2019e). Sektörler temelinde çıkartılan yönetim sistem standartları ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve ISO 45001 İş Sağlığı Güvenliği Yönetim Sistemi ve benzer standartlarıdır. Gıda üretimi ile doğrudan ilişkili ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi standardı gıda zinciri boyunca gıda güvenliğinin garanti altına alınmasını hedeflemektedir (Anonim, 2019c; Anonim, 2019e).

Bu standartların dışında market zincirleri şeklinde yapılanmış olan birçok şirket, market zincirlerinin raflarında satışa sundukları gıdaların üretimine ve ürün özelliklerine yönelik "Uluslararası Market Zincirleri Standartlarını" yayınlamaktadırlar. Bununla beraber söz konusu standartların içerik ve kalite değerlerinin resmi mevzuatta belirtilen değerlerin altında olamayacağı açıktır. Bu standartların rekabet ve şirket güvenilirliğinin oluşturulması açısından tercihan mevzuatta belirtilmeyen ürün niteliklerinin uygunluğunu veya üstünlüğünü işaret edebilecek bazı kriterleri içerebileceği göz önüne alınmaktadır. Avrupa Birliğinde perakende sektörünün %70-%90'lık kısmının zincir marketler aracılığıyla yürütülmesi nedeniyle, market zincir uzmanları ve büyük üreticilerin ve diğer ilgili kurum uzmanlarının bir araya gelmesi ile oluşturulan komisyonların tanımladığı gereklilikler standart haline getirilmektedir. Standartlar elektronik (internet) ortamında genellikle ücretsiz olarak yayınlanarak kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Bu doğrultuda yayınlanmış ve en çok kullanılan standartlar, IFS ve BRCGS standartlarıdır. Bu kapsamda oluşturulan en yeni standart ise Japan Food Safety Management Association (JFSM) tarafından 2016 yılında yayınlanan JFS standardıdır.

Birçok toplumda ithalat yoluyla elde edilen gıda maddelerinin tüketiminde, beslenme gereksinimlerinin veya dini hassasiyetlerin dikkate alındığı bilinmektedir. Günümüzde tüketicilerin bu hassasiyetleri dikkate alınarak dini içerikli standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlar gıda üretiminde dini hassasiyetlerin gözetildiği standartlar olarak tanımlanmakta ve farklı dini görüşler için, farklı kurumlarca standartlaştırılmaktadır. Bu nedenle tek bir standart mevcut olmayıp, gıdaların dini açıdan insan tüketimine uygun olduğunu ifade eden Helal (Halal) ve/veya Koşer (Kosher) gibi terimler ile açıklanan İslami veya Musevi dini kurallarını içeren standartlar yayınlanmıştır. Helal belgelendirmesinde İslami esaslar dikkate alınmaktadır. Ülkemizde yaygın olan Helal belgelendirmeleri TS OIC/SMIIC 1: 2011 Helal Gıda için Genel kurallar Kılavuzu standardı, Helal Ürünleri Araştırma Enstitüsü (GİMDES) ve Malezya Helal Standardı (Malaysian Standard MS 1500:2009) üzerinden yapılmaktadır. Koşer belgelendirmesi de Musevi inanç ve uygulamalarını esas alan bir denetim uygulamasıdır ve bu kapsamda yayınlanmış bir standart belgesi mevcut olmadığı için çeşitli ülkelerde kabul gören onlarca farklı belgelendirme makamı bulunmaktadır (Anonim, 2019d; Anonim, 2019f; Anonim, 2020c).

Söz konusu gıda güvenliği standartlarında belirtilen sistemlerin oluşturması ve denetlenmesi hammadde noktasından başlamaktadır. Bu nedenle gıda üretiminde hammaddeden tüketime kadarki her bir işlem basamağı için iyi uygulama şartları belirlenmektedir. Bu doğrultuda tarımsal üretimde, tarıma yönelik Good Agricultural Practice (GAP), Global GAP, Canada GAP, Asia GAP, vb. standartlar yayınlanmıştır. Söz konusu bu standartların dışında birçok ülke gıdaya ilişkin çıkardıkları yasalar ve yönetmeliklerde (örneğin, 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem, Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği) gıda üretimini düzenleyen usul ve esaslar ile genel ve cezai hükümlere yer vermişlerdir. Organik tarımsal üretim ise ayrı değerlendirilmektedir. Organik ürünlerde ulusal mevzuat kapsamında belgelendirme yapılabildiği gibi Avrupa Birliği için (EU), Japonya için (JAS), Amerika Birleşik Devletleri için (NOP) farklı sertifikalar düzenlenebilmektedir (Anonim, 2010; Anonim, 2019g; Anonim, 2019h; Anonim, 2019i).

5. Standart Uygulamalarında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri (Problems Encountered in Standard Applications and Solution Suggestions)

5.1. Standart Uygulamalarının Günümüzdeki Durumu (Current State of Standard Practices)

İşletmelerin kaliteli ve sağlıklı ürün üretmeleri, verimliliklerini ve rekabet güçlerini arttırmayı sağlayan kalite yönetim sistemlerini etkin bir şekilde kullanması ile mümkün olmaktadır. Kalite yönetim sistemleri kullanıcılara çeşitli standartlar şeklinde sunulmakta ve bu standart uygulamaları tedarikçiden müşteriye kadar karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Çok açıktır ki bir işletmede gerçekleştirilen standart uygulamaları ancak denetlemeler ile ve buna bağlı olarak oluşturulan belgelendirmelerle gerçekleştirilmektedir. Belgelendirme; ürünlerle, proseslerle, sistemlerle veya kişilerle ilgili üçüncü taraf ve/veya taraflarca gerçekleştirilen doğruluk beyanlarıdır. Bu standartlardan bir veya birkaçının uyguladığını beyan eden işletmeler, ilgili konularda bu standartların işaret ettiği usul ve esaslar doğrultusunda denetlenmektedir. Aynı durum dini, sosyal uygunluk, çevre ve tarımsal faaliyetler için tanımlanan standartlarda da geçerlidir. Bununla beraber işletmelerin her bir standart açısından denetlenmesinde, o standardın ortaya koyduğu şartların denetlenmesine ilişkin usul ve esaslarla, diğer bir standardın denetlenmesine ilişkin usul ve esaslar açısından bazı yorumlama hatalarının ortaya çıktığı ve denetçinin uygunsuzluk kararına varmasına neden olduğu da bilinmektedir.

Uluslararası düzeyde hazırlanmış standartların içerikleri küçük üreticilerin bu standartlara uyum göstermelerini zorlaştırmada ve buna bağlı olarak pazara girişlerini engelleyici rol oynamaktadır. Bu durum hem tüketicilerin hem de üreticilerin güvenli gıda ve gıda güvenliği politikalarına ulaşmasını bir fenomen haline getirmektedir (Hammoudi vd., 2015).

5.2. Standart Uygulamalarında Karşılaşılan Sorunlar (Problems Encountered in Standard Applications)

Gıda ticaretinde rol alan aktörler, özellikle Avrupa Birliği (AB), Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve diğer yüksek gelirli ülkeler tarafından oluşturulan bir dizi katı standardı da karşılamak durumundadırlar. Ayrıca gıda işletmecileri ve büyük süpermarketler gibi işletmeler gittikçe artan bir şekilde tedarikçilerinden bir dizi özel şartın karşılanmasını talep etmekte ve gıda standartlarının hızlı bir şekilde sıkılaştırılmasının yaygınlaştırılarak, zorunlu hale gelmesini istemektedirler. Bu durum gelişmekte olan ülkelerin yüksek standart uygulanan tarımsal ticarete katılımında zorluklar oluşturmaktadır. Özellikle küçük ölçekli tedarikçilerin bu standartlara ulaşmak için ilave yatırım güçlerinin olmaması, yüksek standartlarda oluşturulan tedarik zincirlerinin sağlayacağı faydalardan giderek daha fazla uzaklaşacağı endişelerini doğurmaktadır. Buna karşın yatırım ve işletme maliyetlerine ek maliyetler getirerek gıda üretimini olumsuz yönde etkilemektedirler. Örneğin küçük ölçekte veya yöresel anlamda üretim yapan işletmelerin bu standartlara uyumunda, işletme büyüklüğü ve organizasyonu, personel yetersizliği, mali yetersizlikler gibi konular nedeniyle bazı zorluklar gözlenebilmektedir.

Bu işletmelerin karşılaşılabileceği temel sorunlar; yönetsel yaklaşımlar, müşteri ihtiyaçları/memnuniyeti, tedarikçi özellikleri, mali kaynakların yeterliliği, üretim teknolojilerinin uygunluğu, üretim süreci, alt yapı, insan kaynakları, rekabet ve yasalar gibi konulardan kaynaklanmaktadır. Üreticilerin karşılaştıkları en sıkıntılı konu, farklı başlıklarda ve hatta aynı kapsamda çok fazla standart uygulaması ile karşılaşmasıdır. Bu doğrultuda standartların uygulanmasında karşılaşılan sorunlar genellikle standardın amacı ve kapsamı, firmanın yapısı ile denetim mekanizmasına göre değişiklikler göstermesidir. Üreticilerin karşılaştıkları bu sorunlar;

- Standardın iyi anlaşılabilmesi,
- Firma üretim ve yönetim sisteminin doğru yapılanmamış olması,
- Denetim mekanizmasının iyi uygulanmamış olması şeklinde ifade edilebilir.

Sorunların çözüm önerileri ise bu başlıklar altında verilen konuların doğru şekilde ele alınmasına bağlı olmaktadır. Ancak aynı konuya ilişkin çeşitli standartların varlığı, ortaya konulan çözüm önerilerinin her zaman etkili sonuçlar

vermemesine neden olmaktadır. Yüksek miktarlarda alım yapan müşteriler işletmelerden kendi istekleri doğrultusunda sertifika talep etmekte, özel istekleri olması durumunda da ek denetimler yapabilmektedirler. Bu durumda her denetim için ayrı ön hazırlık süreci ve ücret ödenmekte, bu durum ise ciddi bir maliyet yaratmaktadır. Bu sorunun çözümü için, Global Food Safety Initiative (GFSI) gibi oluşumlar standartların bir çatı altında toplanması için uğraşmaktadırlar. Dünya ticaretindeki gelişmeler GFSI'nın çabalarını ön plana çıkarmaktadır (Anonim, 2019j).

Standartların uygulanmasında temel gereksinimlerden biride yeterli sayıda yetişmiş insan kaynağının istihdam edilmesidir. Standartların sıklıkla değişmesi ve güncellenmesinden dolayı konuyla ilgili personelin bu standartları takip edebilmesi ve yorumlayabilmesi gerekmektedir. Standartlara dair yeterli bilgi ve tecrübeye sahip personelin olmaması, üreticilerin sertifikasyon veya danışmanlık kurumlardan sürekli eğitim almasına neden olmaktadır. İşletmelerin ciddi şekilde yetişmiş personele ihtiyaç duyması. İşletmeler arasında personel açısından hızlı yer değiştirmelere, bu da işletmeler açısından birçok zorluklara neden olmaktadır. Personelin ihtiyacı olan eğitim, danışmanlık hizmetlerinden tüm personelin faydalandırılarak yetişmiş insan sayısını ve sorumluluk dağılımını arttırmak iyi bir çözüm olmaktadır.

Büyük ölçekli üretim yapan işletmelerin mevcut tecrübe ve birikimleri, standartlara uyum sağlanması açısından ödeyecekleri paralar, bütçeleri içindeki küçük pay artışlarıyla mümkün olabilmektedir. Orta büyüklükteki ve küçük ölçekli işletmeler ise hem zaman hem de maliyet unsurları açısından zorlanabilmektedir. Bunların dışında kalan küçük işletmeler, genelde kalite sistem uygulamalarının oluşturulması ve sürdürülebilmesi açısından maliyetleri karşılayabilecek yeterlilikte olmadıkları için bu konu hali hazırda genel bir sorun olarak devam etmektedir. Kalite maliyetleri açısından halen potansiyel pazarlara giriş çalışmalarında standart uygulamaları yeni bir maliyet kalemi olarak ortaya çıkmakta, bu maliyetler özellikle öz kaynaklar ile karşılanmaya çalışılmaktadır. Ancak eğitim, danışmanlık ve belgelendirme hizmetleri büyük maliyet oluşturmakta, üretim açısından gözle görünür doğrudan bir katkısı olmadığı düşünülen bu çalışmaların finansmanı ürün maliyetlerine eklenmektedir. Rekabetçi ortam nedeniyle ortaya çıkan koşullar baskılanan ürün fiyatlarında artış yapılmasını engellemekte, üreticiler bu kalite maliyetlerini fiyatlarına yansıtamamaktadır. Bu sebeple küçük işletmelerin rekabet güçleri kırılmaktadır. Küçük üreticilerin rekabet güçlerini korumaları açısından standart uygulamaları konusunda devletin ve bazı fonların standart uygulamalarını desteklenmesi, bu konularda ciddi çalışmalar yapmış kurum ve kişilerden eğitim ve danışmanlık desteği alınması gerekmektedir. Hizmet alanında bir "yeterlilik" tanımlaması olmadığından eğitimci ve danışmanların seçiminde dikkatli olunmalıdır.

5.3. Denetim Süreçlerinde Yaşanan Sorunlar ve Olası Gelecek Modelleri (Problems Experienced in Audit Processes and Possible Future Models)

ISO 22000 Küresel Gıda Güvenliği Yönetimi standardı üzerine temellendirilmiş, Gıda Güvenliği Sistem Sertifikasyonu (Food Safety System Certification / FSSC) 22000 standardı tam bir belgelendirme sistemi olarak açıklanmaktadır. Bu standartlar, önkoşul programları (Prerequisite Program [PRP]), sektöre özel teknik spesifikasyonlar ile Küresel Gıda Güvenliği Girişiminin ortaya koyduğu gerekliliklerle de (örneğin PAS 220/ISO 22002-1 ya da PAS 223) bağlantılıdır. FSSC 22000 tarafsız bir kurum tarafından yayınlanmış olmakla birlikte, uygulamaları farklı market ve uluslararası büyük gıda üreticilerinin temsilcilerinden oluşan bir komite tarafından yürütülmektedir. Denetimler ise doğrudan bu kurumlarca yetkilendirilmiş özel belgelendirme firmalarınca gerçekleştirilmektedir. Farklı standartlar, farklı denetim firmaları ve farklı müşterilerin tasarladığı denetimler insan faktörüne (denetçi niteliklerine) bağlı olarak sürdürülmektedir. Denetimin planlanması, standardın yorumlanması, denetimin uygulanması, raporlanması ve sertifikalandırılması adımlarında en büyük etken, denetim sürecini yöneten kurumun personeli olmaktadır. Firmaların doğrudan bağlantılı olduğu kişiler ise standardı yorumlayan, denetimi gerçekleştiren ve raporlayan denetçiler olmaktadır.

Denetçilerin yeterliliklerinin sağlanmasında, akreditasyon kurumları ve standardizasyon merkezleri etkin çalışmalar yapmakta, fakat sürdürülebilirliğin sağlanmasında zorluklar yaşanmaktadır. Denetim maliyetlerinin düşürülme çabası üzerine kurulu haksız rekabet koşulları, üretici firmaların denetlenme mantığına sahip olmaması nedeniyle denetime karşı gösterdikleri direnç gibi konular sürekliliğin sağlanmasındaki zorlukların nedenleri olarak gösterilebilir. Ayrıca denetçilerin denetlenmesi mekanizması mevcut olmakla beraber, beklentileri karşılayabildiği belirsizdir. Bu mekanizma müşteri ve market denetimlerinde daha zayıf olarak firmaların karşısına çıkmaktadır.

Denetçi yeterliliklerindeki belirsizlikler, denetim maliyetlerinin düşürülme çabalarına bağlı haksız rekabet koşulları, üretici firmaların denetlenme mantığına sahip olmaması nedeniyle denetimlere karşı gösterdikleri direnç gibi konular denetlemelerin sürekliliğinin sağlanmasındaki zorlukların nedenleri olarak gösterilebilir. Ayrıca denetçilerin denetlenmesi mekanizması mevcut olmakla birlikte, beklentileri yeterli düzeyde karşılayabildiği belirsizdir. Bu nedenle üreticilerin standartlar konusunda yetişmiş personeli destekleyerek

bilgilerinin güncel kalmasını sağlayarak denetlemelerin standartlara daha uygun yapılmasına imkân vermektir. Ayrıca denetimler sırasında yapılan yorumların değerlendirilmesine üst yönetimin de katılarak, denetim kurumları ile müşteriler arasında bilgi alışverişi sağlanmalıdır.

Gelişen tüketici beklentileri standartların sürekli olarak güncellenmesine neden olmaktadır. Güncellemelerin ana konusu sağlık, sektörde karşılaşılan teknik ve mevzuata ilişkin sorunlar, sosyolojik olarak yaşanan etkili olaylar, tüketici ve müşteri beklentilerindeki yeni gelişmeler olmaktadır. Bu ve benzeri sorunların çözümünde her konu, koşul ve şart için yeni standartların oluşturulması günümüz yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Bu yaklaşım birçok standardın ve beraberinde birçok sorunun doğmasına neden olmaktadır. Bu sorunların çözümünde belki de en temel yaklaşım standartların sayısının azaltılması yönünde hareket etmektir. Standartların aynı çatı altında toplanması, var olan yapı içinde zor görünmekle beraber; denetimlerin bütünleşmiş hale getirilerek belli başlıklar altında aynı anda yapılması olası bir çözüm önerisi olacaktır. Ancak buna koşut olarak standartlarda daha da çeşitlenme olabileceği de öngörülmektedir. Her müşteri ve tüketici grubunun kendi risklerini ve beklentilerini tanımlaması, küresel beklentilerden bölgesel hatta yöresel müşteri odaklı beklentilerin standartların kapsamına alınması bölünmeleri arttırmayacaktır.

6. Sonuç ve Tartışma (Conclusion and Discussion)

Gıda ticaretinin uluslararası bir yapı kazanmış olması, beklenti ve isteklerin yazılı standartlar altında toplanmasına neden olmuştur. Standartların küresel, ulusal, bölgesel ve hatta yöresel isteklere göre şekillenmesi ve farklı birçok standardın yayınlanması ile üreticiler çok farklı konularda yeterliliğini kanıtlamak durumunda kalmaktadır. Yeterliliğini bu standartların sertifikalandırması ile kanıtlayan üreticiler büyük pazarlara giriş yapabilmekte ve daha güçlü bir yapı oluşturabilmektedir. Buna karşın küçük işletmeler bu yeterlilikleri sağlayamadıkları için pazara girmede birçok zorluklar yaşamaktadırlar. Standartların uygulanmasında çeşitlilik, maliyet, yetişmiş personel eksikliği ve denetim sürecinde karşılaşılan zorluklar üretici aleyhine bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Kısa ve orta vadede standart çeşitliliğinde bir azalma beklentisi söz konusu olmamakla birlikte, uygulamalarda yapılan değişiklikler ile daha faydalı ve kazan kazan ilkesine dayalı modellerin geliştirilmesi olasıdır. Küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin gelişebilmeleri ve büyük ticaret döngüsüne katılabilmeleri için doğru bilgi kaynaklarına ve maddi desteklere ihtiyaçları olduğu açıktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Anonim, 2010. Tarım ve Orman Bakanlığı, TOB. Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmelik. Resmî Gazete Tarihi ve Sayısı: 18.08.2010; 27676. Ankara
- Anonim, 2019a. International Organization for Standardization. ISO 26000 Social Responsibility. Erişim adresi: <https://www.iso.org/iso-26000-social-responsibility.html> [Erişim: 04.09.2021]
- Anonim, 2019b. Türkiye Akreditasyon Kurumu. Erişim adresi: <https://turkak.org.tr> [Erişim: 09.09.2021].
- Anonim, 2019c. Toplam Kalite Yönetimi. MEGEP. Erişim adresi: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Toplam%20Kalite%20Y%C3%B6netimi.pdf [Erişim: 15.11.2021].
- Anonim, 2019d. Türk Standartları Enstitüsü. TS OIC/SMIIC 1: Helal Gıda için Genel Kurallar. 32s.
- Anonim, 2019e. International Organization for Standardization. All about us. Erişim adresi: <https://www.iso.org/about-us.html> [Erişim: 12.08.2021]
- Anonim, 2019f. Halal Malaysia Official Portal, HALAL. Malaysian Standard MS 1500:2009 (second revision) Halal Food - Production, Preparation, Handling and Storage - General Guidelines. Erişim adresi: <http://www.halal.gov.my/v4/> [Erişim: 04.09.2021]
- Anonim, 2019g. European Union. List of Organic Regulation. Erişim adresi: <https://www.ifoam-eu.org/en/organic-regulations/list-eu-organic-regulations> [Erişim: 04.09.2021]
- Anonim, 2019h. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, MAFF. Organic Foods. Erişim adresi: <http://www.maff.go.jp/e/policies/standard/jas/specific/organic.html> [Erişim: 04.09.2021]
- Anonim, 2019i. United States Department of Agriculture, USDA. National Organic Program. Erişim adresi: <https://www.ams.usda.gov/about-ams/programs-offices/national-organic-program> [Erişim: 04.09.2021].
- Anonim, 2019j. Global Food Safety Initiative, GFSI. Harmonisation: One World, One Safe Food Supply. Erişim adresi: <https://mygfsi.com/what-we-do/harmonisation/> [Erişim: 11.01.2022]
- Anonim, 2020a. Türk Standartları Enstitüsü. <https://tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2438&ParentID=62> [Erişim: 5.11.2021].
- Anonim, 2020b Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği. Resmî Gazete Sayı: 31044. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/02/20200219-4.htm> [Erişim: 04.10.2021]
- Anonim, 2020c. Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Denetleme ve Sertifikalama Araştırmaları Derneği, GİMDES. Erişim adresi: <http://www.gimdes.org/kurumsal> Erişim: 08/01/2022]

- Çetin, S.A. ve Şahin, B., 2017. Gıda güvenliğinde risk faktörleri ve hijyenin önemi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, (52) 310-321. DOI: 10.21325/jotags.2017.133
- Dalgıç, A.C. ve Belibağlı K.B., 2006. Gıda güvenliği ve kalite yönetim sistemleri entegrasyonu: ISO 22000:2005 gıda güvenliği yönetim sistemi ve ISO 9000:2000 kalite yönetim sistemi uygulamaları. *Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs 2006, Bolu, Kongre Kitabı*, 7-10.
- Demirağ M.K., Özel, F., Kemahloğlu, Ö.K., Hepçimen, A.Z., 2019. Mevcut gıda güvenliği sistemleri ve kalite denetleme ile ilgili yaşanan sorunlar. *2nd International Agriculture And Forest Congress*, November 8-9, 2019. Izmir, Türkiye. Proceeding Book, 272-284p.
- Hammoudi, A., Grazia, C., Surry, Y., Traversac, J.B., 2015. Food Safety, Market Organization, Trade and Development. Springer International Publishing, Switzerland. 254p.
- Kill, R., 2012. The BRC Global Standard for Food Safety: A Guide to a Successful Audit. Second Edition. Wiley-Blackwell. Erişim adresi: <https://www.wiley.com/en-us/The+BRC+Global+Standard+for+Food+Safety%3A+A+Guide+to+a+Successful+Audit%2C+2nd+Edition-p-9781118373842>
- Koç, G. ve Uzmay, A., 2015. Gıda güvenliği ve gıda güvenliği: Kavramsal çerçeve, gelişmeler ve Türkiye. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 21(1) 39-48.



ANTALYA VE ISPARTA YAĞIŞ VERİLERİNİN TREND ANALİZİ

Elif Gülen KIR^{1*}, Veysel GÜLDAL²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yağış,
Trend Analizi,
Zaman Serisi,
Mann-Kendall
Yenilikçi Trend Analizi.

Öz

Küresel iklim değişikliği, mevcut su kaynaklarında ve yağışlarda önemli farklılıklara sebep olmaktadır. Su kaynaklarının geleceğe yönelik olarak yapılan çeşitli tahminleri, sürdürülebilirlik açısından bir gerekliliktir. Bu nedenle, su kaynaklarının asıl kaynağı olan yağışların tahmin edilmesi ya da trendlerinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışma, Antalya ve Isparta illerinde 1971-2018 tarihlerinde kaydedilmiş aylık ve yıllık yağışların trendlerini araştırmaktadır. Analizlerde göz önüne alınan trend hesaplama yaklaşımları Mann-Kendall Trend Analizi, Sen'in Trend Eğimi Tahmincisi ve Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemleridir. Parametrik olmayan Mann-Kendall yöntemine göre Antalya ve Isparta'da kaydedilen aylık ve yıllık yağışlarda bir trend belirlenmemiştir. Sen'in Trend Eğimi Tahmincisi ile Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemlerine göre ise hem aylık ve hem de yıllık yağışlarda farklı artan ve azalan trendler belirlenmiştir. Bir sonuç olarak, her 3 yöntemin de farklı trendler ortaya çıkardığı elde edilmiştir. Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yönteminin göz önüne alınan zaman serisini 2 eşit alt seriye bölerek elde edilebilen bir saçılmanın görsel olarak görülebilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

TREND ANALYSIS OF RAINFALL DATA IN ANTALYA AND ISPARTA

Keywords

Rainfall,
Trend Analysis,
Time Series,
Mann-Kendall
Innovative Trend Analysis.

Abstract

Global climate change causes significant differences in available water resources and precipitations. Various forecasts of water resources for the future are a necessity for sustainability. For this reason, it is important to predict precipitations, which are the main source of water resources, or to determine their trends. This study investigates the trends of monthly and annual precipitation recorded between 1971-2018 in Antalya and Isparta provinces. Trend calculation approaches considered in the analyzes are the Mann-Kendall Trend Analysis, Sen's Trend Slope Estimator and Şen's Innovative Trend Analysis. According to the non-parametric Mann-Kendall method, no trend was determined in the monthly and annual rainfalls recorded in Antalya and Isparta. According to the Sen's Trend Slope Estimator and Şen's Innovative Trend Analysis methods, different increasing and decreasing trends were determined in both monthly and annual rainfalls. As a result, it was obtained that all three methods revealed different trends. In addition, Şen's Innovative Trend Analysis method is thought to be important in terms of visually seeing a scattering that is to be obtained by dividing the considered time series into 2 equal sub-series.

Alıntı / Cite

Kır E. G., Güldal V., (2022). Antalya ve Isparta Yağış Verilerinin Trend Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 899-907.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E.G. Kır, 0000-0002-6787-041X
V Güldal, 0000-0001-8786-9363

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	18.04.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	26.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: elifgulencimen@gmail.com, +90 533 7730089

1. Giriş (Introduction)

Su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik yapılan istikşaf, etüt ve planlama gibi her türlü araştırmalar tüm ülkeler için büyük öneme sahiptir. İklim değişikliği etkilerinin özellikle son yıllarda meteoroloji, hidroloji, çevre, tarım ve sanayi gibi alanlarda hissedilmesi ülkelerdeki su kaynaklarının önemini daha da artırmıştır. Mevcut su kaynaklarının araştırılması, miktar ve kalitelerinin korunması ve su havzalarının bütüncül bir yaklaşımla planlanması gibi çalışmalar ile muhtemel su kaynakları rezerv teşkilinin geliştirilmesi kaçınılmaz bir hal almıştır.

İklim değişikliği etkilerinin meteorolojik ve hidrolojik parametreler üzerinde araştırılması, son dönemlerde yapılan akademik çalışmalarda sıklıkla görülmektedir. Sıcaklık, yağış, nem, buharlaşma, rüzgâr ve güneşlenme süresi gibi meteorolojik parametreler, esas olarak diğer hidrolojik, çevresel, tarımsal ve sanayi ölçeklerinde suyla ilgili durumları etkilemektedir. Son yıllarda, birçok hidro-meteorolojik parametrede gözlemlenen oynaklıklar (azalış ve yükselişler), parametrelerin gidişatlarının bilinmesinin önemli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Zamanla değişen herhangi bir rastgele değişkenin (örneğin aylık ya da yıllık yağış yüksekliğinin) son tarihlerdeki gidişatı (azalışı ya da artışı) trend (eğilim), bu gidişatın belirlenmesi işi ise trend analizi olarak adlandırılmaktadır.

Hidro-meteoroloji, çevre, tarım ve sanayi ile ilgili zamanla rastgele değişen parametrelerin trend analizlerinin yapılması, parametrenin geçmişteki davranışının nasıl olduğunun ve hangi olaylardan nasıl etkilendiğinin belirlenmesini ve gelecekteki davranışının ise nasıl olabileceğinin tahmin edilmesini sağlar. Bu çalışmada, Antalya ve Isparta illerindeki meteoroloji istasyonlarında 1971-2018 tarihleri arasında ölçülmüş 45 yıllık aylık ve yıllık toplam yağış yüksekliği değerlerinin trend analizi yapılacaktır. Bir rastgele değişkenin trend analizi pek çok yöntemle yapılabilmektedir. Trend analizi yöntemleri ile bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar Kaynak Araştırması kısmında bir özet olarak ve bu araştırma çalışmasında uygulanacak yöntemler ise Materyal ve Yöntem kısmında detaylı olarak izah edilecektir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Trend analizi mühendislik alanında olduğu gibi diğer akademik alanlarda da sıklıkla kullanılan bir öngörü yaklaşımıdır. Su kaynakları çalışmalarında trend analizi yaygın olarak kullanılmaktadır ve analiz için göz önüne alınan yaklaşımın doğruluğu bölgenin ekonomik gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Hidrolojik parametrelerin ve özellikle yağışların trendlerinin aranmasında son yıllarda yapılmış çalışmalar bu bölümde özetlenmeye çalışılmıştır. Literatürde en yaygın olarak kullanılan trend analizi yöntemlerinden biri Mann-Kendall trend analizi (Mann, 1945; Kendall, 1955) testidir. Bu test, Şili’de bulunan Elqui nehri havzasındaki alüvyon akiferde açılmış olan gözlem kuyularında ölçülmüş aylık yeraltısuyu seviyeleri (Ribeiro vd., 2015), Erie gölü su kalitesinin aylık değerleri (Hipel vd., 1988), Türkiye’deki 26 akarsu havzasında kaydedilmiş aylık akarsu akımları (Kahya ve Kalaycı, 2004), İran’da bulunan Urmia gölü seviyesi (Fathian vd., 2015), Ürdün’deki minimum ve maksimum sıcaklıklar (Smadi, 2006) ve Çin’deki Heihe nehrinde ölçülmüş yıllık yağış ve akış (Sang vd., 2014) gibi hidro-meteorolojik zaman serilerindeki trendlerin aranmasında kullanılmıştır.

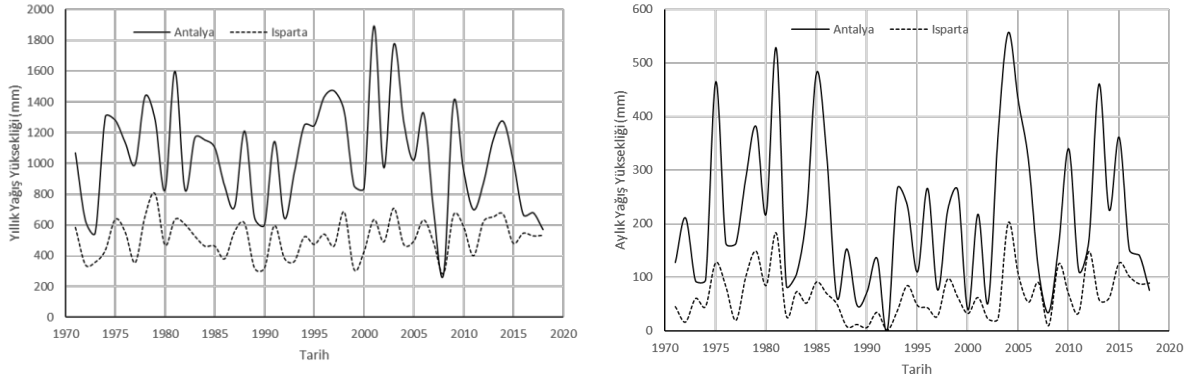
Son dönemlerde yapılan akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir diğer trend belirleme yöntemi ise yenilikçi trend analizi yöntemidir (Şen, 2012). Bu yöntem, zaman serisinin 2 parçaya ayrılmasını ve önceki ile sonraki alt serilere ait bir saçılmayı ele almaktadır. Yöntemin metodolojisi, simülasyonu ve uygulaması (Şen, 2014), Ergene nehri havzasında ölçülmüş bazı hidro-meteorolojik parametreler üzerinde Mann-Kendall yöntemi ile kıyaslamasını (Dabanlı vd., 2016), Türkiye’deki 35 ilde kaydedilmiş yıllık yağışların kısmi trendlerinin analizi (Öztopal ve Şen, 2017), düşük-orta-yüksek değerli 3 veri grubunun kendi içerisinde değerlendirilmesi (Alashan, 2018), Mann-Kendall “z” test değerinin yöntem içerisinde kullanılması (Güçlü, 2018a) ve zaman serisinin 3 ya da 4 parçaya ayrılmasıyla ele alınan bir iyileştirme (Güçlü, 2018b), yenilikçi yöntemin geliştirilmesine yönelik çalışmalardır. Ulusal ölçekte trend analizi ile ilgili yapılan pek çok akademik çalışma bulunmaktadır. Büyükyıldız ve Berktaş (2004) Sakarya havzasındaki yağışların, Partal ve Kahya (2006) Türkiye’deki yağışların, Ay ve Özyıldırım (2017) Yozgat ili yağış ve sıcaklık verilerinin, Ülke ve Özkaca (2018) Ordu, Samsun ve Sinop illerindeki hava sıcaklıklarının, Ercan ve Yüce (2018) Kilis iline ait aylık sıcaklık ve yağış verilerinin, Keskin vd. (2018) Doğu Anadolu’daki sıcaklık ve yağışların, Coşkun (2020) Van gölü havzasındaki yağışların, Tokgöz ve Partal (2020) Karadeniz bölgesindeki yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin, İlker ve Terzi (2021) Çankırı ve Kastamonu’daki hava sıcaklığının trend durumları, Mann-Kendall, Sen’in Trend Eğimi Tahmincisi ve Şen’in Yenilikçi Trend Analizi yöntemleri ile incelemiştir.

Bu araştırma çalışmasında ise, Antalya ve Isparta illerinde 1971-2018 tarihlerinde kaydedilmiş aylık ve yıllık yağışlara ait zaman serilerinin trendleri Mann-Kendall trend analizi, Sen’in trend eğimi tahmincisi ve Şen’in Yenilikçi Trend Analizi yöntemleriyle incelenmiş ve bu 3 yöntemin bir kıyası yapılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı ve Veri (Study Area and Data)

Akdeniz bölgesinde yer alan Antalya ve Isparta illerinde ölçülmüş yağış kayıtlarının trend analizi bu çalışmanın araştırma konusudur. Antalya ili yağışları için 64 m rakımında bulunan 17300 istasyon numaralı Antalya Havalimanı meteoroloji istasyonunun ve Isparta ili yağışları için ise 997 m rakımında bulunan 17240 istasyon numaralı Isparta meteoroloji istasyonunun 1971-2018 tarihleri süresince (48 yıllık) kaydedilmiş aylık ve yıllık yağışları göz önüne alınmıştır. Isparta ili Akdeniz bölgesinde yer alsa da meteorolojik açıdan Antalya'dan bir hayli farklıdır ve özellikle, yazları daha kurak bir iklime sahiptir. 1971-2018 tarihlerinde kaydedilen yağışların aritmetik ortalamaları Antalya'da 1043,4 mm ve Isparta'da ise 516,5 mm olup hemen hemen Antalya Havalimanı istasyonunda ölçülmüş yağışların yarısı kadardır. Yıllık yağışlardaki bu farklılık aylık yağışlarda da gözlenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Antalya ve Isparta Yıllık ve Ocak Ayı Yağış Yüksekliği Zaman Serileri (Annual and Month January Rainfall Time Series for Antalya and Isparta)

Şekil 1 'de gösterilen yağışların zaman serilerine bakılacak olursa, Antalya'da kaydedilmiş yıllık yağışlardaki değişimlerin Isparta'daki yağışlara göre daha belirgin olduğu (Şekil 1a), Ocak ayında kaydedilmiş aylık yağışlardaki değişimlerin ise her iki ilde de bir hayli oynak olduğu görülmektedir. Bu değişimler, yağışlarda artan ya da azalan bir trendin olabileceği kanısı uyandırmaktadır.

3.2. Trend Analizi Yöntemleri (Methods of Trend Analysis)

Genel olarak, hidrolojik ve meteorolojik büyüklüklerin gözlemlendiği istasyonlardaki veriler zaman serileri şeklinde değerlendirildiğinde, örneğin yağış verilerinin genellikle eksik ve kısıtlı olduğu durumlarında mevsimsellik gibi bazı problemler dolayısıyla analizler karmaşık bir hal alabilmektedir. Bu nedenle, bu tür verilerin analizine dönük hidrolojik çalışmalarda parametrik testlere oranla parametrik olmayan testlerin kullanılması tercih sebebi olmaktadır. Bu araştırma çalışmasında, verilerdeki uzun süreli aylık ve yıllık eğilim ve değişkenliklerin ortaya çıkarılmasında parametrik olmayan (non parametrik) Mann-Kendall trend testi ve Sen'in Trend Eğimi Tahmincisi ile Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemleri kullanılmıştır. Bir rastgele zaman serisinin trendini araştırmaya başlamadan önce, seride içsel korelasyonun (r) olup olmadığına bakılmalıdır. İçsel korelasyon, AR(1) sürecine göre belirlenerek içsel korelasyon katsayısının anlamlı büyüklükte olup olmadığı araştırılmalıdır. Seride anlamlı (büyük) içsel korelasyon bulunursa, orijinal seri bu içsel korelasyona göre yeniden düzenlenmelidir (seriye ön beyazlatma yapılır). Bu çalışmada, test sonuçları %5 anlamlılık düzeyi dikkate alınarak yorumlandığında Antalya ve Isparta istasyonlarında kaydedilen aylık ve yıllık yağışların içsel korelasyonları düşük elde edildiği için yağış kayıtlarına ön beyazlatma uygulanmayarak orijinal yağış kayıtları üzerinde trend analizleri yapılmıştır.

3.2.1. Mann-Kendall Testi (Mann-Kendall Test)

Mann-Kendall testi, özellikle zaman serilerinde meydana gelebilecek artma veya azalma yönündeki gidişlerin istatistiksel olarak test edilmesinde kullanılan bir yöntem olup sıra tabanlı ve parametrik olmayan bir testtir. Bu nedenle, parametrik testlerin varsayımlarında beklenen zaman serisindeki normalite, doğrusallık ve bağımsız olma durumu bu testte aranmaz (Bayazit ve Önöz, 2007). Mann-Kendall testi, n sayıdaki zaman serisinin önceki (y_i) ile sonrasındaki (y_j) veri değerlerinin ($n(n-1)/2$ adet) arasındaki farkın işaretini (sgn) göz önüne almaktadır. Farkın işareti belirlenirken, fark sıfırdan büyükse +1, sıfırsa 0 ve sıfırdan küçükse -1 alınır. Bu teste ait test istatistiği (S) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(y_j - y_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(y_j - y_i) = \begin{cases} +1, & \text{Eğer } (y_j - y_i) > 0 \\ 0, & \text{Eğer } (y_j - y_i) = 0 \\ -1, & \text{Eğer } (y_j - y_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Örnek sayısı (n) 10 ve daha büyük olduğunda, S 'nin normal dağılım gösterdiği, ortalamasının sıfır ($E(S) = 0$) olduğu ve varyansının ($V(S)$) da aşağıdaki gibi hesaplanabileceği belirtilmiştir (Mann, 1945 ve Kendall, 1975).

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5) \right] \quad (3)$$

Burada, m sayısal değeri birbirine eşit olan toplam veri çiftinin sayısını, t_k ise k . çifte ait gözlemlerin sayısını göstermektedir. Birbirine eşit veri çifti yoksa $t_k = 0$ olur ve Eşitlik (3) sadeleşir. Sıfır ortalamaya ve birim varyansa sahip standart normal dağılımın standart Mann-Kendall test istatistiği (Z_{MK}) ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{Eğer } S > 0 \\ 0, & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}}, & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$S > 0$ ise zaman serisinin artan bir eğilime sahip olduğu, $S = 0$ ise zaman serisinin herhangi bir eğilime sahip olmadığı ve $S < 0$ ise zaman serisinin azalan bir eğilime sahip olduğu anlaşılır. Z_{MK} 'nın mutlak değeri bir $\% \alpha$ önem seviyesindeki standart normal dağılım değişkeninden ($Z_{\alpha/2}$) daha azsa H_0 hipotezine göre zaman serisinde trendin olmadığı, aksi durumda ise trendin var olduğu kabul edilir. Bu şekilde trend belirlenmişse ve S değeri pozitif ise trendin artan yönde, negatifse azalan yönde olduğu sonucuna varılır.

S değeri şayet büyük pozitif (yada negatif) bir sayı olarak elde edildi ise sonraki ölçüm değerleri de öncekilerden daha büyük (yada daha küçük) olacak ve zaman serisinde artan (yada azalan) bir trendin olduğu ifade edilebilecektir. Böyle bir durumda testin istatistiği (τ) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)} \quad (5)$$

Bu istatistik -1 ile +1 arasında değişir. S ve τ sıfırdan önemli miktarda farklıysa trendin olmadığı H_0 hipotezi reddedilir, yani trend mevcuttur.

3.2.2. Sen'in Trend Eğimi Tahmincisi (Sen's Trend Slope Estimator)

Zaman serisi veri çiftlerinin eğimlerini hesaplayarak elde edilen tüm eğimlerin medyanının (yani trend eğiminin) hesaplandığı parametrik olmayan bir yöntemdir (Sen, 1968). Bu trend eğiminin tahmini yönteminde, n adet veriden (y) oluşan $n(n-1)/2$ adet veri çiftine ait her bir veri çiftinin eğimi (b) aşağıdaki gibi yazılır:

$$b = \text{medyan} \left(\frac{y_j - y_i}{j - i} \right) \quad (6)$$

Bu eşitlik, $j > i$ ($j = 2, 3, \dots, n$ ve $i = 1, 2, \dots, n-1$) şartını sağlamalıdır. $n(n-1)/2$ adet veri çiftinin sayısı çift ise, medyan ortadaki 2 eğimin ortalaması olarak hesaplanır. Eğimlerin medyan (b) değeri pozitif ise zaman serisinin artma eğiliminde olduğu, negatif ise azalma eğiliminde olduğu belirtilmiştir.

3.2.3. Şen'in Yenilikçi Trend Analizi (Şen's Innovative Trend Analysis)

Bu yöntemde, n adet veri değerine sahip zaman serisi 2 eşit parçaya ayrılır ve elde edilen bu alt seriler değerleri artan şekilde sıralanır. Sıralanmış bu alt serilerin ilk bölümü (tercihen eski veriler) bir kartezyen koordinat sisteminde x eksenine, ikinci sıralanmış alt seri ise y eksenine işaretlenerek bir grafik elde edilir. Grafik üzerinde

45° 'lik 1:1 doğrusu çizilerek veri noktalarının bu doğru etrafında yayıldığı görülür. 1:1 doğrusu ile bu doğru üzerine düşen veri noktalarında bir trendin olmadığı, doğrunun üstünde olan veri noktalarında artan bir trendin olduğu ve bu doğrunun altında olan veri noktalarında ise azalan bir trendin olduğu göz önüne alınır. y ekseninde işaretlenen serinin ikinci parçasındaki verinin aritmetik ortalaması (y_2) ile ilk parçasındaki verinin aritmetik ortalaması (y_1) yardımıyla serinin eğimi aşağıdaki gibi elde edilir (Şen, 2012; 2014).

$$b_s = \frac{2(y_2 - y_1)}{n} \quad (7)$$

Şen eğimi (b_s) pozitif ise zaman serisinin artan trendde olduğu, negatif ise azalan trendde olduğu, sıfır ise herhangi bir trendin olmadığı ifade edilmiştir.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışmada, öncelikle, 17300 numaralı Antalya Havalimanı ile 17240 istasyon numaralı Isparta meteoroloji istasyonlarında 1971-2018 tarihlerinde kaydedilmiş 48 yıllık yağışların aylık ve yıllık temel tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 1 'de verilmiştir. Yağışlar incelendiğinde, yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) Antalya ve Isparta yağışlarına ait Ortalama, Minimum ve Maksimum yağış miktarlarının diğer mevsimlere göre daha az gerçekleştiği, yağışların standart sapmasının ve varyansının da daha düşük elde edildiği görülmektedir. En büyük Çarpıklık katsayısı ile en büyük Basıklık katsayısının Antalya yağışları için Ağustos ayında, Isparta yağışları için ise en büyük Çarpıklık katsayısı Temmuz ayında, en büyük Basıklık katsayısı ise Kasım ayında belirlenmiştir. Yıllık periyotta, Antalya yağışları ortalamasının ve maksimum yağış miktarının Isparta yağışlarına göre yaklaşık 2 kat daha büyük olduğu, minimum yağış miktarlarının ise birbirine yakın olduğu Tablo 1'de görülmektedir. Antalya yağışlarında hesaplanan standart sapma ve varyans değerleri Isparta yağışlarına göre çok daha büyük elde edilmiştir. Antalya yıllık yağışları sola çarpık iken Isparta yağışları sağa çarpık olduğu, ayrıca her iki bölgedeki yıllık yağışların basıklığının negatif olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Yağış Verilerine Ait Temel İstatistikler (Basic Statistics of Rainfall Data)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Antalya Yağışları (mm)													
Ortalama	212,2	150,2	96,0	56,2	32,8	8,2	3,0	1,6	14,7	83,2	151,1	135,0	1043,4
Min.	0	9,8	8,2	0	0	0	0	0	0	0	1,1	11,2	283,7
Mak.	556,9	624,6	398,8	261,3	120,5	49,2	41,9	28,6	165,2	494,7	907,2	650,4	1891,8
Std Sapma	141,0	112,6	77,3	48,2	32,4	11,2	8,2	4,5	28,8	91,9	167,6	167,1	335,2
Varyans	19875	12,684	5979	2327	1048	125	68	20	831	8451	28094	27919	112387
Çarpıklık	0,74	1,79	1,59	1,71	1,04	2,20	3,51	4,62	3,34	2,29	2,69	1,12	0,19
Basıklık	-0,26	5,35	3,75	5,22	0,13	5,55	13,5	26,5	14,9	7,5	8,95	0,37	-0,13
Isparta Yağışları (mm)													
Ortalama	67,6	58,3	50,5	52,5	53,9	31,3	15,8	13,9	17,0	39,5	46,2	70,1	516,5
Min.	1,8	3,6	4,9	6,3	1,8	0,6	0	0	0	0	0,2	0	285,4
Mak.	201,4	149,2	168,6	153,6	149,5	92,2	112,6	58,6	99,2	140,7	202,5	217,8	804,7
Std Sapma	45,4	35,0	33,7	30,6	32,0	22,7	25,0	15,6	22,1	33,5	36,3	51,3	120,9
Varyans	2063	1228	1133	936	1023	513	627	242	486	1123	1320	2635	14612
Çarpıklık	0,87	0,70	1,32	1,47	0,61	0,83	2,34	1,15	2,31	1,19	2,13	0,94	-0,015
Basıklık	0,70	-0,05	2,12	2,76	0,26	0,22	5,61	0,44	5,84	1,07	7,21	0,63	-0,63

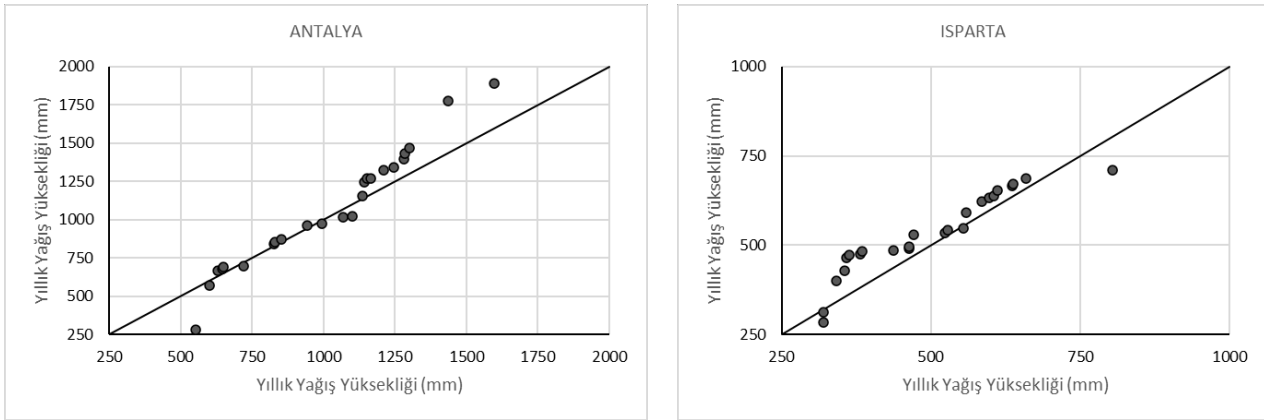
Antalya ile Isparta yağışlarına tatbik edilen trend analizi yöntemleri Mann-Kendall Trend Analizi, Sen'in Trend Eğimi Tahmircisi ve Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemleridir. Tablo 2, yıllık ve aylık yağışlara ait trend analizi sonuçlarını göstermektedir. Mann-Kendall Trend Analizi yöntemine göre zaman serilerinin 1-adım ötelemeli içsel korelasyonları önemsiz bulunduğundan trend analizleri orijinal seriler ile yapılmıştır. Analizler sonucunda, %5 önem seviyesinde Antalya ve Isparta'daki yıllık ve aylık yağışlarda bir artış veya azalış eğilimi tespit edilememiş, bir trendin olmadığı bulunmuştur. Sen'in Trend Eğimi Tahmircisi yöntemine göre serilere ait anlamlı eğimler belirlenmiştir. Tablo 2 'deki sonuçlara göre; Antalya'da kaydedilen yıllık yağışların azalan bir trende sahip olduğu, aylık yağışların ise Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarında azalan trendde, Temmuz ve Ağustos aylarında herhangi bir trendin görülmediği yani anlamlı bir azalış ya da artışının olmadığı, diğer aylarda ise artan trendin olduğu tespit edilmiştir. Isparta'da kaydedilen yıllık yağışların artan bir trende sahip olduğu, aylık yağışların ise Şubat, Nisan ve Aralık aylarında azalan eğilimde, Ekim ayında herhangi bir azalış ya da artış eğilimi görülmediği, diğer aylarda ise artan trendin olduğu bulunmuştur.

Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemi yıllık yağışlara uygulandığında Şekil 2 'de görülen saçılma diyagramları elde edilmiştir. Antalya yıllık yağış yüksekliklerinin son 24 yılda önceki 1971-1994 dönemine göre daha yüksek gerçekleştiği, Isparta yıllık yağış yüksekliklerinin ise son 24 yılda önceki sürece göre biraz yükseldiği gözlenmiştir. Tablo 2 'den de görüldüğü gibi Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemine göre yıllık yağış zaman serilerinin eğimleri Antalya için 2,322 ve Isparta için 1,488 olarak hesaplanmış ve yıllık yağışların artan trendde oldukları

belirlenmiştir. Aylık yağışlar için Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemine göre saçılma grafikleri Antalya için Şekil 3 'de, Isparta için Şekil 4 'te gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde hem Antalya ve hem de Isparta için aylık yağışlardaki trendin son 24 yıllık süreçte bazı aylarda azalış eğilimde, bazı aylarda ise artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu grafiklerin sergilediği sonuçlara göre Antalya ve Isparta aylık yağışın zaman serilerine ait trendlerinin eğimleri Tablo 2 'de verilmiştir.

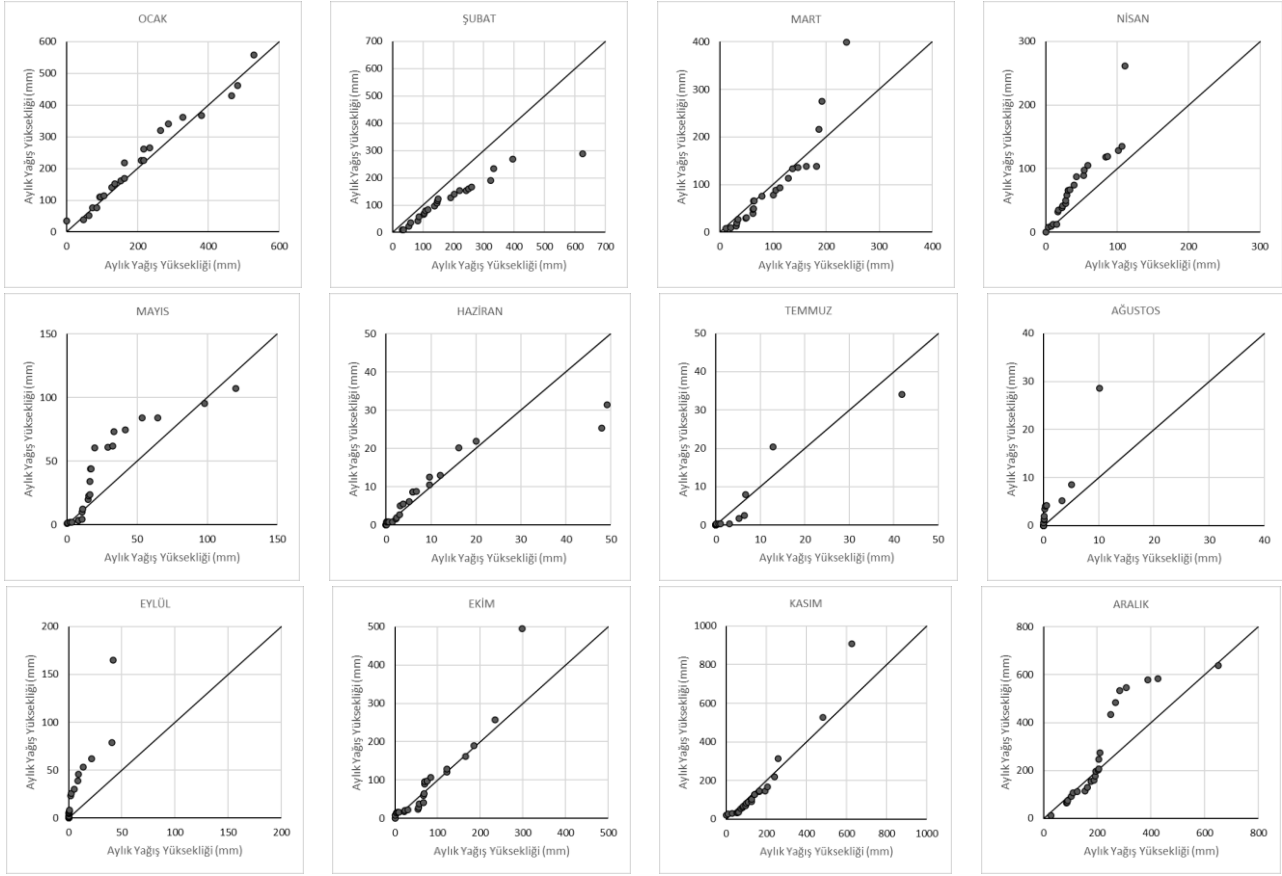
Tablo 2. Trend Analizlerinin Sonuçları (Results of Trend Analyses)

Zaman	Antalya Yağışları			Isparta Yağışları		
	Mann-Kendall	Sen'in Eğimi Eşitlik (6)	Şen'in Eğimi Eşitlik (7)	Mann-Kendall	Sen'in Eğimi Eşitlik (6)	Şen'in Eğimi Eşitlik (7)
Yıllık	Yok	-2,733	2,322	Yok	1,200	1,488
Ocak	Yok	0,213	0,600	Yok	0,563	0,543
Şubat	Yok	-1,971	-2,771	Yok	-0,474	-0,385
Mart	Yok	-0,380	-0,031	Yok	0,146	0,105
Nisan	Yok	0,370	1,182	Yok	-0,087	0,007
Mayıs	Yok	2,247	0,496	Yok	0,591	0,423
Haziran	Yok	0,005	-0,031	Yok	0,084	0,046
Temmuz	Yok	0,000	-0,016	Yok	-0,001	-0,137
Ağustos	Yok	0,000	0,068	Yok	0,150	0,187
Eylül	Yok	0,050	0,715	Yok	0,111	0,583
Ekim	Yok	0,121	0,382	Yok	0,000	-0,080
Kasım	Yok	-1,025	-0,065	Yok	0,121	-0,047
Aralık	Yok	-0,924	1,870	Yok	-0,332	0,243

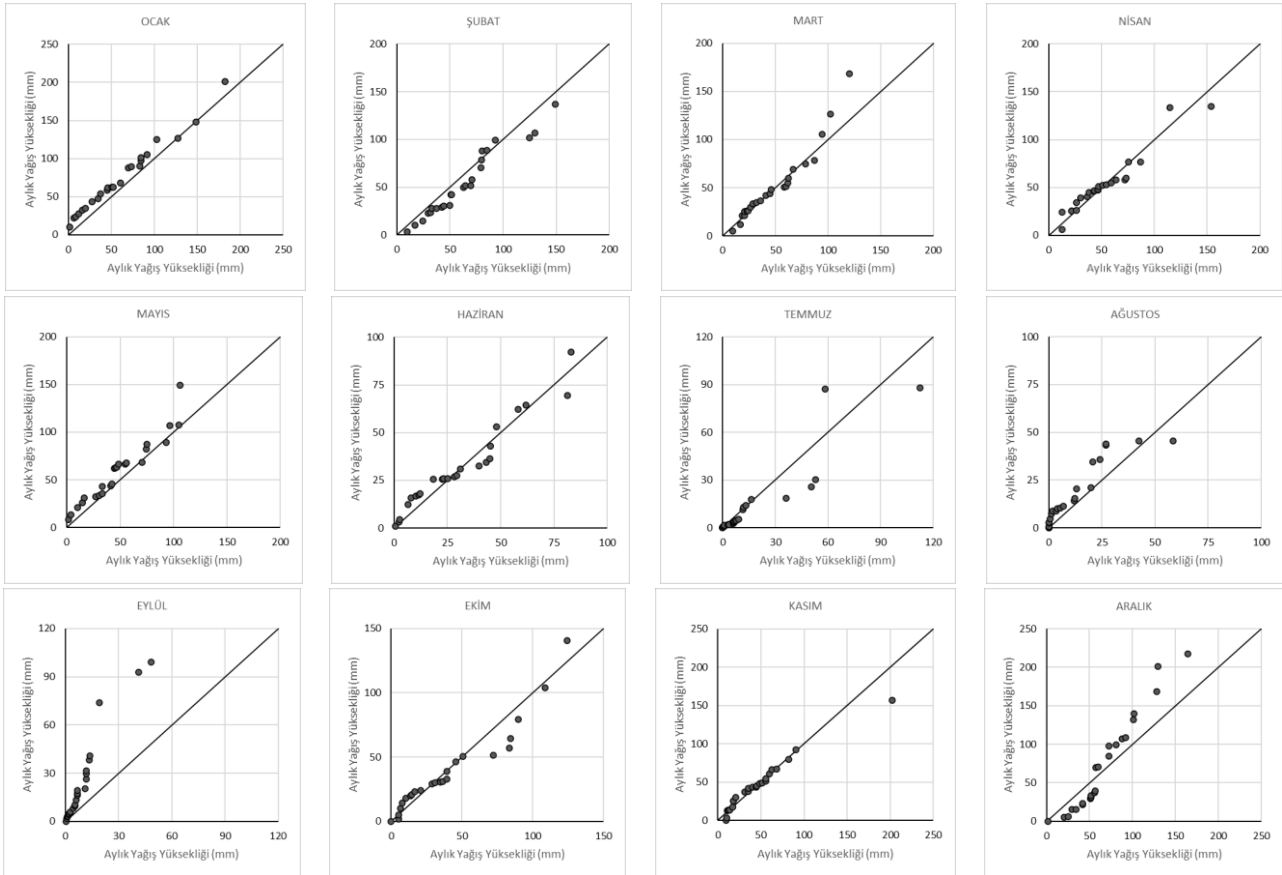


Şekil 2. Yıllık Yağışlara Şen'in Yenilikçi Trend Analizi Yönteminin Uygulanması (Application of Şen's Innovative Trend Analysis for Monthly Rainfalls)

3 yöntem birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen trend sonuçlarının genelde birbirinden farklı bulunduğu sonucuna varılabilir. Mann-Kendall testinde Antalya ve Isparta'daki yıllık ve aylık yağışlarda herhangi bir trende rastlanmamış, Sen'in Trend Eğimi Tahmincisinde ise Antalya'daki yıllık, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarındaki yağışlarda bir azalma gözlenirken, Isparta'daki Şubat, Nisan, Temmuz ve Aralık aylarındaki yağışlarda bir azalma belirlenmiş, diğer aylarda ise artış trendleri hesaplanmıştır. Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yönteminde ise, Antalya'daki Şubat, Mart, Haziran, Temmuz ve Kasım aylarındaki yağışlarda bir azalma gözlenirken, Isparta'daki Şubat, Temmuz, Ekim ve Kasım aylarındaki yağışlarda bir azalma belirlenmiş, diğer aylarda ve yıllık yağışlarda ise artış trendleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. Antalya Aylık Yağışlarına Şen'in Yenilikçi Trend Analizi Yönteminin Uygulanması (Application of Şen's Innovative Trend Analysis for Monthly Rainfalls of Antalya)



Şekil 4. Isparta Aylık Yağışlarına Şen'in Yenilikçi Trend Analizi Yönteminin Uygulanması (Application of Şen's Innovative Trend Analysis for Monthly Rainfalls of Isparta)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, Antalya ve Isparta illerinde 1971-2018 tarihlerinde kaydedilmiş yıllık ve aylık yağış kayıtlarının trendleri araştırılmıştır. Analizlerde parametrik olmayan (non-parametrik) testler uygulanmıştır. Trend hesapları Mann-Kendall Trend Analizi, Sen'in Trend Eğimi Tahmincisi ve Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemleriyle yapılmıştır.

Mann-Kendall yöntemine göre yıllık ve aylık yağışlarda her iki meteoroloji istasyonu verileri için bir azalma ya da artış eğilimleri tespit edilmemiştir. Yıllık ve aylık yağış verisi zaman serilerindeki 48'er adet sayısal değer, yöntemin hassasiyetini azalttığı düşünülmektedir. Veri sayısının daha az olması durumunda bir trendin olması muhtemeldir. Yöntemin uygulanmasında %5 önem derecesinin göz önüne alınması da zaman serisinde bir trendin olmayışına sebep olduğu ifade edilmelidir. Daha düşük önem derecelerinde, bu yöntemde bir trendin bulunması muhtemel gözükmemektedir.

Sen'in Trend Eğimi Tahmincisi yöntemi ile Antalya ve Isparta istasyonlarında hem yıllık ve hem de aylık yağışlarda artan ve azalan trendler belirlenmiştir. Antalya'daki yıllık, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarındaki yağışlarda azalma yönünde bir trend gözlenirken, Isparta'daki Şubat, Nisan, Temmuz ve Aralık aylarındaki yağışlarda azalma yönünde bir trend belirlenmiştir. Diğer aylarda ise artan yönde bir trend hesaplanmıştır. Bu yöntem, verideki içsel eğimlerin ortancasını göz önüne aldığı için Mann-Kendall yöntemine göre farklıdır ve herhangi bir zaman serisine ait eğilimin hesaplanması muhtemeldir.

Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemi ile Antalya ve Isparta istasyonlarında yıllık yağışlarda artan trendler belirlenirken, aylık yağışlarda ise hem artan hem de azalan trendler belirlenmiştir. Antalya'daki Şubat, Mart, Haziran, Temmuz ve Kasım aylarındaki yağışlarda azalma yönünde bir trend gözlenirken, Isparta'daki Şubat, Temmuz, Ekim ve Kasım aylarındaki yağışlarda ise azalan yönde bir trend belirlenmiştir. Diğer aylarda ise artan yönde bir trend hesaplanmıştır. Bu yöntemi diğer iki yöntemden ayıran önemli fark, zaman serisinin 2 parçaya ayrılmasıyla önceki seri ile sonraki seri arasındaki saçılmanın görülebilmesidir. Bu saçılma, 45°'lik bir doğru üzerinde gerçekleşmemesi durumunda bir trendi göstermekte ve bu trend ise her iki seri grubu arasındaki aritmetik ortalama arasındaki bir oran (trend) nedeniyle olmaktadır. Bu yöntem, yağışlara ait zaman serilerindeki düşük, orta ve yüksek değerler arasında ayrıca bir mukayese yapma imkanına da izin vermektedir. Antalya'da son yıllarda görülen yıllık yağış miktarlarında bir artışın olduğu ifade edilebilir. Böyle bir çıkarım, Mann-Kendall ile Sen'in Eğimi yöntemleri için bahsedilemez.

Çalışmada tatbik bu yöntemlerin bir başka sonucu olarak, Antalya ve Isparta yağışları için göz önüne alınan 3 yöntemden elde edilen trend bulgularının birbirinden farklı olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, bu yöntemlerin güvenilirliklerinin başka metodlarla da test edilmesinin önemli olacağı düşünülmektedir. Yağış gibi su kaynaklarına doğrudan etki eden bir hidro-meteorolojik parametrenin trendi ile ilgili daha fazla yöntemle daha fazla çalışmanın yapılması bir gereklilik olarak düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Alashan, S., 2018. An Improved Version of Innovative Trend Analyses, *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 50.
- Ay, M., Özyıldırım, Y., 2017. Yozgat'ın Aylık Toplam Yağış ve Aylık Ortalama Hava Sıcaklıklarının Trend Analizi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 65-76.
- Bayazit, M., Önöz, B., 2007. To Prewhiten or not to Prewhiten in Trend Analysis?, *Hydrological Sciences Journal*, 52(4), 611-624.
- Büyükyıldız, M., and Berktaş, A., 2004. Parametrik Olmayan Testler Kullanılarak Sakarya Havzası Yağışlarının Trend Analizi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(2), 23-38.
- Coşkun, S., 2020. Van Gölü Kapalı Havzasında Yağışların Trend Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 521-532.
- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M.Ö., Şişman, E., Selek, B., Güçlü, Y. S., 2016. Trend Assessment by the Innovative-Şen Method, *Water Resources Management*, 30(14), 5193-5203.
- Douglas, E.M., Vogel, R.M., and Kroll, C.N., 2000. Trends in Floods and Low Flows in the United States: Impact of Spatial Correlation, *Journal of Hydrology*, 240, 90-105.
- Ercan, B., Yüce, M.İ., 2018. Kilis İli Aylık Sıcaklık ve Yağış Verileri Trend Analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(2), 947-953.
- Fathian, F., Morid, S., Kahya, E. 2015. Identification of Trends in Hydrological and Climatic Variables in Urmia Lake Basin, Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 443-464.

- Güçlü, Y.S., 2018a. Alternative Trend Analysis: Half Time Series Methodology, *Water Resources Management*, 32(7), 2489-2504.
- Güçlü Y.S., 2018b. Multiple Şen-Innovative Trend Analyses and Partial Mann-Kendall Test, *Journal of Hydrology*, 566, 685-704.
- Hipel, K.W., McLeod, A.J., Weller, R.R., 1988. Data Analysis of Water Quality Time Series in Lake Erie, *Journal of the American Water Resources Association*, 24, 533-544.
- İlker, A., Terzi, Ö., 2021. Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi: Çankırı ve Kastamonu Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1339-1347.
- Kahya, E., Kalaycı, S., 2004. Trend Analysis of Streamflow in Turkey, *Journal of Hydrology* 289, 128-144.
- Kendall, M.G., 1955. Rank Correlation Methods, Hafner Publishing Co., New York.
- Keskin, M., Çakto, İ., Çetin, V., Bektaş, O., 2018. Doğu Anadolu Bölgesi Sıcaklık ve Yağış Trend Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 294-300.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica*, 13, 245-259.
- Öztopal, A., Şen, Z., 2017. Innovative Trend Methodology Applications to Precipitation Records in Turkey, *Water resources management*, 31(3), 727-737.
- Partal, T., Kahya, E., 2006. Trend Analysis in Turkish Precipitation Data, *Hydrological Processes*, 20(9): 2011-2026.
- Ribeiro, L., Kretschmer, N., Nascimento, J., Buxo, A., Rötting, T., Soto, G., Señoret, M., Oyarzún, J., Maturana, H., Oyarzún, R., 2015. Evaluating Piezometric Trends using the Mann-Kendall Test on the Alluvial Aquifers of the Elqui River Basin, Chile, *Hydrological Sciences Journal*, 60(10), 1840-1852.
- Sang, Y.-F., Wang, Z., Liu, C., 2014. Comparison of the MK Test and EMD Method for Trend Identification in Hydrological Time Series, *Journal of Hydrology*, 510, 293-298.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
- Smadi, M.M., 2006. Observed Abrupt Changes in Minimum and Maximum Temperatures in Jordan in the 20th century, *American Journal of Environmental Sciences*, 2(3), 114-120.
- Şen, Z., 2012. Innovative Trend Analysis Methodology, *ASCE, Journal of Hydrologic Engineering*, 17, 1042-1046.
- Şen, Z., 2014. Trend Identification Simulation and Application, *ASCE, Journal of Hydrologic Engineering*, 19, 635-642.
- Şen Z., 2015. Innovative Trend Significance Test and Applications, *Theoretical and Applied Climatology*, 127(3), 939-947.
- Şen, Z. 2017. Innovative Trend Methodologies in Science and Engineering, Springer, Cham, Switzerland, 349 p.
- 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.
- Ülke, A., Özkoca, T., 2018. Sinop, Ordu ve Samsun İllerinin Sıcaklık Verilerinde Trend Analizi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 455-463.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., 2003. Canadian Streamflow Trend Detection: Impacts of Serial and Cross-Correlation, *Hydrological Sciences Journal*, 48(1), 51-63.



DEVELOPMENT OF MULTICARRIER VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEM USING ARM CORTEX-M3 MICROCONTROLLER

Ozhan ARIOGLU*, Koray GURKAN

Department of Electrical Electronics Engineering, Istanbul University-Cerrahpasa, Istanbul, Türkiye

Keywords

Visible Light
Communication,
ACO-OFDM,
Optical Communication,
ARM Cortex-M3,
Signal Processing.

Abstract

With the development of technology, the constraints and the needs in the field of communication have increased. Especially, limited and licensed radio frequencies that can cause electromagnetic interference and health problems in the use of wireless communication make the visible light communication (VLC) technologies very important. In this study, an ARM based VLC system design has been realized to implement a unique product with the use of low-cost and commercial off-the-shelf electronic components. In this context, receiver and transmitter circuits are designed, printed circuit boards and appropriate enclosures have been produced, as a result, a system prototype has been created to use in interior applications with standard ceiling height. The design is also one of the few implementations in which orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) modulation and digital signal processing applications are performed by using ARM based microcontroller. Consequently, the system communication is achieved at a data rate of 3.5 kbps from a distance 1.8 m to 3 m. Also the system communication is successfully performed from the center of the light source up to 85 cm distance on the direct side and up to an angle of 50° on the azimuth.

ARM CORTEX-M3 MİKRODENETLEYİCİ KULLANIMI İLE ÇOK TAŞIYICILI GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Anahtar Kelimeler

Görünür Işık Haberleşmesi,
ACO-OFDM,
Optik Haberleşme,
ARM Cortex-M3,
Sinyal İşleme.

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte iletişim alanındaki kısıtlamalar ve ihtiyaçlar artmıştır. Özellikle elektromanyetik girişime ve sağlık sorunlarına sebep olabilecek, sınırlandırılmış ve lisanslanmış kablosuz iletişimin kullanımı, görünür ışık ile haberleşme teknolojilerini önemli kılmaktadır. Bu çalışmada, düşük maliyetli ve ticari kullanıma hazır elektronik bileşenlerin kullanımı ile ARM tabanlı özgün bir VLC sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda alıcı ve verici devreleri tasarlanmış, baskılı devre kartları ve bunlara uygun kutular üretilmiş, bunların sonucunda da standart tavan yüksekliğine sahip iç mekan uygulamalarında kullanılmak üzere bir sistem prototipi oluşturulmuştur. Tasarım aynı zamanda ARM tabanlı mikrodenetleyici kullanılarak, dikgen frekans bölmeli çoğullama modülasyonu (OFDM) ve dijital sinyal işleme uygulamalarının gerçekleştirildiği az sayıdaki uygulamadan birisidir. Sonuç olarak sistem iletişimi 1.8 m ile 3 m mesafeden 3.5 kbps veri hızında sağlanmıştır. Ayrıca sistem iletişimi, ışık kaynağının merkezinden direkt 85 cm mesafeye ve 50° açı yapacak şekilde başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Alıntı / Cite

Arioglu, O., Gurkan, K., (2022). Development of Multicarrier Visible Light Communication System Using ARM Cortex-M3 Microcontroller, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 908-916.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Arioglu, 0000-0002-2435-9507
K. Gurkan, 0000-0003-2283-8173

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.09.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.02.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: ozhanarioglu@gmail.com, +90-212-440-0000 (17890)

1. Introduction

The existence of limited resources in the developing and crowded world has always directed people to search for new resources. Energy, food, clean water and communication channels are some of the most important ones. The increase in the population and the efforts of more people to communicate with each other in the world highlight many innovations and needs in communication technologies. The most distinctive constraint appears on electromagnetic spectrum (Zuhdi and Wafi, 2015).

The Visible Light Communication (VLC) is a communication technology using frequencies between 400 THz and 800 THz whose bandwidth is larger than radio frequencies and provides faster communication for more consumer. It is obviously seen that the bandwidth of radio frequencies used for wireless communication is not enough because of increasing the use of mobile phone and internet. The most important advantage of visible light communication is unlicensed (free), wider and clear bandwidth. Haas (2017) expresses that the need of wireless communication will reach 6 THz bandwidth in 20 years, the radio frequencies bandwidth has only 0.3 THz bandwidth and that 6 THz bandwidth is just 0.8% of visible light spectrum with infrared (IR). Also Haas takes attention that the use of Light Fidelity (Li-Fi) for next generation wireless communication 5G. Visible light communication promotes to the encouraging alternatives to wireless and cable-based communication required for 5G and Internet of Things (Kolade et al., 2020). In visible light communication systems data is sent as the transmitter light source (LED) illuminates whole region. As a result, the light is used for more than one function simultaneously by providing energy saving. The system may be one of the greenest and eco-friendly technology in consideration of high energy efficiency (Sharma et al., 2018).

VLC systems use visible light source as data carrier. It means that all light emitting devices can be used as a transmitter with the appropriate hardware addition. Televisions, LED panels, street lamps, lamps for indoor lighting, car headlights and etc. light sources can be used as data transmitter for visible light communication which means that humans can be always online when watching television, driving a car or walking on the street. Furthermore, Khan (2017) emphasizes that the radio frequency waves cannot travel good enough in sea water result of its good conductivity. This means that VLC communication can be used in underwater communication networks instead of radio frequencies.

2. Aim

Firstly, it is aimed to have a commercial device prototype that includes unique transmitter and unique receiver circuit designs, with having appropriate enclosures. These circuits must be designed by using low cost and commercial off-the-shelf electronic components. In addition, it is aimed to have low power consumption by using ARM Cortex M3 based microcontroller and to implement signal processing algorithms like ACO-OFDM modulation running on microcontroller successfully. Also it is defined as success criteria to have an error-free communication between transmitter on ceiling and receiver on table or floor for indoor applications with standard ceiling height.

3. Content

In the last century, great developments have been made in the field of wireless communication due to the limited capacity and high cost of wired communication systems. From this point on, many researches are being done to take advantage of wireless communication and many new methods are emerging. These methods are particularly concerned with the licensed radio frequencies and insufficient bandwidth capacity. The visible light communication has an important role in these researches due to its advantages and bandwidth capacity. Frequency distribution on electromagnetic spectrum is shown in Figure 1.

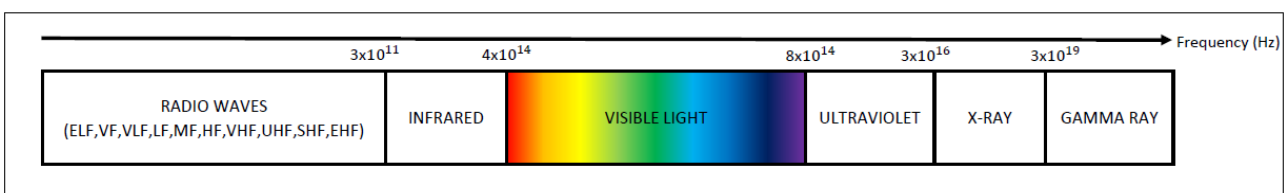


Figure 1. Electromagnetic wave spectrum

Radio frequencies can be used in many fields such as television broadcasting, mobile phone (GSM), satellite communication, radio broadcasting and global positioning systems (GPS). Spectrum on figure shows that 300 GHz bandwidth is available for that purpose. With the use of visible light communication, an area of approximately 400 THz will be put into service for communication systems. Visible light communication is crucial because of providing faster data transfer opportunity for more user. The strong attenuation of radio waves especially in

underwater communications (Dimitrov and Haas, 2015), is a clear indication that VLC systems provide new capabilities in areas where radio waves are inadequate. The differences between VLC and RF system are shown in Table 1.

Table 1. Differences between VLC and RF

Property	VLC	RF
Wave Length	380 nm – 780 nm	1 mm - 10 ⁵ mm
Bandwidth	Unlimited (~400 THz)	Regulated and Limited (~300 GHz)
Electromagnetic Interference	No	Yes
Signal	Real, Unipolar	Complex, Bipolar
Communication Range	Narrow	Wide
Line o Sight	Yes	No
Mobility	Limited	Good
Power Consumption	Low	Medium
Security	Good	Poor
Hazard	No	Yes
Installation	Easy	Medium

ACO-OFDM modulation technique which is a sub version of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is used for this study. In this multicarrier technique ACO-OFDM, the signals generated for optical channel must be real. Subcarriers should have Hermitian symmetry for that purpose. Additionally, only odd subcarriers are used to send data symbols and even subcarriers are set to zero to avoid loss of performance as a result of clipping noise.

In the ACO-OFDM technique, data symbols are first divided into N/4 complex symbols for N subcarrier.

$$X_d = [X_1 X_2 X_3 \dots X_{N/4}]^T \tag{1}$$

Next, the data symbols should be put in Nx1 array form below in order have Hermitian symmetry.

$$X = [0 X_1 0 X_2 0 \dots X_{N/4} 0 X_{N/4}^* 0 \dots 0 X_2^* 0 X_1^*]^T \tag{2}$$

In this vector (.)^{*} denotes conjugate and (.)^T denotes transpose. After then, IFFT is applied to vector X to get vector x[n] in time domain. Cyclic prefix, that must have a length at least equal to the length of the multipath channel, is added to the array to eliminate intersymbol interference (ISI).

New studies on VLC are being carried out day by day and new researches are gained to the literature with these researches. There are many studies about different modulation types, different communication distances and different data rates.

Videv and Haas (2014) designed a VLC system by using space shift keying (SSK) modulation technique. There were more than one LED and photodiode pairs in the system. As the distance between LED and photodiode pair increased, symbol estimation performance was adversely affected.

Baranda et al. (2013) used software defined radio (SDR) in their receiver and transmitter designs. Also Thorlabs PDA36 was used as photodiode in the receiver design. The system is not an appropriate commercial design due to the high cost of SDR and photodiode.

Samudika et al. (2016) have successfully completed the transfer of audio files in MP3 and PCM (Pulse Amplitude Modulation) format at a distance of 20 cm with the system they have prepared. OOK (On-Off Keying) modulation type is used for the design. OOK is not appropriate modulation type because it does not support high data transfer rate.

Ding et al. (2013) designed a prototype with low cost components by using On-Off keying (OOK) modulation type. VLC system was implemented by using Universal Serial Bus (USB) interface. VLC - USB communication system prototype provided 2 Mbps data transfer rate.

Afgani et al. (2006) added a pilot signal for synchronization and they used white LED light source in the system. By using OFDM modulation, 8 kbps maximum data transfer speed was provided.

Islim et al. (2017) achieved 11.95 Gbps data transfer speed in their work by using the micro LED structure and OFDM modulation type.

Tsonev et al. (2015) emphasized that the data transfer speed can be increased up to 100 Gbps by using laser diodes and wavelength division multiple modulation type.

In this study, considering the information and deficiencies in the literature, a unique VLC system based on ARM was designed using low cost and commercial off-the-shelf components and using ACO-OFDM modulation algorithm that is intended the future works.

4. Method

The VLC system block diagram and test set-up that includes receiver and transmitter circuits is shown in Figure 2. In this system, data transfer is unidirectional between two RS-232 serial ports of a personal computer (PC). Two serial ports of PC are connected to the system, one for the transmitter circuit and the other one for the receiver circuit. The communication between circuits are provided by a software which is called VLC_TxRx_v0.5 and the software is written by using Visual Studio C#. The software can either send basic test commands or a loaded text document. The software sends given data to transmitter via serial port 1 and gets the data that is collected by receiver circuit via serial port 2. After the transmission this software compares the original sent data and received data. Finally indicates that received byte count and the error rate. Figure 2 shows the main controller software interface and a sample data transmission. Receiver and transmitter circuits both have LPC1768 ARM Cortex M3 based microcontroller. The digital data that comes from the computer via software and serial port, is converted to analog signals by internal digital to analog converter (DAC) of the microcontroller. LED driver circuit applies the analog signal form to the LED light source and as a result the signals propagate in optical channel.

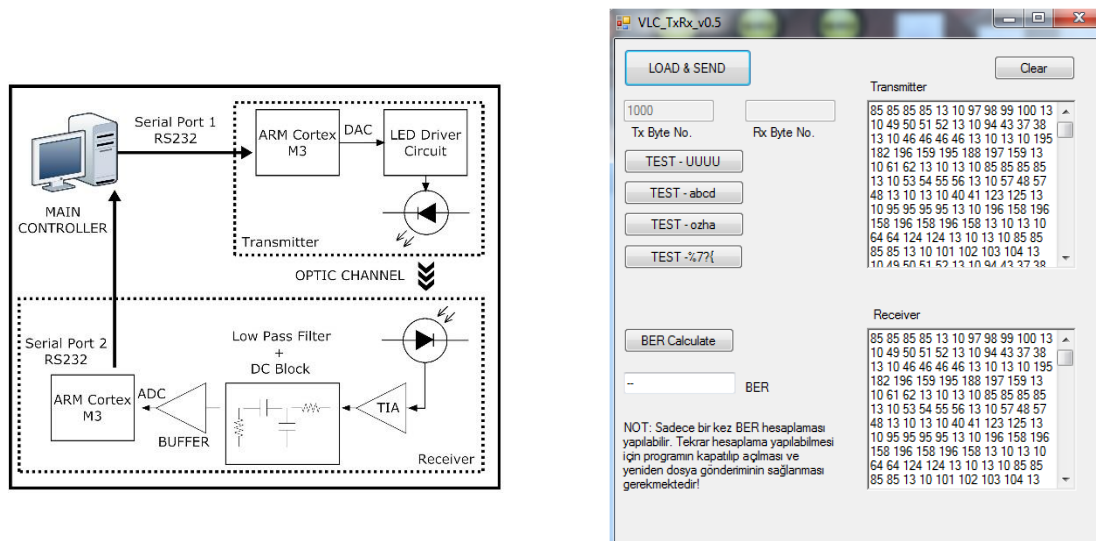


Figure 2. VLC system block diagram and test set-up (left), the main controller software interface (right)

Intensity modulated light signals are converted to electrical current signals by photodiode in the receiver circuit. Current signals are amplified and converted to voltage signals by using trans-impedance amplifier circuit. Next, the data signal is filtered by passive low pass filter and is sent to second amplifier circuit. The filtered clean signal is amplified by the second stage amplifier. At this point signal has no DC offset voltage anymore. Analog signals are converted to digital signals via analog-to-digital converter (ADC) circuit. In this context, LED driver and photodiode receiver circuits are shown below.

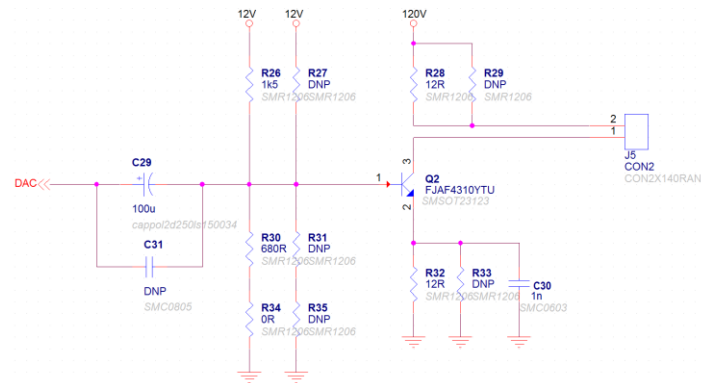


Figure 3. LED driver circuit

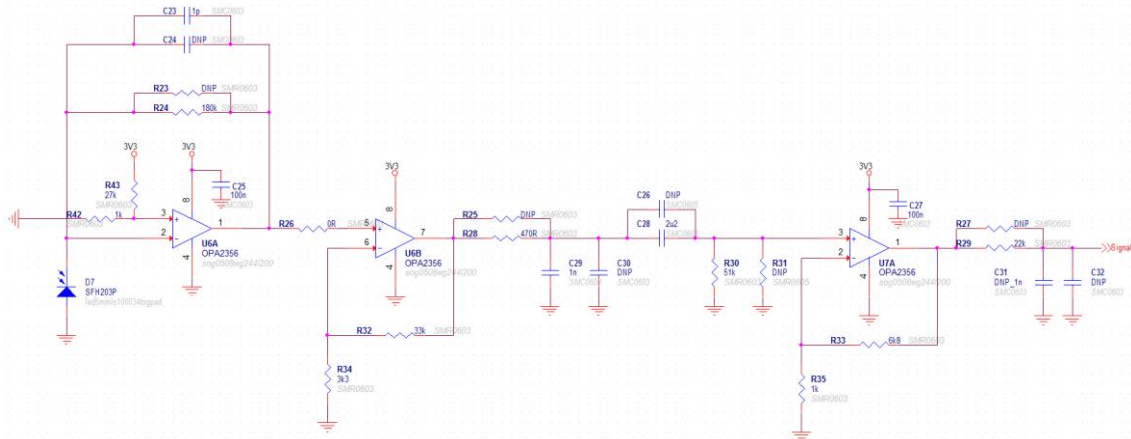


Figure 4. Receiver circuit

The analog signals are generated on the microcontroller by applying a number of signal processing algorithms to the binary message data that is expected to be transmitted. The algorithm processes including ACO-OFDM modulation and demodulation are described in the block diagram in Figure 5.

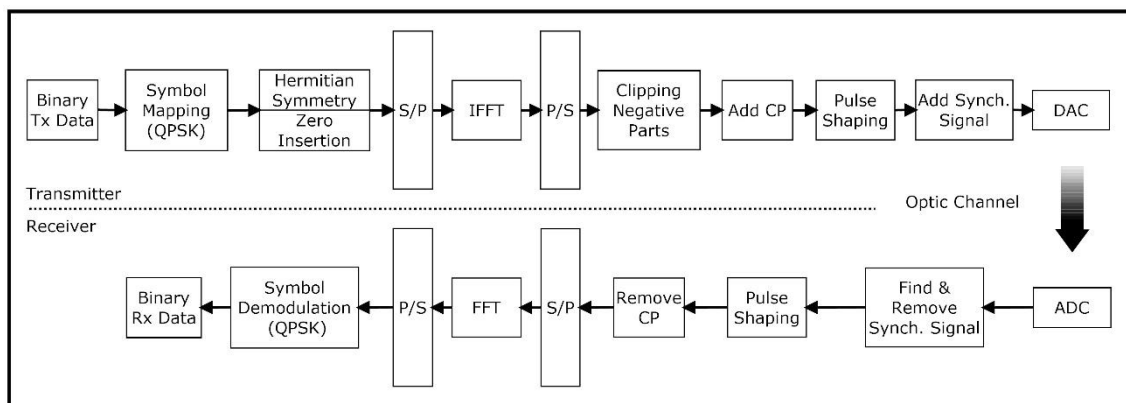


Figure 5. The block diagram of ACO-OFDM algorithm

Firstly, the binary data bits are changed into symbols by using quadrature phase shift keying (QPSK) symbol mapping. The system is configured to send 4-byte data packets. It means there will be totally 16 symbols after applying QPSK symbol mapping to 32-bit data. Various array operations are performed to ensure that the subcarriers have Hermitian symmetry which is essential to have real values after applying Inverse Fast Fourier Transform (IFFT). The complex data symbols are mapped onto $N \times 1$ vector shown in Equation (2) by using their complex conjugate with sorted in reverse and by inserting zero between symbols. After that, the serial data is converted to its parallel form (S/P) and then IFFT is applied to obtain orthogonal subcarriers. In this point, negative values are clipped because intensity modulation of light can be performed by using only positive valued signals. In ACO-OFDM, only odd subcarriers contain data when even subcarriers are set to zero. It means the resulting real time signal will have a half-symmetry that is the first half of signal will be the same as the second half (Mesleh et al. 2012). Thus, clipping the negative values is performed without any loss of information. Cyclic prefix (CP) is added to the beginning of the signal to avoid intersymbol interference. Root raised cosine pulse

shaping is applied to achieve an enhanced bandwidth. Next, a synchronization marker signal is added to easily locate the beginning of the transmitted signal. Finally, the digital data is converted to the corresponding analog form by using internal Digital to Analog Converter (DAC) unit of the microcontroller and sent to the receiver via the optical channel.

In receiver circuit whole algorithm is reversed to get original binary data. This time, the received analog signal at the output of the trans-impedance amplifier is converted to digital data by using Analog to Digital Converter (ADC) as the first step. Next, the synchronization signal is located and removed. The remaining signal is filtered by applying the same pulse shaping data and then the cyclic prefix is removed. The resulting serial data is converted to parallel form to apply Fast Fourier Transform (FFT). After that, the parallel data is converted to serial form (P/S) again and finally the original binary data is obtained by demodulating it.

In transmitter circuit design, it was preferred to use Class A type BJT amplifier circuit structure. Class A type BJT amplifier circuits are common emitter amplifiers and have very large voltage gain. Class A amplifier is always biased transistor circuit which means it conducts current whether the signal applied or not. Although this result is a disadvantage for amplifier circuits, we change it to an advantage by using this current as lighting source. FJAF4310 was used in amplifier circuit due to its proper high current and voltage characteristics. Also, OSRAM Classic-A Series 14 W LED was used as the light source. It provides 1521 lumen brightness and 6500 K color temperature. The powerful light source has 25 LED connected in series.

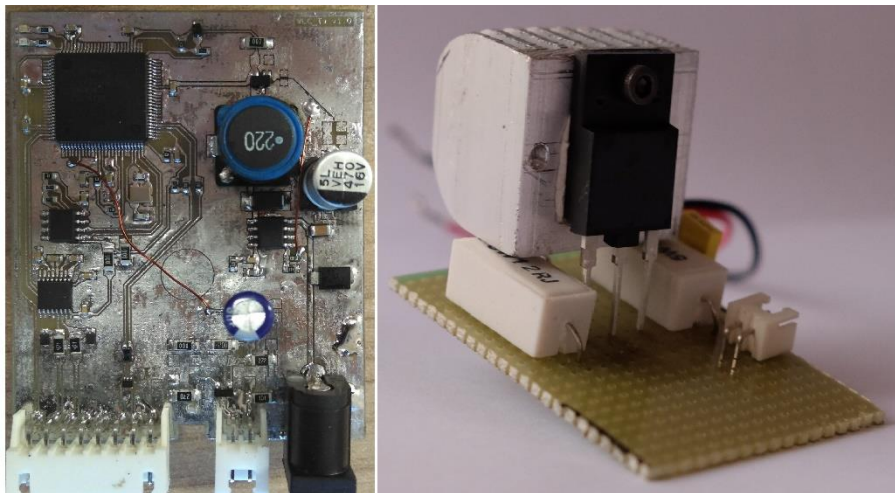


Figure 6. Transmitter controller circuit (left) and BJT amplifier circuit (right)



Figure 7. Transmitter design with aluminum enclosure

In receiver circuit, SFH203P photodiode was preferred to use which has large bandwidth, short switching time, very low dark current and very low capacitance. The trans-impedance and second stage amplifiers have operational amplifier circuits (OPAMP). OPA2356 high-speed, voltage-feedback CMOS operational amplifier was preferred due to proper frequency response and low input bias current characteristics. ADS7883 was used as an analog-to-digital converter which provides 12-bit resolution and 2 MHz sampling frequency.

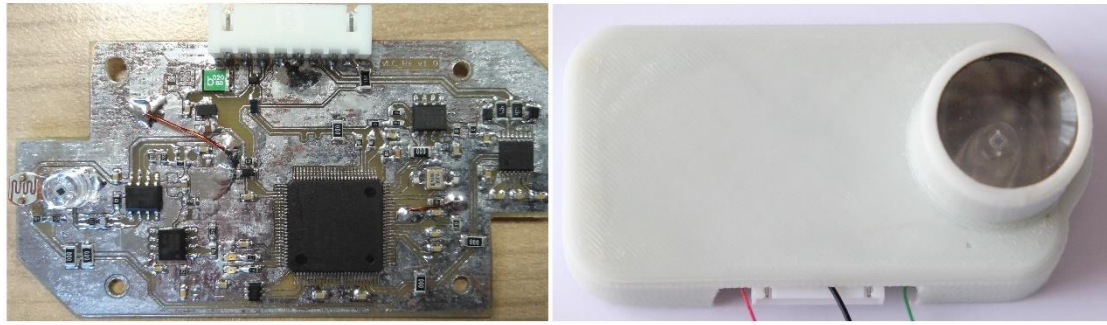


Figure 8. Photodiode receiver circuit and receiver enclosure printed by 3D printer

5. Experimental Results

To test system, arbitrary characters representing the message to be transmitted are sent to transmitter input via RS-232 interface using personal computer and serial Monitoring Software. ACO-OFDM applied signal which is created by microcontroller based VLC system is monitored with 100 MHz digital oscilloscope (INSTEK). As an example, four-bytes length 'UUUU' characters are transferred and generated ACO-OFDM signal is given at Figure 9 which includes a start and a synchronization signal. Total time duration of signal processing is measured as 2.44 milliseconds in transmitter and 3.8 milliseconds in receiver for transferring four-bytes length 'UUUU' message.

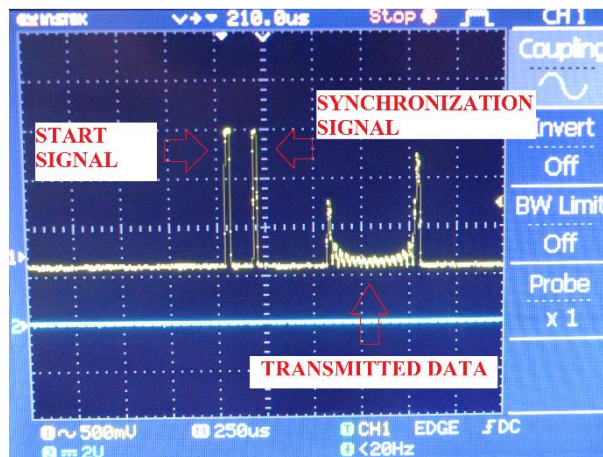


Figure 9. Transmitted 4 byte 'UUUU' data signal form

Three different test scenarios applied to measure the communication range. First, the light source and the photodiode receiver are placed against each other. At each step, light density at the receiver measured with a smart phone (HUAWEI NOVA) and third-party software. In y-axis test the distance between light source and photodiode is increased with staying opposite each other. In x-axis test, the photodiode is shifted only to right or left. The third test is circular axis test. In this test, the photodiode moves on a circular orbit that has the light source on the center shown in Figure 10.

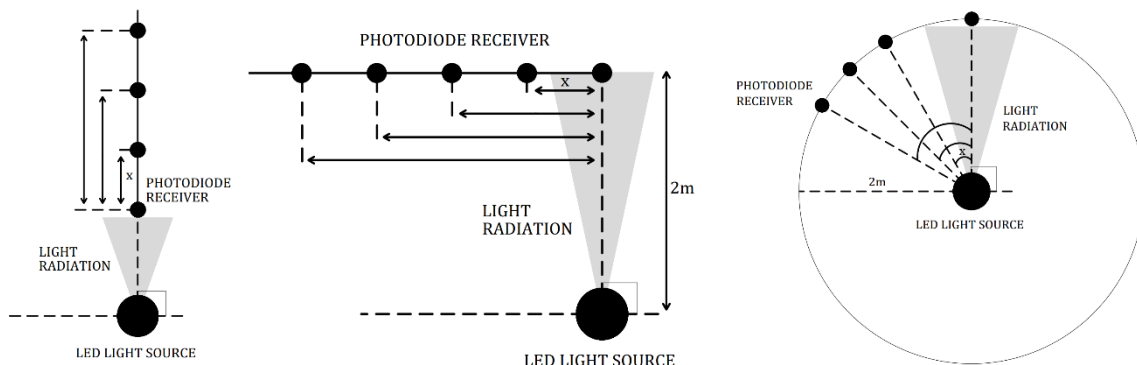


Figure 10. Y-axis test (left), X-axis test (center) and circular axis test (right)

The results of three stage tests applied to the designed VLC system are summarized on Table 2 below. The data

transfer has been achieved error-free at a distance from 1.8 m to 3 m with a bit rate of 3.5 kbps. In addition, it has been observed that the system communicated up to 85 cm on the x-axis and up to 50° azimuthal angle. Again it can be clearly seen from Table 2 that below the certain light density (175 lux) the communication is interrupted. Incorrect characters received when the light density value is between 175 to 185 lux. Additionally the test results show the communication is interrupted when the light intensity is above 400 lux also. In the Y-axis test with 1.5 m distance, the system has no received signal. Actually the received signals are lost in overexposed light intensity because of the close distance. It means that the system can perform in a certain depth of field area.

Table 2. System test results

Test	Distance / Angle	Light Intensity	Error Rate (Bit/Byte)
Y- Axis Test	1.5 m	500 lux	No Communication
Y- Axis Test	1.8 - 3 m	370 - 185 lux	0/5000
Y- Axis Test	3.15 m	177 lux	84/5000
Y- Axis Test	3.3 m	160 lux	No Communication
X- Axis Test	0 - 0.85 m	300 - 205 lux	0/5000
X- Axis Test	1 m	175 lux	No Communication
Circular Axis Test	14° - 50.80°	310 - 215 lux	0/5000
Circular Axis Test	58.22°	175 lux	No Communication

The system test results show that designed multicarrier visible light communication system have mainly two important contributions for literature. Table 3 shows that the main advantages of the system compared to before researches.

Table 3. Designed VLC system contributions

Videv and Haas (2014) designed a system by using space shit keying (SSK) modulation and more than one LED - Photodiode pair.	We have developed a system by using multicarrier (ACO-OFDM) modulation which can provide more speed and more robust communication. In addition we have accomplished this by using just one LED - Photodiode pair.
Baranda et al. (2013) used software defined radio (SDR) and Thorlabs PDA36 which are not usefull for commercial purpose and so expensive.	We have developed a system by using low-cost and commercial off-the-shelf electronic components. Whole system circuits, enclosures and control software are designed by ourselves.
Samudika et al. (2016) used OOK modulation for transferring data at a distance 20 cm.	We have developed a system which can communicate at a distance 1.8 m to 3 m.
Ding et al. (2013) designed a system with low-cost components to use On-Off keying (OOK) modulation.	We have developed and realized a system with low-cost components to use multicarrier OFDM modulation.

6. Conclusion

Visible light communication system including a receiver and a transmitter circuit has been designed using ACO-OFDM modulation and signal processing algorithms implemented with ARM Cortex M3 based microcontroller. The data transfer has been achieved at a distance from 1.8 m to 3 m with a bit rate of 3.5 kbps. In addition, the system communicates up to 85 cm on the x-axis and up to 50° azimuthal angle. Measured light intensity indicates that under 175 lux and above 400 lux the communication is interrupted. It is shown that our design can be used for indoor lightening applications with standard ceiling height. Beside this, the system can be used for underwater and vehicle to vehicle communication which contains lightening and data transferring at the same time. Users can be use for example internet when sitting under the light or can be warned because of getting so close to another car much more than it should be when driving. We have developed an ARM based low cost prototype with low power consumption. Furthermore, our system is one of the few implementations that ACO-OFDM and signal processing algorithms are running on the microcontroller.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Afgani, M. Z., Haas, H., Elgala, H., Knipp, D., 2006. Visible Light Communication Using OFDM. Proceedings of the 2nd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, 129-134. Barcelona, Spain.
- Baranda, J., Henarejos, P., Gavrinca, C. G., 2013. An SDR Implementation of a Visible Light Communication System Based on the IEEE 802.15.7 Standard. Telecommunications (ICT), 2013 20th International Conference, 1-5. Casablanca, Morocco.
- Dimitrov, S., Haas, H., 2015. Principles of LED Light Communications: Towards Networked Li-Fi. Cambridge, Cambridge University Press.
- Ding, L., Liu, F., He, Y., Zhu, H., & Wang, Y., 2013, Design of Wireless Optical Access System using LED, Optics and Photonics Journal, 3(02), 148.
- Haas, H., 2017. LiFi is a Paradigm-shifting 5G Technology. Reviews in Physics, 3, 26-31.
- Islim, M. S., Ferreira, R. X., He, X., Xie, E., Videv, S., Viola, S., Watson, S., Bamiedakis, N., Penty, R. V., White, I. H., Kelly, A. E., Gu, E., Haas, H., and Dawson, M. D., 2017. Towards 10 Gb/s Orthogonal Frequency Division Multiplexing-based Visible Light Communication Using a GaN Violet micro-LED. Photonics Research, 5(2), A35-A43.
- Khan, L. U., 2017, Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges, Digital Communications and Networks, 3(2), 78-88.
- Kolade, O., Familua, A. D., & Cheng, L. 2020. Indoor Amplify-and-Forward Power-Line and Visible Light Communication Channel Model Based on a Semi-Hidden Markov Model. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 153108.
- Mesleh, R., Elgala, H., & Haas, H., 2012, Performance analysis of indoor OFDM optical wireless communication systems, Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 1005-1010. Shanghai, China.
- Samudika, D., Jayasinghe, L., Gunathilaka, K. E., Rumes, Y., Weerasuriya, R., Dias, D., 2016. Stereo Audio Streaming via Visible Light. Proceedings of the Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), 132-136. Moratuwa, Sri Lanka.
- Sharma, R., Kumari, A. C., Aggarwal, M., & Ahuja, S. 2018. Optimal LED deployment for mobile indoor visible light communication system: Performance analysis. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 83, 427-432.
- Tsonev, D., Videv, S., Haas, H., 2015. Towards a 100 Gb/s Visible Light Wireless Access Network. Optics express, 23(2), 1627-1637.
- Videv, S., & Haas, H., 2014, Practical space shift keying VLC system, Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 405-409. Istanbul, Turkey.
- Zuhdi, M., Wafi, A., 2015. High Performance Drive Circuits for Integrated microLED/CMOS Arrays for Visible Light Communication (VLC) (Doctoral dissertation). Edinburgh University, Edinburgh.



MONTHLY STREAM FLOWS ESTIMATION IN THE KARASU RIVER OF EUPHRATES BASIN WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPROACH

Okan Mert KATIPOĞLU*

Erzincan Binali Yıldırım University, Department of Civil Engineering, Erzincan, Türkiye

Keywords

*Artificial Neural Network,
Rainfall-Runoff Relationship,
Air Temperature,
Potential Evapotranspiration,
Karasu Aşağıkağdıriç.*

Abstract

This study aims to estimate streamflow values with artificial neural networks (ANN) using various meteorological parameters. In developing the ANN model, various combinations of precipitation, air temperatures, and potential evapotranspiration values were used as inputs, and streamflow values were obtained. Meteorological data is divided into 70% train, 15% test, and 15% validation. In the model's design, various training algorithms, network architecture, input combinations, and the number of iterations were tried, and the most suitable model was tested. Correlation coefficient (R), coefficient of determination (R^2), absolute error (AE), and absolute relative error (ARE) coefficients were compared, and the most suitable model was selected. According to the analysis results, the optimal model was obtained using 2000 iterations, the architecture of the 4-4-1 model, and the Quasi-Newton algorithm. It was determined that the ANNs successfully modeled the rainfall-runoff relationship and produced reliable estimates. In addition, it was revealed that the inclusion of potential evapotranspiration values obtained by the Thornthwaite method into the model increases the model's success.

FIRAT HAVZASI KARASU NEHRİNDEKİ AYLIK AKIMLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMINI İLE TAHMİNİ

Anahtar Kelimeler

*Yapay Sinir Ağı,
Yağış-Akış İlişkisi,
Hava sıcaklığı,
Potansiyel
Evapotranspirasyon,
Karasu Aşağıkağdıriç.*

Öz

Bu çalışma çeşitli meteorolojik parametreler kullanarak yapay sinir ağları (ANN) ile akım değerlerinin tahmin edilmesini amaçlanmaktadır. ANN modelinin geliştirilmesinde yağış, hava sıcaklıkları ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin çeşitli kombinasyonları girdi olarak kullanılmış ve akım değerleri elde edilmiştir. Modelin tasarlanmasında çeşitli eğitim algoritmaları, ağ mimarisi, girdi kombinasyonları ve iterasyon sayıları denenerek en uygun model sınanmıştır. Korelasyon katsayısı (R), belirlilik katsayısı (R^2), mutlak hata (AE) ve göreceli mutlak hata (ARE) katsayıları karşılaştırılarak en uygun model seçilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 2000 iterasyon, 4-4-1 modelinin mimarisi ve Quasi-Newton algoritması kullanılarak optimal model elde edilmiştir. ANN modellerinin yağış-akış ilişkisini modellemede ve güvenilir tahminler üretmede başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Thornthwaite yöntemi ile elde edilen potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin modele dâhil edilmesinin modelin başarısını arttırdığı ortaya konmuştur.

Alıntı / Cite

Katipoğlu O. M., (2022). Monthly stream flows estimation in the Karasu river of Euphrates basin with artificial neural networks approach, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 917-928.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. M. Katipoğlu, 0000-0001-6421-6087

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.08.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	19.03.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	13.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: okatipoglu@erzincan.edu.tr, +90-0446 224 00 88

1. Introduction

It is very significant to identify the rainfall-runoff (R-R) relationship in the development and planning of water resources. Several mathematical models have been developed from the existing meteorological measurements to predict future flow values. Determination of future flow values is crucial for the operation of reservoirs for flood control, preparation for arid periods, provision of hydropower production, and planning of river access (Ahmad and Simonovic, 2005; Tombul and Oğul, 2006; Sert et al., 2007).

The fundamental parameter that creates the flow, which is one of the essential components of the hydrological cycle, is the amount of precipitation falling on the ground. When the parts such as evaporation, transpiration, and infiltration are removed in the falling rainfall, the remaining part forms the surface flow. Parametric and black box (such as artificial neural networks (ANN)) models can be employed to model the transformation of precipitation into runoff. Since parametric models are challenging to implement, artificial intelligence models are widely used to establish precipitation flow models today (Bayazit, 1998). The ANN concept has emerged with the idea that the working principles of the brain are imitated numerically on computers. The first studies are based on mathematical and statistical modeling of biological nerve cells, that is, neurons that make up the brain. ANN systems can perform operations such as learning, associating, classifying, generalizing, predicting, characterizing, and optimizing. These capabilities make ANN systems attractive for solving physical problems in complex and dynamic properties such as flow systems. Besides, the advantages of ANN systems, such as linearity, parallelism, and thus speed, ease of analysis, and design, provide a great advantage in creating a flow control strategy, especially for real-time systems (Agatonovic-Kustrin, and Beresford 2000; Yilmaz et al 2001). ANNs are composed of simple nerve cells that operate in parallel. These elements are inspired by biological nerve cells. Similar in nature, communication between the components is provided by a network (Krse and van der Smagt 1996; Elshorbagy et al. 2010).

In this study, ANN, a black-box model, has been applied because of its success in modeling nonlinear system behavior., various combinations of precipitation (P), temperature (T), and the difference between precipitation and potential evapotranspiration (P-PET) values are used as input, and stream flows are obtained as output to determine the rainfall-runoff relationship. The various numbers of neurons and iterations were tried, and six different training algorithms were used to choose the optimal model. Statistical parameters such as correlation coefficient (R), determination coefficient (R^2) absolute error, and (AE) absolute relative error (ARE) are used to test the performance of the models. The optimum model with the smallest error rates and highest R^2 values emerged when P, T, and P-PET values were used.

2. Literature Survey

ANNs have recently been used extensively in hydrological models. Modeling of the R-R relationship in a basin, calculating the suspension item, flood forecasting in rivers, dam reservoir operation studies, calculation of a water level change in a lake, etc. are examples of work done in such areas. ANN is used to model the R-R relationship (Young and Liu, 2015; Vyas et al. 2016; Kumar et al. 2016; Dounia et al., 2016; Asadi et al. 2019), to predict rainfall (Lee et al., 1998; Mirabbasi et al. 2019), to predict river flow (Guimaraes Santos and Silva, 2014; Shi et al., 2016; Zemzami and Benaabidate, 2016; Wagena et al. 2020; Adnan et al. 2021), to predict reference evapotranspiration (Aytek, 2008; Qasem et al. 2019; Tikhamarine et al. 2019; Elbeltagi et al. 2022), to predict discharge and water-level (Khan et al., 2016; Nacar et al. 2018; Anilan et al. 2020; Damla et al. 2020; Temiz et al. 2021), to predict snowmelt-runoff (Yilmaz, 2011), ANNs have also been regarded as a powerful tool for use in a variety of underground water problems (Malik et al. 2021; Wunsch et al. 2021). ANNs can be used for other purposes is unit hydrograph derivation (Lange, 1998), flood frequency analysis (Campolo, 2003; Dawson, et al., 2006; Samantaray et al. 2021), drought analysis (Shin and Salas, 2000; Ochoa-Rivera, 2008; Banadkooki et al. 2021; Ozan Evkaya and Sevinç Kurnaz, 2021), suspended sediment data estimation (Jimeno-Sáez, 2018; Khan et al. 2019; Meshram et al. 2020), Modelling the infiltration process (Samantaray and Sahoo et al. 2021; Sihag et al. 2021; Singh et al. 2021), estimation of hydroelectric generation (Uzlu et al., 2014; Niu et al., 2019; Ozigis et al. 2021).

3. Material and Method

3.1. Study Area and Data

In this study, monthly average flow data of the Karasu Aşağıkağdarıç stream gauging station between the years 1970-2009, measured by the General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EIE) in the Euphrates Basin, and monthly total precipitations data of 17096 Erzurum Airport stations measured by General Directorate of Meteorology between 1970-2015 are used. In Figure 1, the location map of the Euphrates basin and the distribution of some stations are shown.

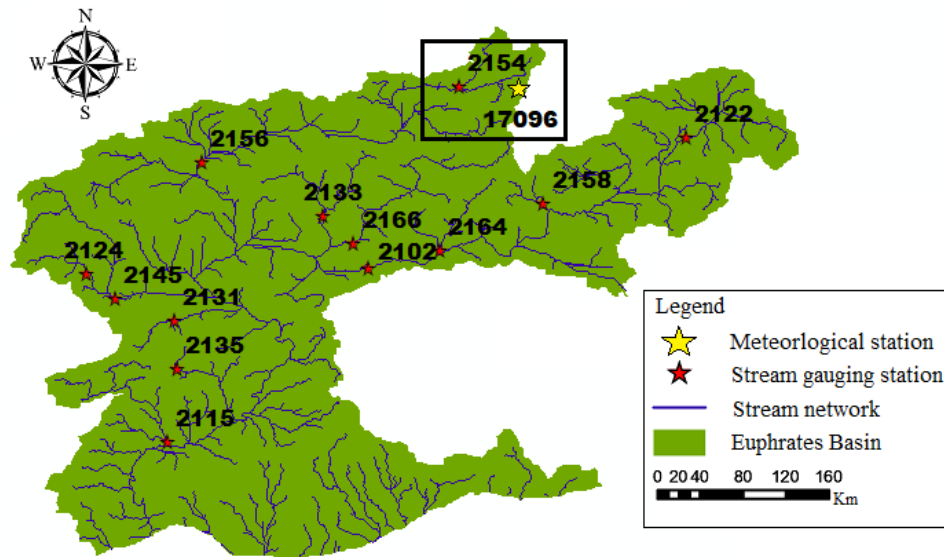


Figure 1. Rainfall and streamflow gauging station in the Euphrates Basin (Katipoğlu, 2020)

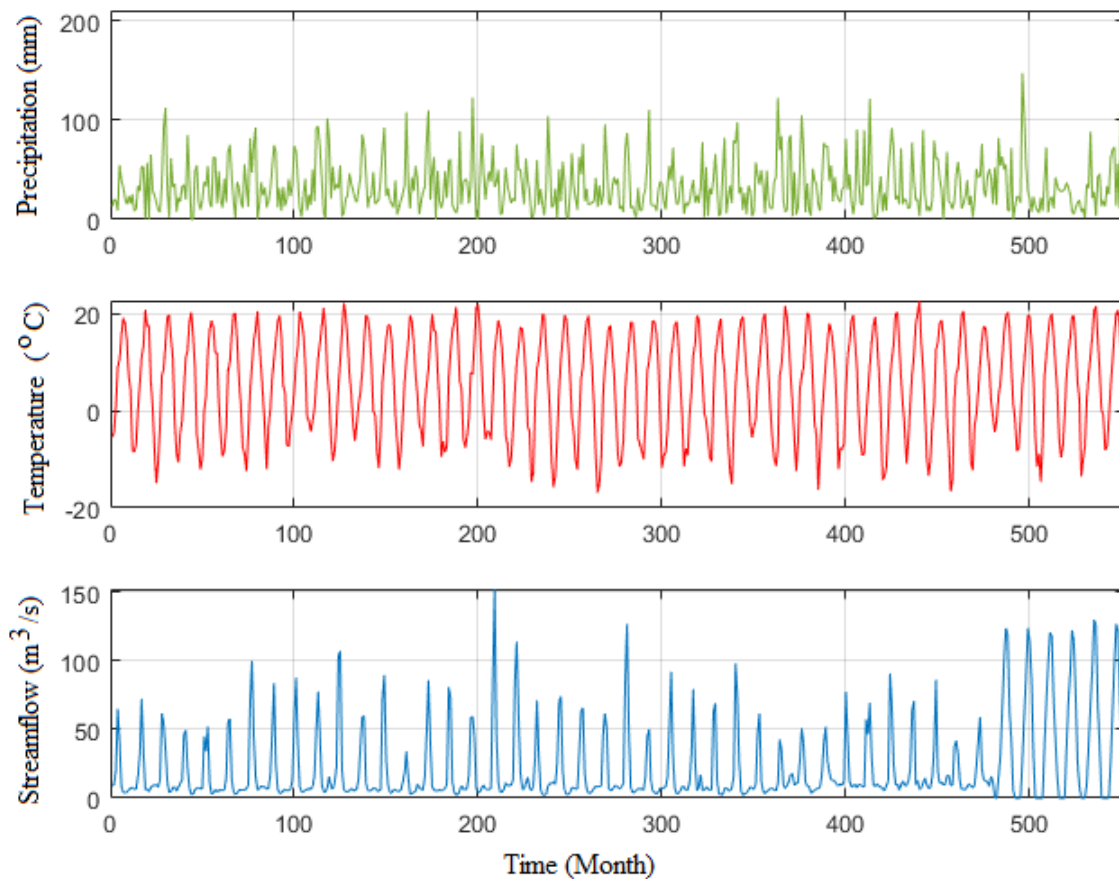


Figure 2. Data used in the establishment of the ANN model

The temporal changes of precipitation, temperature and flow data used to establish the ANN model are shown in Figure 2. In Table 1, the statistical properties of the data used in the study are indicated. According to this, in 1970-2015 in Erzurum meteorology station, precipitation varies between 210.8-0 mm and temperatures between 22.7-16.9 °C. In the Karasu river, the streamflow values in the 1970-2009 period vary between 152.5-2.01 m³/s.

Table 1. Basic statistics of the data

	Precipitation (mm)	Temperature (°C)	Streamflow (m ³ /s)
Mean	34.27	5.34	19.20
Maximum	210.8	22.7	152.5
Minimum	0	-16.9	2.01
Standard deviation	26.85	10.39	23.67

3.2. Rainfall-Runoff Models

The simplest relationship between precipitation and runoff is between runoff heights of various rainfalls and rainfall heights. When the precipitation heights are transferred to one axis, and the runoff heights to the other, the deviations of the points obtained around a curve to be drawn are usually very high. The effect of other variables can express the extreme deviation of the points around the curve. The most effective of these variables is soil moisture. However, since this variable cannot be measured directly, the following variables should be used:

- Rainfall before the considered rainfall
- The sequence number of the week in which the rainfall occurred
- The amount of runoff available in the stream at the beginning of rainfall
- The duration of rainfall above a certain intensity

It is important to consider these parameters together to successfully model the precipitation flow relationship (Bayazit, 1995).

3.3. Artificial Neural Networks

The ANN is seen as one of the newest technologies developed with long-term efforts and can imitate nature. ANNs are programs designed to imitate the working principle of a simple biological nervous system. Stimulated nerve cells contain neurons, which connect differently to form a network. These networks can learn, memorize, and reveal the relationship between the data. In general, the ANN architecture is defined as 3 layers. The first layer is the input layer; the final layer is the output layer. The other layers are called the hidden layer or intermediate layer. There can be more than one intermediate layer in a network. It is unclear how many hidden layers are used in ANN and how many nerve cells are in each hidden layer. In this situation which varies according to the problem, a solution has been provided by a trial-and-error approach (Haykin, 1994; Krenker et al. 2011)

When Figure 3 is examined, in addition to layers in an ANN model, there are 5 basic elements; inputs, weights, net function, activation function, and outputs. In the input and output layers of the network, there are data related to the problem. The cell numbers in the input and output layers vary depending on the information defined in the question. The weights provide the activity in the system of information in the input layer and its importance. Data is stored in these weights; the intelligence of the network and the performance of learning depend on the correct determination of the weight values. The net function obtained by adding the weighted inputs expresses the effects of the inputs on this cell (Okkan and Mollamahmutoğlu, 2010).

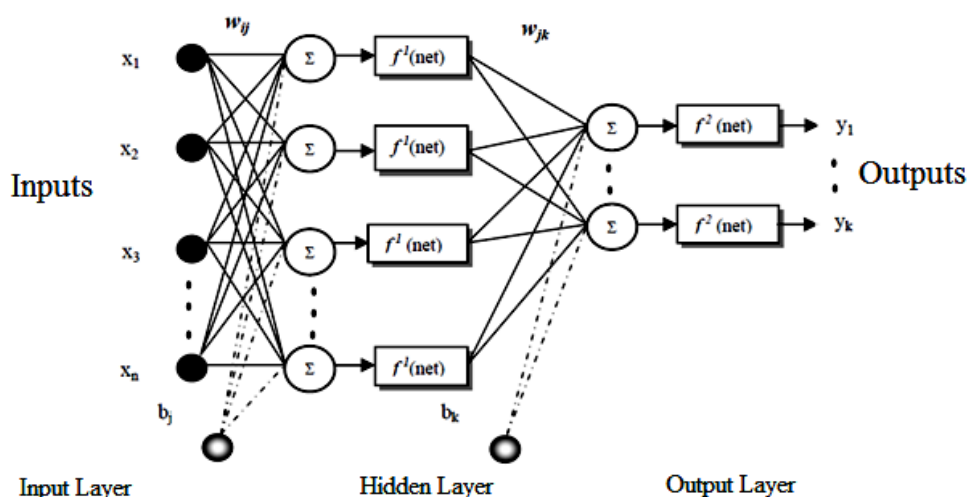


Figure 3. The architecture of the multi-layer artificial neural network

The activation function also referred to as the transfer function, is a nonlinear function that determines the cell output bypassing the net input from the combining process. In cell models, various types of activation functions can be used depending on the task the cell will perform. The most appropriate activation function becomes apparent due to the designer's experience. The selection of the activation function can be made according to the width of the ANN, the purpose of the network, and the input type. The most commonly used transitional functions are logistic sigmoid and hyperbolic tangent functions. Logistic sigmoid was used as the activation function in this study (Haykin 1999; Krenker et al. 2011).

3.3.1. Modeling phase

The establishment of the model of the ANN is generally carried out in 4 phases. These are; data collection and analysis, identification of network architecture, network training, testing, and validation. Alyuda NeuroIntelligence software is easy to use to model rainfall-runoff relationships. The design stages of the ANN model are shown in Figure 4.

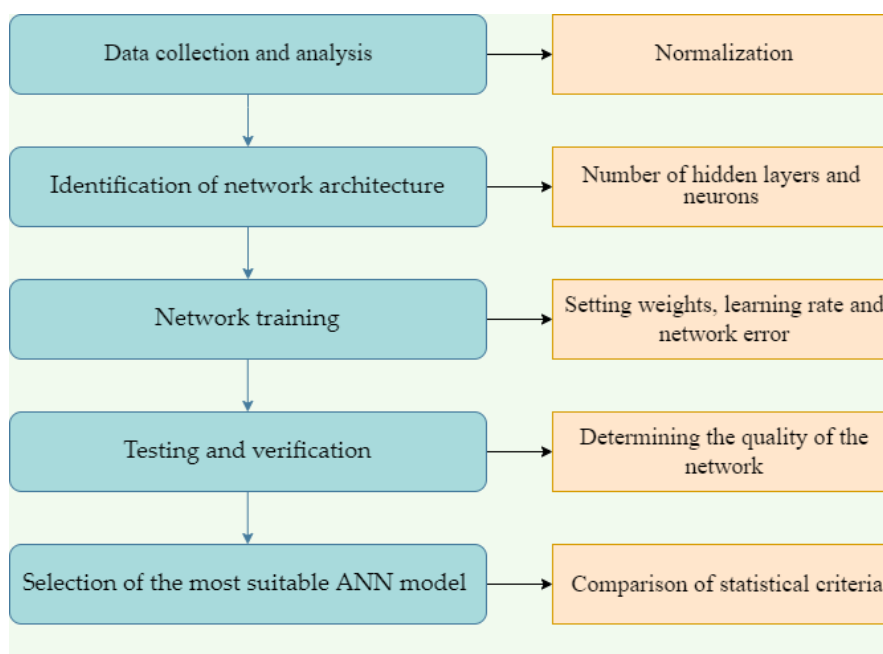


Figure 4. Flowchart for ANN

3.3.1.1. Data collection and analysis

In this study, rainfall, temperature, and runoff data between 1970 and 2009 were used. Approximately 70 % of the data were used for training, about 15 % of tests, and 15 % for validation purposes.

The input and output variables used in this study are firstly normalized in the range 0 and 1. This range has been chosen since the sigmoid logistics function (limited to 0.0 to 1.0) is used as the output layer activation function. Next, normalization is performed through Equation 1.

$$\bar{X} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

where \bar{X} is the standardized value of the input, x_{min} , and x_{max} , respectively. The standardization process is done to express the variables measured in different units as a single type. Thus, a higher fit between the variables can be achieved.

3.3.1.2. Identification of network architecture

The fitness criterion was used to find the best network. The fitness criterion determines the network parameter to identify the best network. Each network is tested, and the network architecture is defined automatically.

In practice, ANNs are an effective method in learning, relationship building, classification, generalization, and optimization processes by taking advantage of the available data. This process is done by selecting the appropriate architecture of different architectural structures. There is a parallel-flow of information from the input layer to the output layer in the architectural structure. Such flow is provided by parallel placed cells.

3.3.1.3. Network training

As a result of the training process, it is expected that the error calculated in the ANN falls to an acceptable error rate. However, reducing the average error squares does not always indicate that the ANN reaches generalization. This is because the real purpose of the ANN is to reach generalization for input-output examples. Generalization is the ability of the ANN to correctly classify input-output samples from the same network that have not been used in training (Dawson and Wilby, 1998).

3.3.1.4. Testing and validation

Testing is a process used to predict the quality of a trained neural network and evaluate the model. At this stage, some of the data that is not used during the training is sent to the trained network according to the situation. Then, the estimation error is used to determine network quality. This step determines the success of the training (Dawson and Wilby, 1998; Ilie et al., 2012). The validation phase is necessary to monitor the network's development and solve the overfitting problem (Wang, 2015).

3.4. Thornthwaite Method

A method commonly used to estimate potential evapotranspiration is derived from Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). This method correlates the monthly average temperature with evapotranspiration (ET_0) determined by the water balance for the valleys where sufficient moisture water is present to maintain active transpiration. The Thornthwaite formula is:

$$ET_0 = 16 d (10^{T/I})^a \quad (2)$$

where T is the average temperature for the month (in °C), I is the annual thermal index, i.e. the sum of monthly indices $i [i = (T/5)^{1.514}]$, d is a correction factor which depends on latitude and month, and a is:

$$0.49 + 0.0179 I - 0.0000771 I^2 + 0.000000675 I^3 \quad (3)$$

The Drought Indices Calculator (DrinC) software is used to calculate PET values. PET values were calculated by the Thornthwaite method since monthly average temperature and latitude data could be obtained in the study area.

3.5. Model Performance

Many performance measurement methods have been developed to evaluate the accuracy of estimation. This study compared four different statistical parameter values to determine the optimum model. These parameters are the correlation coefficient (R), the determination coefficient (R^2), absolute error (AE), and absolute relative error (ARE).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P}_i)^2}} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (5)$$

$$AE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{N} \quad (6)$$

$$ARE = \frac{\sum_{i=1}^N |(P_i - O_i)/O_i|}{N} \quad (7)$$

where O_i and P_i are respectively, the observed and predicted value of flow, \bar{O}_i is the average of O_i values, \bar{P}_i is the average of P_i values and N is the total number of data sets. The best value of R and R^2 is equal to 1. AE and ARE values are calculated from differences between the predicted and observed values. The best value of these errors is equal to 0.

4. Experimental Results and Discussion

This aimed to predict river flows by using various meteorological data as input. ANN, one of the largely utilized machine learning methods in recent years, has been used for flow prediction. While developing the model, the data were divided into 70% training, 15% testing, and 15% validation. The data were used by randomly dividing.

Table 2. Identification best fits architectures.

Architecture Search	
Architecture	Fitness Criteria
[4-1-1]	0.092
[4-10-1]	0.138
[4-6-1]	0.139
[4-4-1]*	0.145
[4-2-1]	0.093
[4-5-1]	0.137
[4-3-1]	0.083

Note: * marker indicates the best architecture

The fitness criterion was applied to select the most suitable network architecture. Considering Table 2, the optimum network architecture was found to be (4-4-1). Figure 5 shows the network architecture best suited to the neural network. It is seen that precipitation, temperature, and potential evapotranspiration values are used as inputs in the selected architecture.

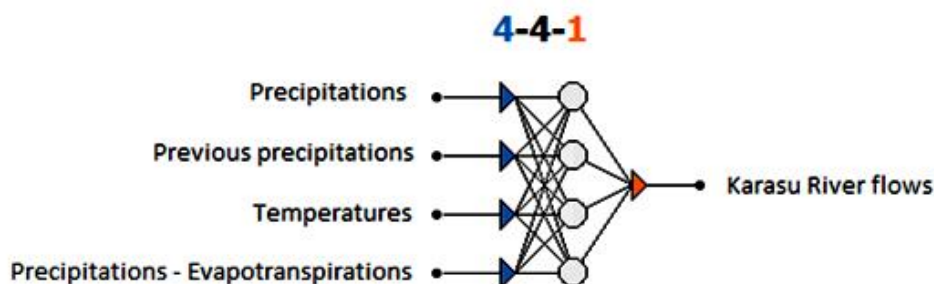


Figure 5. ANN architecture for prediction of Karasu River flows.

It is determined that the most appropriate model is type 6 by comparing the training, testing, validation, and overall model results. It is seen that the model of correlation and determination coefficients are the highest and errors are the smallest (Table 3). Correlation is high and positive, indicating that the predicted model is appropriate and correct. Furthermore, the fact that the coefficient of determination is close to 1 means that the data obtained by the current data are close to each other.

Quasi-Newton, Conjugate Gradient Descent, Levenberg-Marquart, Online Backpropagation, Quick Propagation, and Batch Backpropagation algorithms were used to build the rainfall-runoff model. The Quasi-Newton algorithm was realized as the best training algorithm. The optimum model was obtained by using the logistic sigmoid transfer function, 2000 iterations, the combination of input-hidden-output neurons (4-4-1) (Table 3).

Figure 6 shows the results of comparing the output values of all data sets and the target output values. Again, the overlap of the target and output values indicates that the established model has high R^2 and that the model is suitable for estimating the R-R relationship.

Table 3. Selecting the most suitable model.

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6**
Inputs	P	P, P_{t-1}	P, T	P, P-PET	P, P_{t-1}, P-PET	P, P_{t-1}, T, P-PET
Outputs	Q	Q	Q	Q	Q	Q
Best architecture	1-7-1	2-7-1	2-6-1	2-6-1	3-8-1	4-4-1
Best algorithm	Quick prop.	Quick prop.	Quasi-Newton	Quasi-Newton	Quasi-Newton	Quasi-Newton
Number of iterations	2000	5000	700	1000	1000	2000
Correlation Coefficient (R)						
Training	0.58	0.69	0.70	0.75	0.79	0.90
Testing	0.55	0.47	0.72	0.66	0.69	0.86
Validation	0.48	0.45	0.80	0.60	0.71	0.79
Overall model	0.54	0.54	0.72	0.69	0.75	0.86
Determination Coefficient (R²)						
Training	0.34	0.48	0.49	0.56	0.62	0.81
Testing	0.30	0.22	0.52	0.44	0.48	0.74
Validation	0.23	0.20	0.64	0.36	0.50	0.62
Overall model	0.29	0.29	0.52	0.48	0.56	0.74
Absolute Error (AE)						
Training	10.61	9.12	9.34	8.90	7.20	6.33
Testing	11.32	12.14	8.92	9.26	9.14	6.61
Validation	12.24	12.60	8.87	10.59	9.04	6.94
Overall model	11.04	10.95	8.89	9.51	8.30	6.42
Absolute Relative Error (ARE)						
Training	0.90	0.93	0.83	0.76	0.60	0.55
Testing	1.25	1.29	0.82	0.94	0.68	0.56
Validation	1.20	1.40	0.61	0.96	0.65	0.67
Overall model	1.18	1.11	0.62	0.95	0.67	0.56

Note: **marker indicates the best model, P: Monthly average precipitations, P_{t-1}: Previous Month average precipitations, T: Temperatures, P-PET: Difference between precipitations and potential evapotranspiration, Q: Monthly average flows

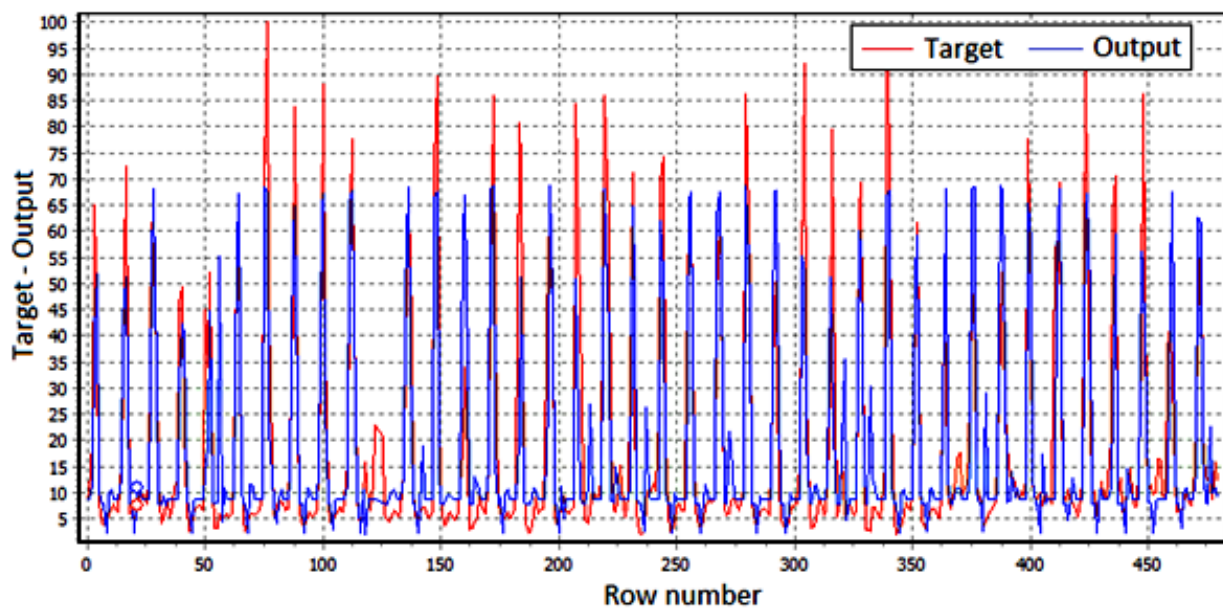


Figure 6. Target (actual) values vs output (simulated) values

Figure 7 presents the "error dependence graph," which displays the network error depending on the values of the numerical inputs of the network. Figure 7 also indicates model errors are minor.

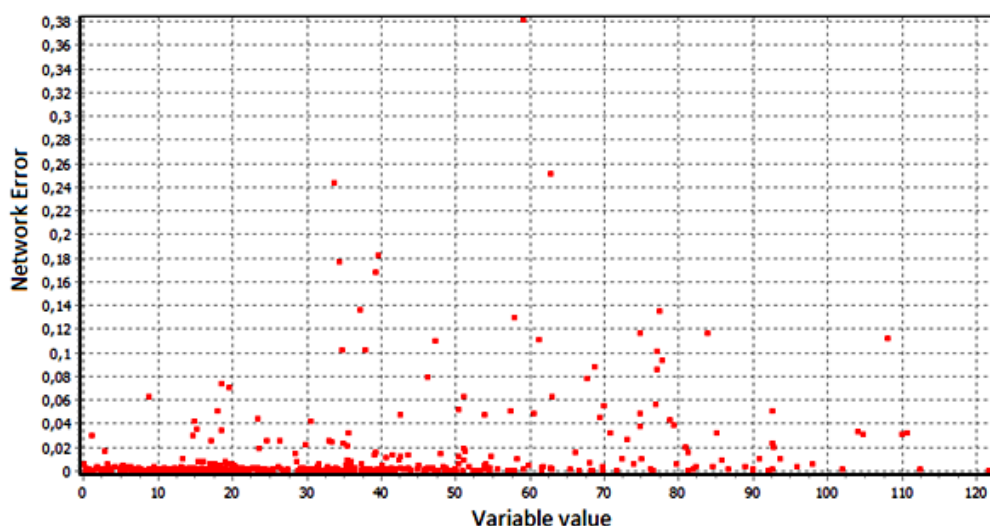


Figure 7. Error dependence on the values of the numerical inputs of the network

The most effective algorithm was determined according to the error status between the outputs produced by the network and the expected outputs. Then, an algorithm known as Quasi-Newton is used to adjust the weights to decrease the margin of error. Finally, the network is trained by doing this process repeatedly. The training process aims to achieve an optimum solution based on performance metrics. Figure 8 indicates the network output values' distribution graph and the target output values' specific time series. The distribution of points around the line indicates that the relationship between predicted and actual values is high.

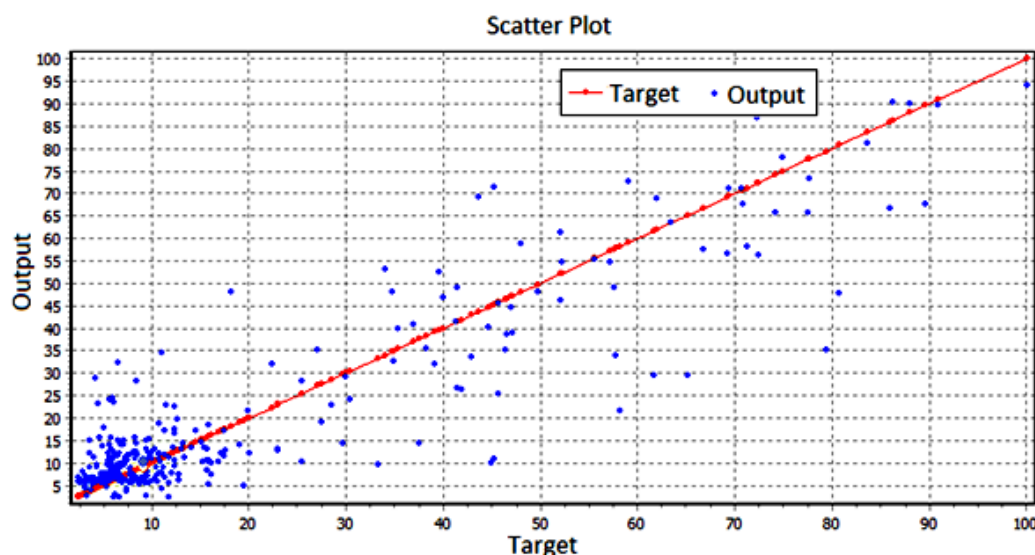


Figure 8. Scatter plot of the output values and the target output values of the overall model

Tombul and Oğul (2006) used precipitation and evaporation data as input to the ANN model for the estimation of flow values. As a result, the feed-forward back propagation neural network, which gives the largest determination coefficient ($R^2 = 0.72$) and the smallest mean square error values ($MSE = 0.60$), has been determined as the best model. The stated study largely overlaps in terms of obtaining close statistical parameters ($R = 0.86$, $R^2 = 0.74$, $AE = 6.42$ and $ARE = 0.56$) in runoff estimation and effective estimation. Our study is different and original from the stated study in terms of using the difference between temperature and precipitation and potential evapotranspiration values in flow estimation.

Machado et al. (2011) modeled the monthly R-R relationship using precipitation, flow, and potential evapotranspiration data. Consequently, it was revealed that ANN effectively models the rainfall-runoff relationship. This situation supports our work.

Bölük (2020) applied multiple linear regression, nonlinear regression, ANN, and generalized regression ANN methods, which are widely used today, to estimate precipitation-flow relationship with artificial intelligence technique. In direct proportion to the presented study, it has been concluded that the ANN method can be used as an alternative to classical methods in the R-R model.

In the study of Keskin (2020), runoff values were estimated by presenting daily precipitation, runoff, and temperature data as input data to the ANN model. As a result of the study, it was found that the ANN method in nonlinear cases produced more realistic results with fewer errors than the multiple linear regression method. In addition, it has been determined that the ANN model, which supports the presented study, is more than 92% accurate.

5. Conclusion

In this study, the rainfall-runoff relationship in the Karasu Aşağıkağdı gauging station was modeled with the ANN approach. While P , P_{t-1} , T , P -PET values, which are the factors affecting runoff, are used as inputs, runoff values are presented to the model as output. The study has determined that the flow data can be estimated effectively by using precipitation, temperature, and difference between precipitation and potential evapotranspiration values as inputs. Decision-makers can use this situation in the planning and management of water resources.

To estimate the rainfall-runoff relationship, Quasi-Newton, Conjugate Gradient Descent, Quick Propagation, Levenberg-Marquart, Online Backpropagation, and Batch Backpropagation algorithms were tried. Quasi-Newton is the best algorithm, which shows the highest R^2 and the smallest errors.

In the best ANN model, R , R^2 , AE , and ARE values are obtained 0.86, 0.74, 6.42, 0.56, respectively. These values indicate that the best model performance is achieved when P , P_{t-1} , T , P -PET data are used as input.

This study showed that it is possible to estimate and predict monthly streamflow by using ANN. In addition, it has been revealed that the Thornthwaite method-based potential evapotranspiration values increase the model's success.

Future studies suggest including hydrological parameters such as evaporation, wind speed, soil moisture, and solar radiation to establish more successful R-R models. In addition, it has been suggested to test daily and hourly R-R models and to use longer and continuous records.

Acknowledgement

The authors thank the General Directorate of Meteorology and EİE for the data provided.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Adnan, R. M., Liang, Z., Parmar, K. S., Soni, K., and Kisi, O., 2021. Modeling monthly streamflow in mountainous basin by MARS, GMDH-NN and DENFIS using hydroclimatic data. *Neural Computing and Applications*, 33(7):2853-2871.
- Agatonovic-Kustrin, S., and Beresford, R. 2000. Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 22(5):717-727.
- Ahmad, S., Simonovic, S. P., 2005. An artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters. *Journal of Hydrology*, 315(1-4):236-251.
- Anilan, T., Nacar, S., Kankal, M., and Yuksek, O. 2020., Prediction of maximum annual flood discharges using artificial neural network approaches. *Grağevinar*, 72(03.):215-224.
- Asadi, H., Shahedi, K., Jarihani, B., and Sidle, R. C., 2019. Rainfall-runoff modelling using hydrological connectivity index and artificial neural network approach. *Water*, 11(2):212.
- Asadi, H., Shahedi, K., Jarihani, B., and Sidle, R. C., 2019. Rainfall-runoff modelling using hydrological connectivity index and artificial neural network approach. *Water*, 11(2):212.
- Aytek, A., Guven, A., Yuce, M. I., Aksoy, H., 2008. An explicit neural network formulation for evapotranspiration. *Hydrological sciences journal*, 53(4):893-904.
- Banadkooki, F. B., Singh, V. P., and Ehteram, M., 2021. Multi-timescale drought prediction using new hybrid artificial neural network models. *Natural Hazards*, 106(3):2461-2478.
- Bayazit, M., 1995. Hidroloji. Istanbul Technical University.
- Bayazit, M., 1998. Hydrological models. ITU Faculty of Civil Engineering, Istanbul.
- Bölük, O., 2020. Prediction of rainfall-runoff relationship using artificial intelligence techniques, Iskenderun Technical University Engineering and Science Institute, M. Sc. Thesis, Iskenderun.
- Campolo, M., Soldati, A., Andreussi, P., 2003. Artificial neural network approach to flood forecasting in the River Arno. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3):381-398.
- Damla, Y., Temiz, T., and Keskin, T. 2020., Estimation of Water Level by Using Artificial Neural Network: Example of Yalova Gökçe Dam. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science* 6-1:32-49.
- Dawson, C. W., Wilby, R., 1998. An artificial neural network approach to rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 43(1):47-66.

- Dawson, C.W., Abrahart, R.J., Shamseldin, A.Y., Wilby, R.L., 2006. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of hydrology*, 319(1-4):391-409.
- Dounia, M., Yassine, D. Yahia, H., 2016. Calibrating Conceptual Rainfall Runoff Models using Artificial Intelligence. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3):257.
- Elbeltagi, A., Nagy, A., Mohammed, S., Pande, C. B., Kumar, M., Bhat, S. A., ... and Juhász, C., 2022. Combination of Limited Meteorological Data for Predicting Reference Crop Evapotranspiration Using Artificial Neural Network Method. *Agronomy*, 12(2):516.
- Elshorbagy, A., Corzo, G., Srinivasulu, S., Solomatine, D., 2010. Experimental investigation of the predictive capabilities of data driven modeling techniques in hydrology part 1: concepts and methodology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14(10):1931-1941
- Guimaraes Santos, C. A., Silva, G. B. L. D., 2014. Daily streamflow forecasting using a wavelet transform and artificial neural network hybrid models. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2):312-324.
- Hall, M. Minns, A., 1998. Regional flood frequency analysis using artificial neural network. Ed. *Hydroinformatics Conference*, Copenhagen.
- Haykin, S., 1994. *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall PTR.
- Haykin, S., 1999. *Neural networks: a comprehensive foundation*, Prentice-Hall, 2nd Ed, Upper Saddle River, New Jersey
- Ilie, C., Ilie, M., Melnic, L., Topalu, A. M., 2012. Estimating the Romanian Economic Sentiment Indicator Using Artificial Intelligence Techniques. *Journal of Eastern Europe Research in Business & Economics*.
- Jimeno-Sáez, P., Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., Pulido-Velazquez, D., 2018. A Comparison of SWAT and ANN Models for Daily Runoff Simulation in Different Climatic Zones of Peninsular Spain, 10(2):192.
- Katipoğlu, O. M., 2020. Analysis of meteorological and hydrological droughts in Euphrates river valley, Doctoral Dissertation. Atatürk University Institute of Science, Erzurum.
- Khan, M. Y. A., Hasan, F., and Tian, F., 2019. Estimation of suspended sediment load using three neural network algorithms in Ramganga River catchment of Ganga Basin, India. *Sustainable Water Resources Management*, 5(3):1115-1131.
- Khan, M. Y. A., Hasan, F., Panwar, S., Chakrapani, G. J., 2016. Neural network model for discharge and water-level prediction for Ramganga River catchment of Ganga Basin, India, 61(11):2084-2095.
- Krenker, A., Bešter, J., and Kos, A., 2011. Introduction to the artificial neural networks. *Artificial Neural Networks: Methodological Advances and Biomedical Applications*. InTech, 1-18.
- Krse, B., van der Smagt, P., 1996. *An Introduction to Neural Networks*, 8th edn. The University of Amsterdam, Amsterdam
- Kumar, D., Sarthi, P. P., Ranjan, P., 2016. Rainfall-runoff modeling using computational intelligence techniques, ed. *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2016 International Conference on, Jaipur, India.
- Lange, N., 1998. Advantages of unit hydrograph derivation by neural networks. Ed. *Hydroinformatics Conference*, Copenhagen.
- Lee, S., Cho, S., Wong, P. M., 1998. Rainfall prediction using artificial neural networks, *Journal of geographic information and Decision Analysis*, 2(2):233-242.
- Machado, F., Mine M., Kaviski, E., Fill, H., 2011. Monthly rainfall-runoff modelling using artificial neural networks. *Hydrological Sciences Journal*, 56(3):349-361.
- Malik, A., and Bhagwat, A. 2021. Modelling groundwater level fluctuations in urban areas using artificial neural network. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100484.
- Meshram, S. G., Singh, V. P., Kisi, O., Karimi, V., and Meshram, C., 2020. Application of artificial neural networks, support vector machine and multiple model-ANN to sediment yield prediction. *Water Resources Management*, 34(15):4561-4575.
- Mirabbasi, R., Kisi, O., Sanikhani, H., and Gajbhiye Meshram, S., 2019. Monthly long-term rainfall estimation in Central India using M5Tree, MARS, LSSVR, ANN and GEP models. *Neural Computing and Applications*, 31(10):6843-6862.
- Nacar, S., Hınıs, M. A., and Kankal, M., 2018. Forecasting daily streamflow discharges using various neural network models and training algorithms. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(9):3676-3685.
- Niu, W. J., Feng, Z. K., Feng, B. F., Min, Y. W., Cheng, C. T., Zhou, J. Z., 2019. Comparison of Multiple Linear Regression, Artificial Neural Network, Extreme Learning Machine, and Support Vector Machine in Deriving Operation Rule of Hydropower Reservoir. *Water*, 11(1):88.
- Ochoa-Rivera, J. C., 2008. Prospecting droughts with stochastic artificial neural networks. *Journal of hydrology*, 352(1-2):174-180.
- Okkan, U., Mollamahmutoğlu, A., 2010. Daily Runoff Prediction of Coruh River by Artificial Neural Networks. *Journal of Natural & Applied Sciences*, 14(3).
- Ozan Evkaya, O., and Sevinç Kurnaz, F., 2021. Forecasting drought using neural network approaches with transformed time series data. *Journal of Applied Statistics*, 48(13-15):2591-2606.
- Ozigis, I. I., Adeyemi, R. A., Ondachi, P. A., and Oodo, S. O., 2021. Performance evaluation of Kainji hydro-electric power plant using artificial neural networks and multiple linear regression. *International Journal of Energy and Water Resources*, 1-11.
- Qasem, S. N., Samadianfard, S., Kheshtgar, S., Jarhan, S., Kisi, O., Shamshirband, S., and Chau, K. W. (2019). Modeling monthly pan evaporation using wavelet support vector regression and wavelet artificial neural networks in arid and humid climates. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13(1):177-187.
- Samantaray, S., and Sahoo, A., 2021. Modelling response of infiltration loss toward water table depth using RBFN, RNN, ANFIS techniques. *International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems*, 25(2), 227-234.
- Samantaray, S., Sahoo, A., and Agnihotri, A., 2021. Assessment of Flood Frequency using Statistical and Hybrid Neural Network Method: Mahanadi River Basin, India. *Journal of the Geological Society of India*, 97(8), 867-880.
- Sert, M., Opan, M. ve Temiz, T. 2007. Çoklu Rezervuar Sistemlerinde Çok Amaçlı Optimal Planlama. *Uluslararası Nehir Havzası Yönetimi Kongresi*, 554-567.
- Shi, B., Hu, C. H., Yu, X. H., Hu, X. X., 2016. New fuzzy neural network-Markov model and application in mid-to long-term runoff forecast. *Hydrological Sciences Journal*, 61(6):1157-1169.
- Shin, H. S., Salas, J. D., 2000. Regional drought analysis based on neural networks, *Journal of Hydrologic Engineering*. 5(2):145-155.
- Sihag, P., Kumar, M., and Singh, B., 2021. Assessment of infiltration models developed using soft computing techniques. *Geology*,

- Ecology, and Landscapes, 5(4):241-251.
- Singh, B., Sihag, P., Parsaie, A., and Angelaki, A., 2021. Comparative analysis of artificial intelligence techniques for the prediction of infiltration process. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 5(2):109-118.
- Temiz, T., Damla, Y., and Keskin, T. 2021., Gökçe Dam Chamber Water Level Estimation with Gdm Algorithm. *Yalova Research Congress Proceedings Book*, October 22-23:136-141.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1):55-94.
- Tikhamarine, Y., Malik, A., Kumar, A., Souag-Gamane, D., and Kisi, O., 2019. Estimation of monthly reference evapotranspiration using novel hybrid machine learning approaches. *Hydrological sciences journal*, 64(15):1824-1842.
- Tombul, M., Oğul, E., 2006. Modeling of rainfall-runoff relationship at the semi-arid small catchments using artificial neural networks. *Intelligent Control and Automation*. Springer, 309-318.
- Uzlu, E., Akpınar, A., Öztürk, H. T., Nacar, S., Kankal, M., 2014. Estimates of hydroelectric generation using neural networks with the artificial bee colony algorithm for Turkey. *Energy*, 69:638-647.
- Vyas, S. K., Mathur, Y. P., Sharma, G., Chandwani, V., 2016. Rainfall-Runoff Modelling: Conventional regression and Artificial Neural Networks approach. Ed. *Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 2016 International Conference on, Jaipur, India.
- Wagena, M. B., Goering, D., Collick, A. S., Bock, E., Fuka, D. R., Buda, A., and Easton, Z. M., 2020. Comparison of short-term streamflow forecasting using stochastic time series, neural networks, process-based, and Bayesian models. *Environmental Modelling & Software*, 126:104669.
- Wang, Y. Guo, S., Xiong, L., Liu, P., Liu, D., 2015. Daily runoff forecasting model based on ANN and data preprocessing techniques. *Water*, 7(8):4144-4160.
- Wunsch, A., Liesch, T., and Broda, S., 2021. Groundwater level forecasting with artificial neural networks: a comparison of long short-term memory (LSTM), convolutional neural networks (CNNs), and nonlinear autoregressive networks with exogenous input (NARX). *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(3):1671-1687.
- Yilmaz, A., Imteaz, M., and Jenkins, G., 2011. Catchment flow estimation using Artificial Neural Networks in the mountainous Euphrates Basin. *Journal of Hydrology*, 410(1-2):134-140.
- Young, C. C., Liu, W. C., 2015. Prediction and modelling of rainfall-runoff during typhoon events using a physically-based and artificial neural network hybrid model. *Hydrological Sciences Journal*, 60(12):2102-2116.
- Zemzami, M., Benaabidate, L., 2016. Improvement of artificial neural networks to predict Daily streamflow in a semi-arid area. *Hydrological Sciences Journal*, 61(10):1801-1812.



SOĞUK ZİNCİR LOJİSTİĞİNDE GEZGİN SATIN ALICI PROBLEMİ İÇİN İKİ AŞAMALI BİR ÇÖZÜM YÖNTEMİ

İlker KÜÇÜKOĞLU*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Gezgin Satın Alıcı Problemi,
Soğuk Zincir Lojistiği,
Matematiksel Modelleme,
Sezgisel Yöntemler.*

Öz

Bu çalışma, soğuk zincir lojistiğinde bozulabilir gıdaların satın alınması işlemini dikkate alarak literatürde iyi bilinen gezgin satın alıcı probleminin genişletilmiş bir halini sunmaktadır. Taşıma işlemlerinin bozulabilir ürün şartlarına dayalı gerçekleştirildiği bu problem, soğuk zincir lojistiğinde gezgin satın alıcı problemi (SZL-GSAP) olarak adlandırılmıştır. SZL-GSAP, sıcaklık kontrollü bir araç ile taşınması gereken çeşitli ürün taleplerinin belirli sayıda marketlerden satın alınması işlemini dikkate almaktadır. Problemin amacı, satın alıcı için sıcaklık kontrollü aracın enerji maliyetinin, ürün bozulma maliyetinin ve satın alma maliyetinin toplamını minimize edecek satın alma ve rota planını elde etmektir. Problem, doğrusal olmayan bir karma tamsayı programlama modeli olarak formüle edilmiş ve iki aşamalı bir yöntem kullanılarak çözülmüştür. Çözüm yönteminin ilk aşamasında, bir çözüm kurucu yöntem kullanılarak problem için kaba bir sonuç elde edilmektedir. Daha sonra ilk aşamada elde edilen çözüm, GUROBI çözücüsü kullanılarak belirli bir zaman kısıtı içerisinde geliştirilmektedir. Sayısal uygulamalarda, önerilen çözüm yönteminin performansı, farklı büyüklükte örnekleri içeren bir problem seti üzerinde analiz edilmiştir.

A TWO-PHASE SOLUTION APPROACH FOR THE TRAVELING PURCHASER PROBLEM IN COLD CHAIN LOGISTICS

Keywords

*Traveling Purchaser Problem,
Cold Chain Logistics,
Mathematical Modelling,
Heuristic Methods.*

Abstract

This paper introduces an extension of the well-known traveling purchaser problem in the literature by taking into account the procurement of perishable foods in cold chain logistics. The problem in which transportation operations are carried out based on the perishable product conditions is called the traveling purchaser problem in cold chain logistics (TPP-CCL). The TPP-CCL considers a set of perishable food demands to be purchased from a number of markets, where the foods have to be transported by a temperature-controlled vehicle. The aim of the problem is to find the best procurement and route plan for the purchaser that minimizes the total energy cost of the vehicle, damage cost of foods and purchasing cost. The problem is formulated as a nonlinear mixed-integer programming model and solved by using a two-phase solution procedure. In the first phase of the solution methodology, a rough solution is obtained through a solution construction method. Then the solution observed in the first phase is improved by using the GUROBI solver, where the solver is terminated at the end of a specific time limit. In the computational studies, the performance of the proposed solution methodology is analyzed on a benchmark problem set including different sized instances.

Alıntı / Cite

Küçüköğlü, İ., (2022). Soğuk Zincir Lojistiğinde Gezgin Satın Alıcı Problemi İçin İki Aşamalı Bir Çözüm Yöntemi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 929-942.

* İlgili yazar / Corresponding author: ikucukoglu@uludag.edu.tr, +90-224-294-2091

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
İ. Küçüköğlü, 0000-0002-5075-0876	Başvuru Tarihi / Submission Date	20.12.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date	14.05.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	14.05.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Gezgin satın alıcı problemi (GSAP), literatürde iyi bilinen gezgin satıcı probleminin genelleştirilmiş bir hali olup birçok çalışmada farklı varsayımlar altında dikkate alınmıştır (Manerba vd., 2017). Temel GSAP’de bir gezgin satın alıcı, belirli ürün taleplerini karşılamak üzere farklı lokasyonlarda bulunan marketleri ziyaret etmektedir. Her markette bulunan ürün çeşidi ve miktarı birbirinden farklı olmakta ve birim ürün satış fiyatı markete göre değişiklik göstermektedir. Gezgin satın alıcının amacı, ürün taleplerini minimum maliyet ile karşılayacak rota ve ürün satın alma planını oluşturmaktır. Gezgin satıcı probleminden farklı olarak GSAP’de ziyaret edilecek olan marketlerin seçimi ve bu marketlerden alınacak olan ürün miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu temel karar alma süreçlerine ek olarak, GSAP farklı kısıtlar ile genişletilerek birçok gerçek hayat uygulamasına adapte edilmiştir.

GSAP’nin önemli bir karar alma süreci olan taşıma göz önüne alındığında, günümüz lojistik faaliyetlerinde taşıma işlemlerinin önemli bir kısmının soğuk zincir lojistiği kapsamında yapıldığı bilinmektedir (Awad vd., 2021; Oswald ve Stirn, 2008). Soğuk zincir lojistiğinde, sıcaklık değişimine bağlı olarak bozulabilir ürünlerin sıcaklık kontrollü araçlar ile yapılması gerekmektedir. Standart taşıma işlemlerinden farklı olarak soğuk zincir lojistiğinde aracın ısı kontrolü için harcadığı yakıtta ait maliyetler ve ürünlerin bozulma maliyetleri de dikkate alınması gereken önemli bir faktördür (Zhang vd., 2019; Liu vd., 2020). Fakat bu alanda yapılmış mevcut çalışmalar genel olarak bozulabilir ürünlerin sıcaklık kontrollü araçlar ile belirli lokasyonlara dağıtımını dikkate almaktadır. Taşıma faaliyetleri açısından dağıtım işlemlerine ek olarak soğuk zincir lojistiğine ait gerçek hayat uygulamalarında bozulabilir ürünlerin belirli üretici noktalarından tedarik edilmesine bağlı taşıma da gerçekleşmektedir. Özellikle günlük olarak üretilen süt ve süt ürünleri, hayvansal gıdalar, tarım ürünleri vb. ürünlerin tedarik edilmesi aşamasında ürün kalitesi dikkate alınarak taşımaların belirli bir zaman içerisinde yapılması gerekmektedir. Bu tür ürünlerin satın alımı aşamasında ürün maliyetleri ve taşıma maliyetlerine ek olarak taşımalardan kaynaklı ürün bozulma maliyetlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bozulabilir ürünlerin satın alınmasına ilişkin bu kısıtların GSAP kapsamında dikkate alınması, toplam taşıma ve ürün maliyetlerinin en aza indirilebilmesi açısından önemli bir araştırma konusu niteliği taşımaktadır.

Yapılan çalışmada, GSAP soğuk zincir lojistiğine ait uygulamalara yönelik genişletilmiş olup bozulabilir ürünlerin taşımalarına ilişkin kısıtlar probleme entegre edilmiştir. Soğuk zincir lojistiğinde gezgin satın alıcı problemi (SZL-GSAP) olarak adlandırılmış olan problemde bozulabilir ürünlerin farklı lokasyonlarda bulunan marketlerden satın alınmasına ilişkin karar alma süreci dikkate alınmaktadır. Ürün taşımalarının sıcaklık kontrollü bir araç ile yapıldığı varsayılan problemde ürün satın alma ve araç dolaşım maliyetlerine ek olarak ürünlerin zamana bağlı bozulmalarından kaynaklı maliyetler de göz önünde bulundurulmaktadır. Bu kapsamda problemin amacı ürün satın alma, araç enerji maliyeti (dolaşım ve bekleme) ve zamana bağlı ürün bozulma maliyetlerinin toplamını minimize etmektir. Bu varsayımlar altında SZL-GSAP doğrusal olmayan karışık tamsayı matematiksel programlama modeli olarak formüle edilmiş olup problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Çözüm yönteminin ilk aşamasında probleme özgü geliştirilmiş olan bir çözüm kurucu sezgisel yöntem ile gezgin satın alıcı için kaba bir satın alma ve rota planı oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise ilk aşamada oluşturulmuş olan çözüm, kesin çözüm veren dal-kesim (branch-and-cut) yöntemini kullanan GUROBI çözücüsü ile belirli bir çözüm zamanı limiti ile geliştirilmektedir.

Yapılan çalışma kapsamında, GSAP’ye ilişkin literatürde yer alan mevcut çalışmalar ikinci bölümde verilmiştir. Soğuk zincir lojistiğine dayalı gezgin satın alıcı problemine ilişkin problem tanımı ve matematiksel formülasyonu üçüncü bölümde verilmiştir. Dördüncü bölümde, problemin çözümüne ilişkin geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımı tanımlanmıştır. Geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımının geçerliliğinin ve performansının analiz edilmesine ilişkin sayısal çalışmalar beşinci bölümde verilmiştir. Altıncı bölümde ise çalışmaya ilişkin sonuç ve olası gelecek çalışma konuları yer almaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

GSAP, dikkate alınmış olduğu karar alma süreçleri açısından satın alma ve rotalama planlarını bir arada içermesi nedeniyle son yıllarda birçok akademik çalışmada ve gerçek hayat uygulamasında çalışılan bir problem olmuştur. Bu problem temel alınarak depolama, ulaştırma, telekomünikasyon şebeke tasarımı, çizelgeleme vb. birçok problem matematiksel olarak formüle edilmiştir (Manerba vd., 2017). Bu kapsamda GSAP için farklı varyasyonlar

öne sürülmüştür. Bu varyasyonlardan literatürde en sık çalışılmış olanı kapasitesi GSAP'dir (Boctor vd., 2003). Kapasitesiz GSAP'de her ürün çeşidinin marketlerde talebi karşılayabilecek yeterli miktarın var olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayım altında ürün talebinin tek bir marketten karşılanması söz konusu olduğundan problem, ürün talep miktarlarını bir olarak kabul ederek daha basit hale indirgenebilmektedir. Literatürde GSAP için sıklıkla dikkate alınan diğer bir varyasyon ise iki amaçlı GSAP'dir. İki amaçlı GSAP'de model iki farklı amaç fonksiyonunu (örn: satın alma maliyeti ve dolaşım maliyeti) dikkate almaktadır. Matematiksel model, amaç fonksiyonlarını ayırık olarak ele alarak veya her bir amaç fonksiyonuna ağırlık vererek çözülmektedir (Riera-Ledesma ve Salazar-González, 2005; Almeida vd., 2012). GSAP'de ürün satın alma işlemlerine ilişkin önerilmiş olan diğer bir varyasyon ise dinamik GSAP'dir. Dinamik GSAP'de marketlerde yer alan ürün miktarlarının zamana bağlı olduğu ve zaman ilerledikçe marketlerde yer alan ürün miktarlarının azaldığı varsayılmaktadır (Angelelli vd., 2017). Dinamik GSAP'ye benzer yapıda çalışılan diğer bir GSAP varyasyonu ise ürün fiyatlarının olasılık dağılımlarına göre belirlendiği stokastik GSAP'dir. Stokastik GSAP'de gezgin satın alıcı belirli bir ürüne ait fiyatı marketi ziyaret ettiği zaman öğrenebilmektedir ve satın alma işlemini önerilmiş olan fiyata göre yapmaktadır (Kang ve Ouyang, 2011). Satın alma işlemlerine ait çalışılmış başka bir GSAP varyasyonu ise bütçe kısıtlı GSAP'dir. Problemden toplam satın alma maliyetleri için bir bütçe limiti belirlenmektedir ve satın alınan ürünlerin toplam maliyeti bu limiti aşmamaktadır (Mansini ve Tocchella, 2009). Literatürde sıklıkla çalışılan diğer bir varyasyon ise çok amaçlı GSAP olmuştur. Çok amaçlı GSAP'de satın alma işlemleri için belirli bir menzil veya kapasiteye sahip birden fazla araç kullanılmaktadır (Choi ve Lee, 2011; Riera-Ledesma ve Salazar-González, 2012). Yakın zamanda yapılan çalışmalarda ise çevresel kaygılar dikkate alınarak GSAP, gezgin satın alıcının dolaşımında sera gazı salınımlarını en aza indirecek şekilde genişletilmiştir (Hamdan vd., 2017; Cheaitou vd., 2020).

GSAP, gezgin satıcı problemi, tesis yer seçimi problemi ve küme kaplama problemine ait kararların tümünü içermesi nedeniyle çözüm zorluğu açısından *NP-Zor* sınıfta yer aldığı bilinmektedir (Manerba vd., 2017; Mansini ve Tocchella, 2009). Bu nedenle literatürde GSAP'nin çözümü için bir çok çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu çözüm yaklaşımları temel olarak optimum sonucu garanti eden kesin çözüm yöntemleri ve optimum sonuca yakın sonucu bulmayı hedefleyen sezgisel yöntemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kesin çözüm veren yöntemler arasında dal-sınır, Laporte ve dal-kesim ve dal-ücret algoritmaları sıklıkla kullanılan yöntemler arasındadır (Singh ve van Oudheusden, 1997; Laporte vd., 2003; Riera-Ledesma ve Salazar-González, 2006; Bianchessi vd., 2014; Gendreau vd., 2016; Bianchessi vd., 2021). Bu yaklaşımlara ek olarak Gouveia vd. (2011) ve Kang ve Ouyang (2011) tarafından dinamik programlama ve Cambazard ve Penz (2012) tarafından kısıt programlama yaklaşımları kullanılmıştır. Optimum sonucu bulmayı garanti eden bu yöntemler birçok GSAP varyasyonu için çözüm yöntemi olarak dikkate alınmıştır. Diğer yandan daha kısa işlem zamanları ile optimum veya optimum sonuca yakın çözümler üretebilmek amacıyla GSAP'nin çözümü için birçok sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan ilk çalışmalarda genelleştirilmiş tasarruf algoritması (Golden vd., 1981), tur azaltma algoritması (Ong, 1982) ve ürün ekleme algoritması (Pearn, 1991) olarak adlandırılmış çözüm kurucu yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler GSAP için etkin çözüm üretebilen çözüm kurucu yöntemler olup birçok GSAP varyantının çözümü için geliştirilerek kullanılmıştır (Boctor vd., 2003; Pearn ve Chien, 1998; Teeninga ve Volgenant, 2004). Çözüm kurucu yöntemlere ek olarak daha etkin sonuçlar üretebilmek için meta-sezgisel yöntemler de GSAP'nin çözümü için kullanılmıştır. Bu çalışmalara Voß (1996) tarafından geliştirilmiş olan tabu arama algoritması ve tavlama benzetimi algoritması, Bontoux ve Feillet (2008) tarafından geliştirilmiş olan karınca kolonisi algoritması, Palomo-Martínez ve Salazar-Aguilar (2019) tarafından geliştirilmiş olan değişken komşu çözüm arama algoritması ve Cheaitou vd. (2020) tarafından geliştirilmiş olan genetik algoritma örnek olarak gösterilebilir.

GSAP üzerine yapılmış çalışmalara ek olarak soğuk zincir lojistiğinde rota optimizasyonu konusunda yapılmış olan mevcut çalışmalar dikkate alındığında birçok çalışma, belirli lokasyonlarda bulunan müşterilere bozulabilir ürünlerin merkezi bir depodan dağıtımına ilişkin problemi dikkate almaktadır. Soğuk Zincir Lojistiğinde Araç Rotalama Problemi (SZL-ARP) olarak adlandırılan bu problem, yapılan çalışmalarda farklı kısıtlar dahilinde genişletilmiştir. Hsu vd. (2007) yaptıkları çalışmada SZL-ARP'yi zaman penceresi kısıtları ile genişletmiş ve problemin çözümü için zaman odaklı bir en yakın komşu algoritması geliştirmişlerdir. Chen vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise bozulabilir ürünlerin dağıtımında araç rotalama problemi ve üretim çizelgeleme problemi bir arada dikkate alınmıştır. Amorim vd. (2014) SZL-ARP'yi farklı soğutma özelliklerine ve taşıma kapasitelerine sahip heterojen yapıda bir filo kapsamında genişletmiştir. Yazarlar problemin çözümü için uyarlanabilir geniş komşu arama algoritması geliştirmişlerdir. Wang ve Wen (2020) SZL-ARP'yi benzer varsayımlar altında dikkate almış ve problemin çözümü için uyarlanabilir bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Chen vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise farklı ürün gruplarına yönelik saklama koşulu sağlayan araçlar dikkate alınmıştır. Li vd. (2019) ve Liu vd. (2020) bozulabilir ürün dağıtımını operasyonlarını çevresel faktörleri de dikkate alarak yeşil araç rotalama problemi kapsamında planlamışlardır. Çevresel faktörlerin de dikkate alındığı SZL-ARP'nin çözümü için Li vd. (2019) parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını, Liu vd. (2020) ise tavlama benzetimi algoritmasını kullanmıştır. Song vd. (2020) SZL-ARP'yi araçların toplam enerji tüketim değerlerini minimize edecek şekilde formüle etmiş ve problemin çözümü için bir yapay balık sürüsü algoritması geliştirmişlerdir. Qi ve Hu (2020)

tarafından yapılan çalışmada ise taşıma ve ürün bozulma maliyetleri trafik yol koşulları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Problemin çözümü için yazarlar karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır.

GSAP ve SZL-ARP üzerine bugüne kadar yapılmış olan mevcut çalışmalar dikkate alındığında soğuk zincir lojistiğine ait rota optimizasyonu genel olarak bozulabilir ürünlerin dağıtım işlemine yönelik çalışılmış olup ürünlerin satın alınmasını inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmanın literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır: (1) GSAP soğuk zincir lojistiğine ait bozulabilir ürünlerin taşımalarına dayalı kısıtlar altında ilk olarak incelenmiş ve bu kapsamda GSAP için yeni bir varyasyon önerilmiştir. Diğer yandan SZL-ARP'de genel olarak bozulabilir ürünlerin dağıtım işlemleri dikkate alınırken SZL-GSAP'de bozulabilir ürünlerin satın alınarak tedarik edilmesine ilişkin karar alma süreci dikkate alınmaktadır. (2) Önerilmiş olan çözüm yaklaşımı sezgisel ve kesin çözüm veren iki önemli yöntemi iki aşamalı dikkate alarak gerçek hayat uygulamalarına yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Geliştirilmiş olan bu çözüm yaklaşımı farklı boyutlarda birçok örnek problem üzerinde test edilerek performansı analiz edilmiştir.

3. Problem Tanımı ve Matematiksel Modeli (Problem Definition and Model Formulation)

SZL-GSAP, klasik gezgin satın alıcı probleminin genişletilmiş bir varyasyonu olup satın alma işlemlerinde soğuk zincir ürün taşımalarında ortaya çıkabilecek ürün bozulmalarına ait maliyetler ek olarak dikkate alınmaktadır. SZL-GSAP'de farklı tipte ürünlere ait taleplerin farklı lokasyonlarda bulunan marketlerden satın alınması gerekmektedir. Satın alınacak ürünler iklim koşullarına göre bozulabilir yapıda olup marketlerden alınan ürünler soğutucu özelliğe sahip bir araçta taşınmaktadır. Aracın lokasyonlar arası ulaşım maliyetine ek olarak market noktalarında beklediği sürece ürünleri soğutmak için belirli bir yakıt harcadığı dikkate alınmaktadır. Gezgin satın alıcı, turuna depo noktasından başlamakta ve satın alma işlemlerini bitirdikten sonra depo noktasına geri dönmektedir. Gezgin satın alıcının rotasında her bir market en fazla bir defa ziyaret edilebilmektedir. Her markette bulunan ürün çeşidi ve miktarı farklı olabilmektedir. Ürünlere ait talep miktarları karşılanmak zorunda olup bir ürün için marketlerde bulunan toplam ürün miktarının ilgili ürün talep miktarından fazla olduğu varsayılmaktadır. Problemden amaç, ürünlerin toplam satın alma maliyetlerine ek olarak aracın taşıma ve bekleme anında harcadığı yakıt maliyetlerini minimize etmektir.

Yukarıda tanımlanmış olan SZL-GSAP'ye ait matematiksel model, literatürde yer alan temel GSAP formülasyonu dikkate alınarak ürün taşıma sürelerini ve buna bağlı olarak ürün bozulma maliyetlerini hesaplayacak şekilde geliştirilmiştir. Ürünlerin bozulma maliyetleri, Liu vd. (2020) ve Qi ve Hu (2020) tarafından geliştirilmiş kısıtlara benzer şekilde, ürünlerin taşıma süreleri ve ziyaret edilen noktalarda bekleme süreleri üzerinden hesaplanmıştır. Modelde sıcaklık kontrollü araçların seyir halinde harcadıkları yakıt maliyetine ek olarak market noktalarında beklemeden kaynaklı soğutma maliyetleri de ek olarak dikkate alınmıştır. Bu varsayımlara göre SZL-GSAP için geliştirilmiş olan doğrusal olmayan karışık tamsayılı programlama modeli aşağıda verilmiştir.

Parametreler;

K	Ürünler kümesi
M	Market noktaları kümesi
M_k	k ürününün mevcut olduğu marketler kümesi ($M_k \subseteq M$), $k \in K$
$\{0\}$	Depo noktası
V	Depo ve marketler noktaları kümesi ($M \cup \{0\}$)
d_k	k ürününe ait talep miktarı, $k \in K$
q_{ik}	i marketinde mevcut olan k ürünü miktarı, $k \in K, i \in M_k$
p_{ik}	i marketinde k ürününün fiyatı, $k \in K, i \in M_k$
c_{ij}	i noktasından j noktasında olan taşıma maliyeti, $i, j \in V$
t_{ij}	i noktasından j noktasında olan ulaşım süresi, $i, j \in V$
h_i	i marketinde birim ürün başına satın alma süresi; $i \in M$
θ_1	Ürünlerin taşıma esnasında bir birim zamanda bozulma katsayısı
θ_2	Ürünlerin market noktalarında araç içerisinde bekleme esnasında bir birim zamanda bozulma katsayısı
ϑ	Market noktalarında aracın bir birim zamanda ürünleri soğutma maliyeti
γ	Büyük bir sayı

Karar Değişkenleri;

x_{ij}	Eğer satın alıcı i noktasından j noktasına giderse 1, aksi halde 0; $i, j \in V, i \neq j$
y_i	Eğer market i , satın alıcı tarafından ziyaret edilirse 1, aksi halde 0; $i \in M$
z_{ik}	i marketinden satın alınan k ürünü miktarı; $k \in K, i \in M_k$
r_i	Satın alıcının i noktasına varış zamanı; $i \in V$
s_i	Satın alıcının i marketinde harcadığı zaman; $i \in M$
l_i	Aracın i marketine varmadan önce içerisinde yer alan ürünlerin toplam satın alma maliyeti; $i \in M$

Model;

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in M_k} p_{ik} z_{ik} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in M_k} \theta_1 p_{ik} z_{ik} (r_0 - r_i) + \sum_{i \in M} \theta_2 l_i s_i + \sum_{i \in M} \vartheta s_i \quad (1)$$

S.t.

$$\sum_{i \in M_k} z_{ik} = d_k \quad k \in K \quad (2)$$

$$z_{ik} \leq q_{ik} y_i \quad k \in K, \quad i \in M_k \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} x_{ij} = y_i \quad i \in M \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} x_{ij} = y_j \quad j \in M \quad (5)$$

$$\sum_{i \in M} x_{i0} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{j \in M} x_{0j} = 1 \quad (7)$$

$$t_{0i} \leq r_i + \gamma(1 - x_{0i}) \quad i \in M \quad (8)$$

$$r_i + s_i + t_{ij} \leq r_j + \gamma(1 - x_{ij}) \quad i \in M, \quad j \in V, \quad i \neq j \quad (9)$$

$$s_i = \sum_{k \in K} h_i z_{ik} \quad i \in M \quad (10)$$

$$l_i + \sum_{k \in K} p_{ik} z_{ik} \leq l_j + \gamma(1 - x_{ij}) \quad i, j \in M, \quad i \neq j \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in V, \quad i \neq j \quad (12)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad i \in M \quad (13)$$

$$z_{ik} \geq 0 \quad k \in K, \quad i \in M_k \quad (14)$$

$$r_i \geq 0 \quad i \in V \quad (15)$$

$$s_i, l_i \geq 0 \quad i \in M \quad (16)$$

Geliştirilmiş olan matematiksel modelde denklem (1); toplam taşıma maliyetini, ürünlerin satın alma maliyetini, ürünlerin taşıma ve beklemlerden kaynaklı bozulma maliyetlerini ve aracın soğutma maliyetlerini minimize edecek amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Kısıt (2) her ürün tipine ait talep miktarının karşılanmasını sağlamaktadır. Kısıt (3), bir marketten alınabilecek k ürününün miktarını ilgili markette mevcut olan miktar ile sınırlamaktadır. Kısıt (3) aynı zamanda bir marketten ürün satın alınması durumunda ilgili marketin satın alıcı tarafından ziyaret edilmesini sağlamaktadır. Kısıt (4) ve (5), ürün satın alınan her markete sadece bir defa ziyaret edilmesini garanti etmektedir. Kısıt (6) ve (7), gezgin satın alıcının turuna depo noktasından başlamasını ve satın alma işlemi bittiğinde depoya geri dönmesini sağlamaktadır. Kısıt (8) ve (9), satın alıcının turunda ziyaret ettiği noktalara varış zamanını hesaplamaktadır. Kısıt (10) ziyaret edilen marketlerde satın alıcının geçirdiği süreyi hesaplamaktadır. Kısıt (11) satın alıcının turunda ziyaret edilen marketlere varış anında araç içerisinde yer alan ürünlerin toplam satın alma maliyetini hesaplamaktadır. Kısıt (12)-(16) modele ait karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

4. Çözüm Yöntemi (Solution Methodology)

GSAP, gezgin satıcı probleminin genelleştirilmiş bir varyasyonu olup problemin NP -Zor yapıya sahip olması nedeniyle çözümü büyük boyutlu problemlerde oldukça zor olduğu bilinmektedir. SZL-GSAP, GSAP'de yer alan temel varsayımlara ek olarak soğuk zincir lojistiğinde bozulabilen ürünlerin taşınmasına ilişkin varsayımları da dikkate almaktadır ve bu varsayımlar ile problem doğrusal olmayan ifadeleri içeren bir amaç fonksiyonu ile formüle edilebilmiştir. Bu nedenle SZL-GSAP'nin çözüm zorluğu GSAP'ye daha fazla olacağı ifade edilebilir.

Günümüzde birçok ticari çözücünün konveks (convex) veya konveks olmayan (non-convex) özelliğe sahip doğrusal olmayan matematiksel modeller için optimum sonucu garanti eden veya global optimuma yakın çözümler üretebildiği bilinmektedir. Fakat SZL-GSAP için yapılan ön çalışmalarda bu tür çözücülerin kısa süreler içerisinde uygun bir çözüme dahi erişemediği tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, SZL-GSAP'nin çözümü için iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. Çözüm yaklaşımının ilk aşamasında başlangıç çözüm algoritması (BÇA) olarak adlandırılmış olan bir çözüm kurucu yöntem kullanılarak SZL-GSAP için kaba bir çözüm üretilmektedir. Elde edilen bu çözüm ikinci aşamada GUROBI çözücüsü kullanılarak belirli bir zaman kısıtı dahilinde iyileştirilmektedir.

BÇA, Boctor vd. (2003) tarafından kapasiteli GSAP'nin çözümüne yönelik geliştirilmiş olan ürün ekleme sezgisel (commodity adding heuristic - CAH) yönteminin SZL-GSAP için genişletilmiş halidir. BÇA satın alınacak ürünleri rassal bir sırada seçerek her adımda seçilen ürünün talebini en düşük birim maliyet artışına neden olacak marketi seçerek karşılamaktadır. Algoritmada kullanılan notasyonlar;

X	Gezgin satın alıcının rotası
M^V	Ziyaret edilen marketler kümesi
M^{UV}	Ziyaret edilmemiş marketler kümesi
K^P	Talebi karşılanmış ürünler kümesi
K^{NP}	Talebi karşılanmamış ürünler kümesi
d_k^U	k ürününün karşılanmayan talep miktarı, $k \in K$

BÇA'nın başlangıcında ilk olarak X , M^V ve K^P boş kümeler olup M^{UV} bütün marketleri ve K^{NP} bütün ürünleri içermektedir. Ek olarak her bir k ürünü için $d_k^U = d_k$ olarak belirlenmektedir. Arından algoritmanın her adımında K^{NP} listesi içerisinde bir k ürünü rassal olarak seçilmektedir. Seçilen k ürünü için M^V ve M^{UV} içerisinde k ürünü mevcut olan tüm i marketleri için birim ürün başına maliyet artış değeri uc_{ik} hesaplanmaktadır. Mevcut çözüme ait toplam maliyetin f ve k ürününün alternatif bir i marketinden satın alınması durumunda elde edilecek yeni çözümün toplam maliyetinin f' olması durumunda $uc_{ik} = (f' - f) / \min\{q_{ik}, d_k^U\}$ olarak hesaplanmaktadır. f değerinin hesaplanmasında denklem (1)'de belirtilmiş olan aracın taşıma maliyeti, ürünlerin satın alma maliyeti, ürünlerin taşıma ve beklemelerinden kaynaklı bozulma maliyeti ve aracın soğutma maliyeti dikkate alınmaktadır. i marketinin M^{UV} kümesi içerisinde yer alması durumunda ilgili market, X içerisinde en düşük maliyet artışına neden olacak pozisyona yerleştirilmektedir. $X = \{\emptyset\}$ ise gezgin satın alıcının rotası direkt olarak $X = \{0, i, 0\}$ olarak belirlenir. Aksi halde i marketinin her bir $\{j, j + 1\}$ lokasyonu arasına yerleştirilmesi durumunda elde edilen toplam maliyet üzerinden en düşük maliyetli çözüm belirlenmektedir. i marketinin mevcut rotada bulunan marketler kümesi M^V içerisinde bulunması durumunda ise X rotasında bir değişiklik olmayacaktır. Dikkate alınan k ürünü için tüm alternatif marketlerin değerlendirilmesi durumunda en düşük birim maliyet artışına sahip i^* marketi $i^* = \operatorname{argmin}_{i \in M^V \cup M^{UV}} \{uc_{ik}\}$ olarak belirlenmektedir. Seçilen i^* marketinden $\min\{q_{i^*k}, d_k^U\}$ miktarında k ürünü satın alınarak K^P , M^V , M^{UV} , K^P , K^{NP} ve d_k^U güncellenmektedir. Seçilen k ürünü için $d_k^U = 0$ oluncaya kadar marketler yukarıda belirtildiği gibi değerlendirilerek satın alma işlemine devam edilmektedir. Algoritma bütün ürünlerin talebinin karşılanması durumunda sonlanmaktadır. BÇA'ya ait sözde kod Şekil 1'de verilmiştir.

Çözüm yaklaşımının ikinci aşamasında, BÇA ile elde edilen çözüm (çözüme ait rota bilgisi X ve ürün satın alma bilgisi z_{ik}) GUROBI çözücüsüne bir başlangıç çözümü olarak verilmektedir. Bu çözüm GUROBI çözücüsü ile kullanıcı tarafından belirlenen bir zaman kısıtı boyunca iyileştirilmektedir. Belirlenmiş olan çözüm zamanı sonunda probleme ait optimum çözüm veya bir üst sınır değeri elde edilmektedir. Elde edilen sonuç, çözüme ait optimalite aralığı (%Gap) üzerinden değerlendirilebilmektedir.

```

1:  $X = \emptyset, M^V = \emptyset, M^{UV} = M, K^P = \emptyset, K^{NP} = K$ 
2:  $d_k^U = d_k, k \in K$ 
3:  $f = 0$ 
4: Do
5:    $K^{NP}$  kümesi içerisinde rassal olarak bir  $k$  ürünü belirle
6:   Do
7:     For Each  $i$  in  $M^V \cup M^{UV}$ 
8:       If  $i \in M^V$  Then
9:          $k$  ürününün  $i$  marketinden satın alınması durumunda  $f'$  hesapla
10:      Else If  $i \in M^{UV}$  Then
11:         $k$  ürününün  $i$  marketinden satın alınması durumunda  $i$  marketinin  $X$  içerisinde yerleştirileceği en iyi pozisyonu belirle ve  $f'$  hesapla
12:      End If
13:       $uc_{ik} = (f' - f) / \min\{q_{ik}, d_k^U\}$ 
14:      Next
15:       $i^* = \operatorname{argmin}_{i \in M^V \cup M^{UV}} \{uc_{ik}\}$ 
16:       $\min\{q_{i^*k}, d_k^U\}$  miktarında  $k$  ürününü  $i^*$  marketinden satın al
17:       $z_{i^*k} = \min\{q_{i^*k}, d_k^U\}$ 
18:       $d_k^U = d_k^U - z_{i^*k}$ 
19:      If  $d_k^U = 0$  Then
20:         $k$  ürününü  $K^{NP}$  kümesinden  $K^P$  kümesine aktar
21:      End If
22:      If  $i^* \in M^{UV}$  Then
23:         $i^*$  marketini  $X$  rotası içerisinde belirlenmiş olan en iyi pozisyona yerleştir
24:         $i^*$  marketini  $M^{UV}$  kümesinden  $M^V$  kümesine aktar
25:      End If
26:    Loop Until  $d_k^U = 0$ 
27:  Loop Until  $K^{NP} = \emptyset$ 

```

Şekil 1. Başlangıç Çözüm Algoritmasına Ait Sözcük Kod (Pseudo Code of the Initial Solution Construction Algorithm)

5. Sonuçlar (Results)

SZL-GSAP için geliştirilmiş olan iki aşamalı çözüm yönteminin geçerliliği ve etkinliği, Laporte vd. (2003) tarafından tasarlanan ve "<http://jriera.webs.ull.es/TPP.htm>" internet sayfası üzerinden erişim sağlanabilen GSAP problem seti kullanılarak test edilmiştir. Laporte vd. (2003) tarafından geliştirilmiş olan problem seti, kapasiteli/kapasitesiz ve simetrik/asimetrik GSAP problemleri için dört farklı gruba ayrılmaktadır. Her bir sınıfta $|V|$ ve $|K|$ değerlerine bağlı olarak farklı büyüklükte problemler yer almaktadır. Problem büyüklüğü lokasyon ve ürün sayısına göre değişmekle birlikte her bir $(|V|, |K|)$ büyüklüğüne sahip problem seti, talep edilen ürünlerin bulunduğu market sayısını kontrol eden λ parametresine göre çeşitlendirilmiştir. Dikkate alınan üç farklı parametre üzerinden her $(|V|, |K|, \lambda)$ seti için beş farklı örnek problem üretilmiştir.

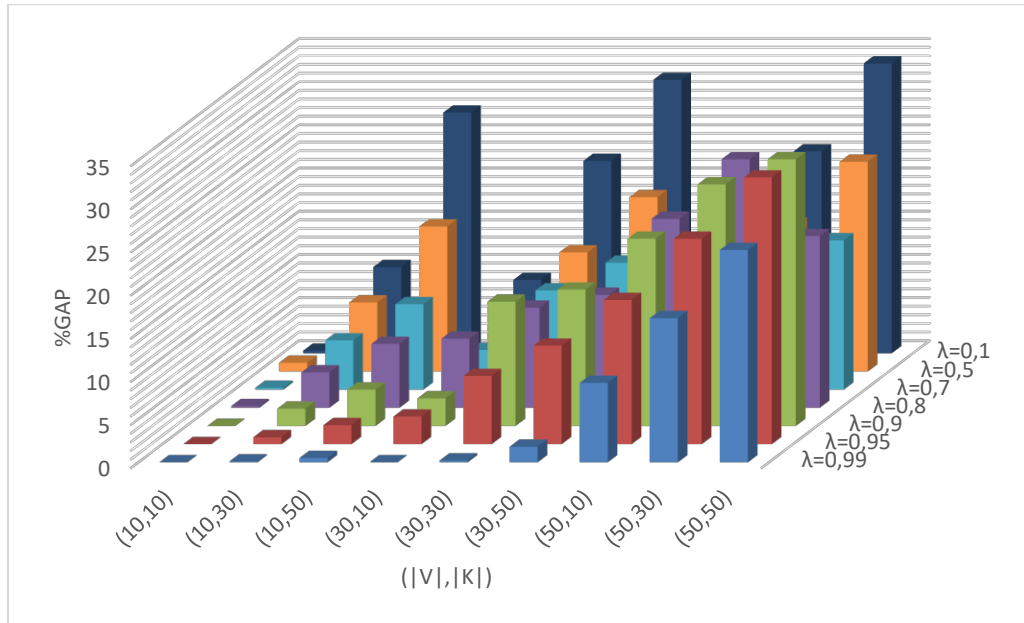
Yapılan bu çalışmada kapasiteli ve simetrik GSAP için geliştirilmiş olan ve büyüklüğü $(|V|, |K|) = (50, 50)$ olan problemler kullanılmış ve her bir problem; lokasyonlar arası ulaşım süreleri, satın alma süreleri, ürün bozulma ve araç soğutma maliyetleri eklenerek SZL-GSAP için kullanılabilir hale getirilmiştir. Çalışmada, optimum sonucun elde edilebileceği daha küçük boyutlu problemler elde edebilmek için $|V| = \{10, 30, 50\}$ ve $|K| = \{10, 30, 50\}$ alınarak problem seti genişletilmiş ve SZL-GSAP için 315 problem üretilmiştir. Problem setinde $t_{ij} = c_{ij}$, $h_i = 1$, $\theta_1 = \theta_2 = 0.00005$ ve $\vartheta = 0.01$ olarak varsayılmıştır. Üretilmiş olan problemler için BÇA ile başlangıç çözümü elde edildikten sonra GUROBI 9.1.2 çözücü kullanılarak Intel® Xeon® CPU E5-2643 v3 3.4 GHz işlemci ve 64 GB belleğe sahip bilgisayar üzerinde bir saatlik süre kısıtı ile nihai çözüm elde edilmiştir. Bir saatlik süre sonunda optimum sonuca ulaşamayan problemler için GUROBI ile elde edilen tam sayılı çözümler verilmiştir.

Sayısal uygulamalar sonucunda elde edilen çözümler problem büyüklüklerine göre sınıflandırılarak Tablo 1'de gösterilmiş olup detaylı çözüm sonuçları Tablo Ek 1-3'de verilmiştir. Tablolarda verilmiş olan $|V|, |K|$ ve λ problem tipini göstermekte olup BÇA ile elde edilen sonuç $f(BÇA)$, GUROBI ile elde edilen tam sayılı çözüm $f(GRB)$, GUROBI ile elde edilen çözüme ait optimalite aralığı %Gap ve çözüm zamanı CPU ile gösterilmiştir. Tablo 1'de verilmiş olan sonuçlar dikkate alındığında, geliştirilmiş olan çözüm yönteminin özellikle market sayısının ve ürün çeşitliliğinin az olduğu problemler için optimum sonucu veya optimum sonuca yakın çözümler ürettiği tespit edilmiştir. Daha büyük boyutlu problemlerde ise özellikle ürün çeşitliliğinin az olduğu örnekler için elde edilen sonuçlara ait %Gap değerlerinin, ürün çeşitliliğinin fazla olduğu örneklere göre daha kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Tablo 1. SZL-GSAP İçin Elde Edilen Sonuçlar (Results for the SZL-GSAP Instances)

V	λ	K = 10				K = 30				K = 50			
		$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU
10	0.1	8884.4	8602.0	0.3	2241.9	27600.6	24244.8	10.0	3600.0	50403.8	35921.2	27.9	3600.0
	0.5	5108.7	4757.5	1.0	3600.0	13430.9	11417.6	8.0	3600.0	22245.2	17335.7	16.8	3600.0
	0.7	3239.4	3095.5	0.2	2229.1	7688.7	6835.9	5.7	3600.0	12246.9	10247.0	9.9	3600.0
	0.8	2577.9	2448.1	0.2	1959.2	5457.5	4772.6	4.1	2880.1	8472.0	6898.6	7.4	3600.0
	0.9	1861.4	1705.4	0.0	53.2	3219.0	2847.9	2.0	3600.0	4462.7	3910.0	4.2	3600.0
	0.95	1458.6	1380.6	0.0	1.4	2525.1	2203.1	0.8	2891.2	3093.5	2769.3	2.2	3600.0
	0.99	1123.3	1106.1	0.0	0.8	1839.2	1558.5	0.1	2163.4	1979.3	1807.9	0.5	3600.0
	30	0.1	11378.4	9837.2	8.5	3600.0	32329.2	24039.4	22.3	3600.0	56372.5	37731.2	31.7
0.5		5979.0	5208.3	5.0	3600.0	14254.4	10901.0	13.8	3600.0	23380.8	15862.6	20.2	3600.0
0.7		3836.3	3340.3	4.6	3600.0	8481.2	6416.9	11.5	3600.0	12422.2	8902.8	14.7	3600.0
0.8		2986.5	2527.1	8.0	3600.0	5855.3	4375.3	11.6	3600.0	7762.1	5855.6	13.1	3600.0
0.9		2296.4	1877.1	3.2	2768.2	3497.6	2687.9	14.4	3600.0	4748.1	3267.4	15.8	3600.0
0.95		1606.3	1388.9	3.2	748.9	2569.7	1879.7	7.9	3600.0	2930.1	2182.4	11.4	3600.0
0.99		1268.7	1025.1	0.0	12.6	1757.2	1495.9	0.2	2635.6	1847.7	1643.6	1.8	3600.0
50		0.1	13994.2	11568.1	12.0	3600.0	39007.1	28192.3	23.4	3600.0	69054.2	44208.1	33.6
	0.5	7412.9	5848.5	14.2	3600.0	17793.1	11817.2	17.0	3600.0	27682.6	16821.5	24.3	3600.0
	0.7	4733.0	3499.2	13.5	3600.0	9502.7	6451.2	17.1	3600.0	13525.8	8576.6	17.3	3600.0
	0.8	3296.3	2454.1	21.9	3600.0	6278.4	4154.9	28.8	3600.0	8450.4	5471.3	19.9	3600.0
	0.9	2123.6	1568.1	21.7	3600.0	3586.6	2364.6	28.0	3600.0	4865.3	2940.8	30.9	3600.0
	0.95	1769.5	1253.8	16.7	2604.5	2607.0	1675.8	23.8	3600.0	3013.7	1892.8	30.9	3600.0
	0.99	1323.2	1132.0	9.2	1561.1	2047.1	1367.8	16.7	3421.4	2248.6	1451.5	24.6	3600.0

SZL-GSAP için elde edilen çözümlere etki eden diğer bir faktör ise problemde ürünlerin var olduğu market sayısını kontrol eden λ parametresidir. Şekil 2'de λ değerine göre elde edilen %Gap değerleri problem büyüklüklerine göre sınıflandırılarak gösterilmiştir. $(|V|, |K|) = (10, 10)$ olan problemlerde λ değeri değişse de birçok problem için %Gap değeri sıfır veya sıfıra yakın elde edilmiştir. $(|V|, |K|) = \{(10, 30), (10, 50)\}$ olan problem büyüklüklerinde ise λ değeri azaldıkça sonuçlara ait optimalite aralığının arttığı görülmüştür. Daha büyük boyutlu problemlerde $\lambda = \{0.8, 0.7\}$ için elde edilen %Gap değerleri, $\lambda = \{0.99, 0.95\}$ için elde edilen %Gap değerlerine göre kısmen düşük olsa da λ değeri 0.1'e doğru yaklaştıkça elde edilen optimalite aralıkları daha yüksek olmuştur.

**Şekil 2.** λ Değerinin SZL-GSAP Çözümleri Üzerine Olan Etkisi (Effect of the λ on the SZL-GSAP Solutions)

Tablo 1'de verilmiş olan sonuçlara ek olarak Tablo 2'de, GUROBI çözücüsü ile her bir problem büyüklüğüne ait beş örnek için elde edilen optimum sonuç sayıları $\#Opt$ ile gösterilmiştir. Problem büyüklüklerine bağlı olarak bu sayılar değerlendirildiğinde problemde $|V|$ ve $|K|$ değerlerinin artması optimum sonuca ulaşmayı zorlaştırırken, özellikle $|K| = 10$ olan problem büyüklükleri için geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımının optimum sonuca erişmekte daha başarılı olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Çözüm Yaklaşımının Performans Analizi (Performance Analyses of the Solution Approach)

V	λ	K = 10		K = 30		K = 50	
		%Imp	#Opt	%Imp	#Opt	%Imp	#Opt
10	0.1	3.1	2	11.3	0	28.6	0
	0.5	6.7	0	14.6	0	21.8	0
	0.7	4.2	3	10.9	0	16.2	0
	0.8	5.1	3	11.9	0	18.4	0
	0.9	7.0	5	10.5	0	11.7	0
	0.95	4.9	5	11.1	1	10.1	0
	0.99	1.6	5	13.5	3	8.2	0
30	0.1	13.5	0	25.4	0	33.0	0
	0.5	12.7	0	23.2	0	32.1	0
	0.7	12.2	0	23.6	0	28.1	0
	0.8	14.7	0	24.3	0	24.4	0
	0.9	16.9	2	22.4	0	30.2	0
	0.95	12.5	4	25.6	0	24.6	0
	0.99	13.1	5	14.6	2	11.6	0
50	0.1	17.3	0	27.6	0	35.8	0
	0.5	20.9	0	33.5	0	39.2	0
	0.7	25.2	0	31.5	0	36.5	0
	0.8	24.8	0	33.8	0	35.2	0
	0.9	24.5	0	33.6	0	39.1	0
	0.95	26.8	2	35.1	0	36.0	0
	0.99	13.8	3	30.2	1	33.2	0

Tablo 2’de ek olarak GUROBI’den elde edilen nihai sonuçlar ile BÇA sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için $f(BÇA)$ ile $f(GRB)$ arasındaki yüzdelik iyileşme oranı denklem (17) ile verilmiş olan %Imp üzerinden hesaplanmıştır. GUROBI ile elde edilen iyileşme oranları dikkate alındığında özellikle market sayısının ve ürün çeşidi sayısının 30’un üzerinde olduğu problemler için BÇA ile elde edilen çözümler ortalama %25’in üzerinde iyileştirilmiştir. Küçük boyutlu problemlerde ise BÇA’nın optimum sonuçlara yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür.

$$\%Imp = \frac{f(BÇA) - f(GRB)}{f(BÇA)} \times 100 \quad (17)$$

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yapılan çalışmada literatürde iyi bilinen gezgin satın alıcı problemi, soğuk zincir lojistiğine dayalı olarak genişletilmiş ve bozulabilir ürünler için taşıma kısıtları dikkate alınarak probleme ait yeni bir varyasyon sunulmuştur. Soğuk zincir lojistiğinde gezgin satın alıcı problemi (SZL-GSAP) olarak adlandırılmış olan problem, doğrusal olmayan karışık tamsayı matematiksel model olarak formüle edilmiştir. Problemin çözüm zorluğu nedeniyle çalışmada sezgisel bir yöntem ile entegre edilmiş iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Çözüm yaklaşımının ilk aşamasında çözüm kurucu bir yöntem kullanılarak kaba bir sonuç elde edilirken ikinci aşamada elde edilen bu çözüm GUROBI çözücü ile belirli bir çözüm zamanı sınırı ile geliştirilmektedir. Geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımının geçerliliği ve etkinliği, farklı büyüklüklere sahip örnekleri içeren problem seti üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımının özellikle ürün çeşitliliğinin az olduğu problemler için optimum veya optimuma yakın sonuçlar elde ettiğini göstermiştir. Diğer yandan, ürün çeşitliliği daha fazla olan problemler için bir saatlik zaman kısıtı içerisinde elde edilen sonuçların genel olarak makul bir optimalite aralığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Gerçek hayat uygulamaları dikkate alındığında geliştirilmiş olan çözüm yaklaşımı; özellikle ürün çeşitliliğinin ve market sayısının düşük olduğu uygulamalarda optimum veya optimuma yakın elde edeceği çözümler ile toplam taşıma, ürün satın alma ve ürün bozulma maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlayabilecektir. Diğer yandan geliştirilmiş olan matematiksel modelin doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonu içeriyor olması büyük boyutlu problemlerde yüksek kalitede çözümlere ulaşmayı zorlaştıran önemli bir faktördür. Operasyonel bir karar alma süreci olarak dikkate alınan bu probleme ait yapılacak gelecek çalışmalar kapsamında daha kısa işlem zamanı ile etkin sonuç üretebilecek meta-sezgisel veya melez bir çözüm yaklaşımı geliştirilebilir. Özellikle literatürde GSAP için geliştirilmiş ve çözüm kalitesi açısından etkinliği kanıtlanmış meta-sezgisel algoritmalar dikkate alınarak algoritmaya ait operatörler SZL-GSAP kısıtlarına dayalı olarak genişletilebilir. Diğer yandan yapılmış olan bu çalışmada dikkate alınan problem, soğuk zincir lojistiğinde ürün alımlarına ve taşımalarına ait daha gerçekçi varsayımlar dikkate alınarak geliştirilebilir. Özellikle bozulma süresi kısa olan ürünler dikkate alındığında problem; ürünlerin üretim zamanları, farklı ürün kalite seviyeleri veya rota sonunda ürünler için beklenen minimum kalite seviyesi kısıtları dahilinde genişletilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Almeida, C.P., Gonçalves, R.A., Goldberg, E.F., Goldberg, M.C., Delgado, M.R., 2012. An Experimental Analysis of Evolutionary Heuristics for the Biobjective Traveling Purchaser Problem. *Annals of Operations Research*, 199(1), 305-341.
- Amorim, P., Parragh, S.N., Sperandio, F., Almada-Lobo, B., 2014. A Rich Vehicle Routing Problem Dealing with Perishable Food: A Case Study. *TOP*, 22, 489-508.
- Angelelli, E., Gendreau, M., Mansini, R., Vindigni, M., 2017. The Traveling Purchaser Problem with Time-Dependent Quantities. *Computers & Operations Research*, 82, 15-26.
- Awad, M., Ndiaye, M., Osman, A., 2021. Vehicle Routing in Cold Food Supply Chain Logistics: A Literature Review. *The International Journal of Logistics Management*, 32(2), 592-617.
- Bianchessi, N., Irnich, S., Tilk, C., 2021. A Branch-Price-and-Cut Algorithm for the Capacitated Multiple Vehicle Traveling Purchaser Problem with Unitary Demand. *Discrete Applied Mathematics*, 288, 152-170.
- Bianchessi, N., Mansini, R., Speranza, M.G., 2014. The Distance Constrained Multiple Vehicle Traveling Purchaser Problem. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 73-87.
- Boctor, F.F., Laporte, G., Renaud, J., 2003. Heuristics for the Traveling Purchaser Problem. *Computers & Operations Research*, 30, 491-504.
- Bontoux, B., Feillet, D., 2008. Ant Colony Optimization for the Traveling Purchaser Problem. *Computers & Operations Research*, 35(2), 628-637.
- Cambazard, H., Penz, B., 2012. A Constraint Programming Approach for the Traveling Purchaser Problem. *Principles and Practice of Constraint Programming – CP 2004* (pp. 735-749). Springer.
- Cheaitou, A., Hamdan, S., Larbi, R., Alsyof, I., 2020. Sustainable Traveling Purchaser Problem with Speed Optimization. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-20.
- Chen, H.-K., Hsueh, C.-F., Chang, M.-S. 2009. Production Scheduling and Vehicle Routing with Time Windows for Perishable Food Products. *Computers & Operations Research*, 36, 2311-2319.
- Chen, L., Liu, Y., Langevin, A. 2019. A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem in Cold-Chain Distribution. *Computers & Operations Research*, 111, 58-66.
- Choi, M.J., Lee, S.H., 2011. The Multiple Traveling Purchaser Problem for Maximizing System's Reliability with Budget Constraints. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9848-9853.
- Gendreau, M., Manerba, D., Mansini, R., 2016. The Multi-Vehicle Traveling Purchaser Problem with Pairwise Incompatibility Constraints and Unitary Demands: A Branch-and-Price Approach. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 59-71.
- Golden, B., Levy, L., Dahl, R., 1981. Two Generalizations of the Traveling Salesman Problem. *Omega*, 9(4), 439-441.
- Gouveia, L., Paia, A., Voß, S., 2011. Models for a Traveling Purchaser Problem with Additional Side Constraints. *Computers & Operations Research*, 38(2), 550-558.
- Hamdan, S., Larbi, R., Cheaitou, A., Alsyof, I., 2017. Green Traveling Purchaser Problem Model: A Bi-Objective Optimization Approach. *7th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO)*, Sharjah, United Arab Emirates, 4-6 Nisan.
- Hsu, C.-I., Hung, S.-F., Li, H.-C., 2007. Vehicle Routing Problem with Time Windows for Perishable Food Delivery. *Journal of Food Engineering*, 80, 465-475.
- Kang, S., Ouyang, Y., 2011. The Traveling Purchaser Problem with Stochastic Prices: Exact and Approximate Algorithms. *European Journal of Operational Research*, 209(3), 265-272.
- Laporte, G., Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.-J., 2003. A Branch-and-Cut Algorithm for the Undirected Traveling Purchaser Problem. *Operations Research*, 51(6), 940-951.
- Li, Y., Lim, M.K., Tseng, M.-L. 2019. A Green Vehicle Routing Model Based on Modified Particle Swarm Optimization for Cold Chain Logistics. *Industrial Management & Data Systems*, 119(3), 473-494.
- Liu, G., Hu, J., Yang, Y., Xia, S., Lim, M.K. 2020. Vehicle Routing Problem in Cold Chain Logistics: A Joint Distribution Model with Carbon Trading Mechanisms. *Resources, Conservation & Recycling*, 156, 104715.
- Manerba, D., Mansini, R., Riera-Ledesma, J., 2017. The Traveling Purchaser Problem and Its Variations. *European Journal of Operational Research*, 259(1), 1-18.
- Mansini, R., Tocchella, B., 2009. The Traveling Purchaser Problem with Budget Constraint. *Computers & Operations Research*, 36(7), 2263-2274.
- Ong, H.L., 1982. Approximate Algorithms for the Travelling Purchaser Problem. *Operations Research Letters*, 1(5), 201-205.
- Osvald, A., Stirn, L.Z., 2008. A Vehicle Routing Algorithm for the Distribution of Fresh Vegetables and Similar Perishable Food. *Journal of Food Engineering*, 85, 285-295.
- Palomo-Martínez, P.J., Salazar-Aguilar, M.A., 2019. The Bi-objective Traveling Purchaser Problem with Deliveries. *European Journal of Operational Research*, 273(2), 608-622.
- Pearn, W.L. 1991. On the Traveling Purchaser Problem. *Teknik Rapor*.
- Pearn, W.L., Chien, R., 1998. Improved Solutions for the Traveling Purchaser Problem. *Computers & Operations Research*, 25(11), 879-885.
- Qi, C., Hu, L., 2020. Optimization of Vehicle Routing Problem for Emergency Cold Chain Logistics Based on Minimum Loss. *Physical Communication*, 40, 101085.

- Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J. J., 2005. The Biobjective Travelling Purchaser Problem. *European Journal of Operational Research*, 160(3), 599-613.
- Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.-J., 2006. Solving the Asymmetric Traveling Purchaser Problem. *Annals of Operations Research*, 144(1), 83-97.
- Riera-Ledesma, J., Salazar-González, J.-J., 2012. Solving School Bus Routing Using the Multiple Vehicle Traveling Purchaser Problem: A Branch-and-Cut Approach. *Computers & Operations Research*, 39(2), 391-404.
- Singh, K.N., van Oudheusden, D.L., 1997. A Branch and Bound Algorithm for the Traveling Purchaser Problem. *European Journal of Operational Research*, 97(3), 571-579.
- Song, M.-X., Li, J.-Q., Han, Y.-Q., Han, Y.-Y., Liu, L.-L., Sun, Q. 2020. Metaheuristics for Solving the Vehicle Routing Problem with the Time Windows and Energy Consumption in Cold Chain Logistics. *Applied Soft Computing Journal*, 95, 106561.
- Teeninga, A., Volgenant, A., 2004. Improved Heuristics for the Traveling Purchaser Problem. *Computers & Operations Research*, 31(1), 139-150.
- Voß, S., 1996. Dynamic Tabu Search Strategies for the Traveling Purchaser Problem. *Annals of Operations Research*, 63(2), 253-275.
- Wang, Z., Wen, P., 2020. Optimization of a Low-Carbon Two-Echelon Heterogeneous-Fleet Vehicle Routing for Cold Chain Logistics under Mixed Time Window. *Sustainability*, 2020, 1-22.
- Zhang, L., Gao, Y., Sun, Y., Fei, T., Wang, Y. 2019. Application on Cold Chain Logistics Routing Optimization Based on Improved Genetic Algorithm. *Automatic Control and Computer Sciences*, 53(2), 169-180.

Ekler (Appendices)

Tablo Ek 1. $|V| = 10$ Büyüklüğünde SZL-GSAP Problemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar (Results for the SZL-GSAP Instances of Size $|V| = 10$)

λ	Problem No	$ K = 10$				$ K = 30$				$ K = 50$			
		$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU
0.1	1	7199.4	6977.7	0.0	34.4	22050.1	21241.5	1.9	3600.0	53256.3	38084.2	28.3	3600.0
	2	9146.6	8780.5	0.1	3600.0	33805.5	27345.4	19.0	3600.0	58718.0	40329.5	30.2	3600.0
	3	10190.2	9698.3	0.0	375.0	25015.3	23889.6	1.3	3600.0	49090.6	35152.0	27.0	3600.0
	4	8287.9	8247.2	0.3	3600.0	27461.6	23310.7	13.6	3600.0	47204.1	33919.9	27.9	3600.0
	5	9598.2	9306.5	1.3	3600.0	29670.5	25436.9	14.0	3600.0	43749.9	32120.3	26.0	3600.0
0.5	1	4200.6	4121.3	0.6	3600.0	10486.5	9351.7	6.8	3600.0	23208.1	18248.4	16.9	3600.0
	2	4929.6	4637.2	1.4	3600.0	16137.4	13766.6	8.1	3600.0	26199.1	19027.2	18.5	3600.0
	3	5729.4	5332.0	0.6	3600.0	12813.3	10605.6	6.7	3600.0	21502.0	17184.7	17.1	3600.0
	4	4787.8	4244.9	0.8	3600.0	12473.3	11252.2	8.0	3600.0	20997.0	16380.6	17.0	3600.0
	5	5896.1	5452.3	1.6	3600.0	15244.0	12111.7	10.6	3600.0	19319.9	15837.6	14.7	3600.0
0.7	1	2698.2	2697.9	0.0	135.5	6239.2	5739.5	4.8	3600.0	12395.6	10618.7	10.0	3600.0
	2	3205.7	3134.7	0.1	3600.0	8829.8	7961.9	6.7	3600.0	14215.7	11470.1	11.5	3600.0
	3	3586.0	3376.2	0.6	3600.0	7040.4	6262.1	4.5	3600.0	11852.0	10196.7	9.6	3600.0
	4	2968.8	2765.7	0.0	209.9	7682.0	6743.8	5.9	3600.0	11200.8	9444.7	9.0	3600.0
	5	3738.2	3502.7	0.2	3600.0	8652.1	7472.0	6.6	3600.0	11570.6	9505.0	9.7	3600.0
0.8	1	2656.4	2543.7	0.3	3600.0	4907.0	4301.2	3.2	3600.0	9343.4	7148.2	7.5	3600.0
	2	2558.1	2487.0	0.0	13.8	5800.8	5487.3	4.0	0.0	9249.7	7655.4	7.7	3600.0
	3	2583.3	2270.1	0.6	3600.0	4326.0	4040.1	3.6	3600.0	8366.3	6718.8	7.8	3600.0
	4	2234.6	2124.3	0.0	130.3	5375.3	4694.5	4.4	3600.0	7505.3	6313.3	7.3	3600.0
	5	2856.8	2815.5	0.0	2451.9	6878.5	5339.6	5.0	3600.0	7895.3	6657.3	6.9	3600.0
0.9	1	1690.4	1623.1	0.0	1.2	2845.3	2540.9	1.8	3600.0	4899.0	4008.2	4.4	3600.0
	2	2095.1	1831.0	0.0	1.5	3960.6	3235.8	2.0	3600.0	4919.0	4424.0	4.4	3600.0
	3	1350.6	1337.9	0.0	196.4	2181.2	2141.1	1.8	3600.0	3519.3	3382.6	3.9	3600.0
	4	1541.0	1500.0	0.0	2.8	3091.8	2832.4	2.0	3600.0	3915.0	3618.4	4.1	3600.0
	5	2629.8	2235.1	0.0	64.0	4016.0	3489.5	2.5	3600.0	5061.4	4116.7	4.0	3600.0

0.95	1	1436.8	1421.7	0.0	1.0	2037.5	1957.7	0.5	3600.0	3055.0	2684.2	2.2	3600.0
	2	1623.0	1269.6	0.0	0.6	2397.0	2338.3	1.2	3600.0	2980.7	2899.8	2.2	3600.0
	3	1323.0	1306.3	0.0	1.3	2868.1	2155.7	1.0	3600.0	3225.1	2859.4	2.1	3600.0
	4	1055.8	1055.8	0.0	0.6	2039.6	1987.7	1.2	3600.0	2672.5	2507.9	2.2	3600.0
	5	1854.6	1849.8	0.0	3.5	3283.4	2576.3	0.0	55.8	3534.1	2895.3	2.1	3600.0
0.99	1	1064.7	1053.0	0.0	0.4	1498.9	1465.0	0.0	7.6	1715.3	1666.3	0.5	3600.0
	2	1145.5	1085.6	0.0	0.4	1601.1	1359.8	0.2	3600.0	1974.0	1689.3	0.6	3600.0
	3	921.4	921.4	0.0	1.2	2302.7	1686.7	0.2	3600.0	2025.3	1995.2	0.4	3600.0
	4	907.3	893.2	0.0	0.4	1478.9	1417.7	0.1	3600.0	1786.6	1670.2	0.5	3600.0
	5	1577.5	1577.5	0.0	1.3	2314.3	1863.3	0.0	9.7	2395.3	2018.6	0.4	3600.0

Tablo Ek 2. $|V| = 30$ Büyüklüğünde SZL-GSAP Problemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar (Results for the SZL-GSAP Instances of Size $|V| = 30$)

λ	Problem No	$ K = 10$				$ K = 30$				$ K = 50$			
		$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU
0.1	1	10466.3	9093.2	7.5	3600.0	27675.1	21215.7	21.0	3600.0	60772.8	40330.0	32.6	3600.0
	2	11011.5	9442.5	8.8	3600.0	37820.0	27442.1	24.7	3600.0	63566.0	41761.3	33.5	3600.0
	3	11382.3	9904.6	8.9	3600.0	28748.3	21578.6	20.7	3600.0	55268.9	36356.0	30.9	3600.0
	4	11347.5	9839.6	8.3	3600.0	31794.8	24234.2	22.1	3600.0	53264.4	36151.0	31.5	3600.0
	5	12684.5	10906.0	9.1	3600.0	35607.7	25726.6	22.8	3600.0	48990.6	34057.8	29.9	3600.0
0.5	1	5206.4	4853.0	4.2	3600.0	14303.8	9808.1	13.1	3600.0	24394.0	16550.5	21.6	3600.0
	2	5712.5	4998.2	4.2	3600.0	15793.0	12304.6	14.7	3600.0	25682.5	17482.4	21.1	3600.0
	3	6223.8	5263.3	4.3	3600.0	11457.1	9762.6	11.8	3600.0	21311.9	15134.6	20.0	3600.0
	4	5966.4	5106.8	7.3	3600.0	14477.6	11028.5	15.2	3600.0	23948.8	15388.1	19.0	3600.0
	5	6786.0	5820.0	5.0	3600.0	15240.7	11601.4	14.3	3600.0	21566.6	14757.6	19.3	3600.0
0.7	1	3184.6	2958.0	2.3	3600.0	7229.7	5514.2	12.0	3600.0	13265.6	8828.0	18.2	3600.0
	2	3792.7	3310.9	1.9	3600.0	8746.1	6991.4	15.3	3600.0	12994.2	9890.4	14.6	3600.0
	3	3357.5	3155.2	2.6	3600.0	7311.9	5976.9	6.7	3600.0	13046.7	8684.4	12.7	3600.0
	4	3871.0	3256.4	7.5	3600.0	8370.9	6662.4	11.2	3600.0	11670.2	8756.1	12.4	3600.0
	5	4975.6	4021.1	8.8	3600.0	10747.7	6939.6	12.3	3600.0	11134.4	8354.9	15.4	3600.0
0.8	1	3150.1	2543.1	14.3	3600.0	5070.6	4011.2	13.7	3600.0	8518.5	5833.2	16.0	3600.0
	2	2959.7	2423.3	8.3	3600.0	6253.7	4629.1	15.7	3600.0	8054.6	6358.7	15.9	3600.0
	3	2387.8	2254.6	1.6	3600.0	5250.4	4198.3	4.0	3600.0	7443.4	5918.3	8.1	3600.0
	4	2770.7	2438.5	1.7	3600.0	5231.5	4270.3	10.6	3600.0	7120.1	5568.9	11.7	3600.0
	5	3664.0	2975.8	14.2	3600.0	7470.6	4767.4	14.1	3600.0	7674.0	5598.9	13.5	3600.0
0.9	1	2927.0	2167.4	14.2	3600.0	3716.1	2555.5	20.8	3600.0	5347.5	3156.9	24.3	3600.0
	2	2216.3	1909.1	0.0	432.3	3571.4	2731.0	15.5	3600.0	4872.2	3226.7	18.3	3600.0
	3	1622.0	1562.7	0.0	2608.5	2937.9	2765.2	1.8	3600.0	4895.6	3501.0	7.4	3600.0
	4	1949.3	1550.8	0.8	3600.0	3422.8	2579.0	12.3	3600.0	3733.9	3196.3	7.8	3600.0
	5	2767.3	2195.5	0.9	3600.0	3839.6	2808.8	21.6	3600.0	4891.6	3256.0	21.1	3600.0
0.95	1	2537.1	1961.6	16.1	3600.0	2971.4	2166.2	19.7	3600.0	3209.2	2338.7	22.9	3600.0
	2	1022.9	861.1	0.0	22.5	1527.0	1322.4	1.4	3600.0	2056.7	1694.4	2.2	3600.0
	3	1508.2	1280.4	0.0	54.1	2577.7	1942.7	1.1	3600.0	2671.8	2040.9	13.9	3600.0

	4	1367.2	1248.5	0.0	29.2	2511.6	1679.8	0.9	3600.0	2857.8	2193.8	1.2	3600.0
	5	1596.0	1592.7	0.0	38.8	3260.9	2287.4	16.5	3600.0	3854.8	2644.2	17.0	3600.0
0.99	1	2242.7	1490.3	0.0	36.0	1975.3	1607.7	0.3	3600.0	1957.5	1661.3	0.4	3600.0
	2	689.9	682.0	0.0	5.5	911.6	798.9	0.3	3600.0	1079.3	906.3	0.6	3600.0
	3	705.8	698.0	0.0	3.0	1704.9	1595.7	0.0	740.4	1821.7	1664.6	0.3	3600.0
	4	1536.6	1101.3	0.0	11.3	1995.8	1359.9	0.0	1637.4	1971.4	1754.2	0.4	3600.0
	5	1168.6	1153.6	0.0	7.1	2198.6	2117.1	0.3	3600.0	2409.0	2231.7	7.2	3600.0

Tablo Ek 3. $|V| = 50$ Büyüklüğünde SZL-GSAP Problemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar (Results for the SZL-GSAP Instances of Size $|V| = 50$)

λ	Problem No	$ K = 10$				$ K = 30$				$ K = 50$			
		$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU	$f(B\check{C}A)$	$f(GRB)$	%Gap	CPU
0.1	1	13055.3	10789.0	9.1	3600.0	34276.0	25897.1	21.0	3600.0	73566.1	46739.0	34.4	3600.0
	2	13295.2	11345.5	13.1	3600.0	44155.4	31041.8	25.3	3600.0	78772.1	48066.5	36.2	3600.0
	3	14429.5	11751.4	12.1	3600.0	36359.3	26136.0	21.6	3600.0	66437.4	42893.2	33.6	3600.0
	4	13744.9	11291.4	14.3	3600.0	37698.6	27912.1	24.5	3600.0	65113.5	42727.2	32.6	3600.0
	5	15446.1	12663.1	11.2	3600.0	42546.1	29974.4	24.6	3600.0	61381.9	40614.6	31.1	3600.0
0.5	1	6573.5	5737.3	8.0	3600.0	15830.5	11128.4	12.0	3600.0	29859.8	17881.6	21.9	3600.0
	2	7189.5	5562.2	13.9	3600.0	19637.0	12701.4	19.3	3600.0	29255.5	18234.6	24.4	3600.0
	3	7820.0	6148.7	11.4	3600.0	16692.3	10989.6	17.2	3600.0	26866.2	16321.2	28.7	3600.0
	4	7509.5	5615.7	15.1	3600.0	17702.4	11688.0	21.1	3600.0	27192.9	15825.9	27.7	3600.0
	5	7971.8	6178.7	22.5	3600.0	19103.4	12578.7	15.3	3600.0	25238.5	15844.1	18.6	3600.0
0.7	1	3805.7	3347.7	2.7	3600.0	8165.9	6111.1	16.1	3600.0	14058.2	8717.6	17.4	3600.0
	2	4846.5	3405.3	12.6	3600.0	9883.2	6803.1	23.8	3600.0	14594.0	8950.3	19.7	3600.0
	3	4494.9	3612.8	16.7	3600.0	8780.8	6197.0	12.5	3600.0	13103.8	8636.9	15.4	3600.0
	4	5074.4	3450.7	8.1	3600.0	9156.2	6274.4	18.1	3600.0	12740.1	8155.8	20.4	3600.0
	5	5443.4	3679.5	27.6	3600.0	11527.5	6870.2	14.9	3600.0	13132.8	8422.2	13.8	3600.0
0.8	1	3534.9	2472.3	28.9	3600.0	5960.1	4021.5	25.5	3600.0	8916.8	5704.6	23.0	3600.0
	2	2830.6	2465.0	12.9	3600.0	6419.2	4238.2	33.0	3600.0	8294.2	5750.7	16.0	3600.0
	3	3527.4	2427.7	24.7	3600.0	6015.3	3979.3	23.2	3600.0	8269.6	5537.3	12.7	3600.0
	4	3000.4	2504.0	11.0	3600.0	6094.0	4116.3	26.8	3600.0	8082.9	5050.6	22.2	3600.0
	5	3588.2	2401.3	32.2	3600.0	6903.3	4419.0	35.6	3600.0	8688.8	5313.3	25.5	3600.0
0.9	1	2571.8	1708.3	33.5	3600.0	3817.8	2373.4	23.5	3600.0	4826.1	2985.0	35.8	3600.0
	2	2282.1	1543.0	25.9	3600.0	3940.1	2429.7	32.6	3600.0	4739.2	3047.4	33.4	3600.0
	3	1857.0	1501.0	17.2	3600.0	3141.6	2363.5	22.1	3600.0	5692.4	2987.8	24.7	3600.0
	4	1679.8	1627.8	0.2	3600.0	3297.1	2275.8	26.0	3600.0	4240.8	2866.8	20.8	3600.0
	5	2227.5	1460.7	31.8	3600.0	3736.2	2380.4	35.9	3600.0	4827.8	2817.0	39.8	3600.0
0.95	1	2092.9	1374.6	30.5	3600.0	2850.4	1744.0	37.7	3600.0	3403.5	1884.5	43.0	3600.0
	2	1077.9	1060.1	0.0	73.8	2124.0	1568.4	1.0	3600.0	2184.3	1756.7	2.5	3600.0
	3	1940.2	1375.3	0.0	2148.6	2613.4	1618.7	26.0	3600.0	2995.1	1830.6	33.7	3600.0
	4	1940.7	1369.5	14.9	3600.0	2911.2	1706.8	25.4	3600.0	3326.5	1968.8	40.5	3600.0
	5	1795.9	1089.5	38.1	3600.0	2536.0	1741.3	28.8	3600.0	3159.1	2023.6	35.1	3600.0

0.99	1	1556.1	1450.9	0.0	212.2	1855.9	1617.7	0.1	3600.0	2035.7	1704.3	0.5	3600.0
	2	974.7	948.6	0.0	48.4	1369.4	1249.3	0.0	2706.9	1503.1	1221.3	7.0	3600.0
	3	1238.2	1119.5	0.0	344.9	2484.6	1328.0	27.7	3600.0	2489.5	1402.2	33.8	3600.0
	4	1478.8	1185.0	19.1	3600.0	2481.0	1403.2	26.5	3600.0	2784.8	1531.7	40.0	3600.0
	5	1368.3	956.2	26.8	3600.0	2044.5	1241.0	29.2	3600.0	2430.1	1397.8	41.6	3600.0



AKTİF ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI ANALİZİ (A-ÇKYDA)YÖNTEMİNDE VERİ TOPLAMA VE TABAKA PARAMETRELERİNİN TEMEL MOD DİSPERSİYON EĞRİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hakan KARSLI*, Mustafa ŞENKAYA

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Veri Toplama,
Tabaka Parametreleri,
Dispersiyon Eğrisi,
A-ÇKYDA,
Modelleme.

Öz

Aktif ÇKYDA yönteminde, sıg yeraltının güvenilir bir S-dalgası hız-derinlik profilini elde etmek için en önemli aşamalarından biri, geniş frekans aralığında sürekli ve yüksek ayrımlı bir dispersiyon eğrisinin elde edilmesidir. Bu makalede, tabaka (S- ve P-dalga hızları, yoğunluk ve kalınlık) ve veri toplama (kaynak ofseti- X_0 , alıcı aralığı- dx ve sayısı- N , serim boyu- $L=(N-1)*dx$) parametrelerinin, yüzey dalga alanının temel mod dispersiyon eğrisi üzerindeki etkileri, yapay atış verilerinin analizi ile incelenmiştir. Yapay veriler, tabaka yansıma/iletim katsayısı tekniği ile hesaplanan dispersiyon eğrisi kullanılarak, her bir alıcıda harmonik mod toplama tekniği ile oluşturulmuştur. Buna göre, düşük S-dalga hızlı ara tabakalar dispersiyon eğrisinin düşük frekans bölgesinde düşük hızlara kaymasına, yüksek hızlı ara tabakalar ise, dispersiyon eğrisinin yüksek frekanslarda sürekliliğinin bozulmasına (zig-zag etkisi) ve yüksek mod etkisi yanılıgına neden olabileceği gözlenmiştir. Kaynak ofseti yüzey dalgalarının tam dalga formlarının oluşmasında etkin iken, ilk ve son alıcı arası uzaklık olan serim uzunluğunun ise, dispersiyon eğrisinin frekans bandını ve çözünürlüğünü etkilediği görülmüştür. Ayrıca, geniş alıcı aralıklarının, dispersiyon eğrisinin düşük frekans bölgesindeki güvenilirliğinin arttırmasının yanında, yüksek frekans bölgesinde dalga sayısı katlanması nedeniyle dispersiyon eğrisinin sürekliliğini bozduğu görülmüştür. Sonuç olarak, farklı dalga hızlarına sahip yer modelleri için üretilen yapay veriler üzerinde yapılan analizler $N < 24$ $4.0m \leq dx \leq 2m$, $N \geq 24$ $0.5m \leq dx \leq 2m$ ve $X_0 \geq 4*dx$ veya $X_0 \geq L/5$ kombinasyonlarının, farklı yer altı koşullarının kestirimi amacıyla toplanacak aktif ÇKYD verileri için güvenilir olacağını göstermiştir.

INFLUENCES OF DATA ACQUISITION AND LAYER PARAMETERS ON FUNDAMENTAL DISPERSION CURVE IN ACTIVE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (A-MASW) METHOD

Keywords

Data Acquisition,
Layer Parameters,
Dispersion Curve,
MASW,
Modelling.

Abstract

Obtaining a continuous and high resolution dispersion curve in a wide frequency range is one of the most important steps to determine a reliable shear (S) wave velocity-depth profile of the shallow subsurface in active MASW method. In this article, the effects of layer (or physical) (S- and P-wave velocities, density and thickness) and data acquisition (source offset- X_0 , receiver spacing- dx and number- N , spread length- $L=(N-1)*dx$) parameters on the fundamental mode dispersion curve of the surface wave field were investigated by analyzing the synthetic shot gathers. The synthetic data were generated by harmonic mode summation technique at each receiver with using of the dispersion curve calculated by the layer reflection/transmission coefficient technique. Accordingly, it was observed that low S-wave velocity interlayers may cause shifting the dispersion curve to low velocities in the low frequency band, while high velocity interlayers may cause both discontinuity on the dispersion curve at high frequencies (zig-zag effect) and high-mode effect error. It was seen that while the source offset is effective in the formation of full waveforms of surface waves, the distance between the first and last

* İlgili yazar/Corresponding author: hkarqli@ktu.edu.tr, +90-462-377-2020

receiver affects the frequency band and resolution of the dispersion curve. In addition, it is observed that wide receiver sampling increases the reliability of the dispersion curve in the low frequency region, though it disrupts the continuity of the dispersion curve at high frequencies due to wavenumber aliasing. As a result, the analyses made on the synthetic data generated for various subsurface layer models with different wave velocities demonstrate that the combinations of $N < 24$ $4.0m \leq dx \leq 2m$, $N \geq 24$ $0.5m \leq dx \leq 2m$ and $X0 \geq 4 * dx$ or $X0 \geq L/5$ would provide practical convenience for the selection of acquisition parameters for active MASW data in the field.

Alıntı / Cite

Karslı, H., Şenkaya, M., (2022). Aktif Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (A-Çkyda)Yönteminde Veri Toplama Ve Tabaka Parametrelerinin Temel Mod Dispersiyon Eğrisi Üzerindeki Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 943-962.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Karslı, 0000-0002-7758-1363
M. Şenkaya, 0000-0003-2152-3479

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.02.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.04.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Aktif çok kanallı yüzey dalgası analizi (A-ÇKYDA) yöntemi, yeraltının bir ya da çok boyutlu katılık profilini karakterize etmek ve ilgili yer ortamının dinamik elastik parametrelerini elde etmek için yüzeye yakın S-dalga hız yapısını belirlemede geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yöntem, kaynak-alıcı düzenleri ve zamansal kayıt parametreleri açısından klasik sismik kırılma yönteminin özel bir uygulaması olup, kaydedilen dalga alanlarından Rayleigh ve Love yüzey dalgalarının dispersiyon analizini içerir. Uygulamada, düşey bileşenli alıcılarda kaydedilen yüzey dalgaları Rayleigh ve yatay bileşenli alıcılarda kaydedilenler ise Love yüzey dalgalarıdır. Her iki yüzey dalgasının dispersiyon analizinden elde edilen hız bilgisi kayma dalgası hızı (S-dalga hızı, Vs)'dir. S-dalga hızı mühendislik uygulamalarına esas olan zemin ve kayaların dayanımlarının ve sıklık-katılık özelliklerinin belirlenmesinde hayati önem taşır. Bu nedenle, A-ÇKYDA yöntemi, mühendislik yapılarının zemin-yapı etkileşimlerinin belirlenmesi için gerekli olan, yer yüzeyinden 30m derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızının (V_{s30}) güvenilir hesaplanmasında ülkelerin planlama ve imarla ilgili kanun ve yönetmeliklerine dahil edilmiştir. Yöntemin Park vd. (1999) tarafından literatüre sunulması sonrası, maliyetli olan kuyu yukarı (uphole), kuyu aşağı (downhole) ve karşılıklı kuyu (crosshole) gibi genellikle zemin ve kaya ortamların doğal dokusunu bozan geleneksel sismik araştırmalar yerine tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Böylece A-ÇKYDA yöntemi, tabakalı ortamın geometrik yapısını ve litolojik değişkenliğini daha kısa zamanda ve tahribatsız şekilde sunabilme imkanı sağlamaktadır.

Yöntem, geleneksel S-dalgası kırılma uygulamasına göre bazı avantajlara sahip olduğundan (örn. daha yüksek sinyal/gürültü oranı veya düşük hızlı tabaka problemlerinden etkilenmemesi), yakın yüzey jeolojik ve jeoteknik problemlerin çözümünde önemli bir yere sahip olmuştur (Miller vd., 1999, Xia vd., 1999, Beaty vd., 2002, Yılmaz ve Eser 2002; Kanlı vd., 2006; Foti vd., 2011; Karslı vd., 2017; Vanlı Senkaya vd. 2020). A-ÇKYDA yönteminin ana aşamaları, veri toplamayı, dispersiyon eğrisinin (frekans-faz hızı, f-v) elde edilmesini ve ters çözümü (yeraltının S-dalga hız modelinin elde edilmesi) içerir.

Veri toplama prosedürü, belirli bir düzende yer yüzeyine yerleştirilmiş bir dizi alıcı (jeofon) kullanılarak yüzey dalga alanlarının kaydedilmesini içerir (Park vd., 2001, 2002; Xu vd., 2006; Zhang vd., 2004; Dikmen vd., 2010; Sauvin vd., 2016; Taipodia vd., 2020, 2021). Dispersiyon analizi ise, kaydedilen sismik verilere uygulanan bir frekans-faz hız dönüşümünü (veya yüzey dalgasının yayılma enerjisinin hız ve frekansa göre dağılımı) ve bu dönüşümden elde edilen görüntü üzerinde maksimum genlik ve/veya enerji noktalarını temsil eden dispersiyon eğrisini (frekans karşılık faz hızı değerleri) belirleme veya işaretleme işleminden ibarettir (Park vd., 1998 Ivanov vd., 2005; Park, 2011; Taipodia vd., 2018, 2020). Ters çözüm aşamasında ise, bir optimizasyon algoritması kullanılarak bir önceki aşamada elde edilen dispersiyon eğrisini üretebilecek en güvenilir Vs profiline veya modeline ulaşılmaya çalışılır (Park vd., 1999; Xia vd., 1999; Beaty vd., 2002; Dal Moro ve Ferigo, 2011; Dal Moro vd., 2016; Senkaya ve Karslı, 2016; Senkaya vd., 2020).

A-ÇKYDA yönteminde, bir sonraki aşamanın yüksek kalitede uygulanması bir önceki aşamaya bağlıdır ve bu bağımlılık güvenilir S-dalgası hız-derinlik profili elde edilmesi için önemlidir. Dolayısıyla, araştırmacıların üzerinde hemfikir oldukları temel konu, anlamlı ve güvenilir bir derinlik-Vs profili hesaplanmasındaki tüm sürecin başarısı, büyük ölçüde dispersiyon eğrisinin kalitesine (çözünürlüğü, sürekliliği, frekans bandı genişliği) bağlı olduğu yönündedir. Çünkü, ters çözümde kullanılan tek veri dispersiyon eğrisidir ve Foti vd. (2015), ters çözüm

analizinde, A-ÇKYDA'da beklenen sonucun belirlendiği kritik bir aşama olarak kabul edilse de, doğru bir kayma dalgası hız profilinin hesaplanmasının, kaydedilen veriden yüksek kalitede dispersiyon eğrisinin elde edilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir.

Dispersiyon eğrisinin genel karakteri ve çözünürlüğü tabaka (fiziksel) parametreleri (dalga hızları, yoğunluk, kalınlık) ve veri toplama parametreleri (kaynak ofseti, alıcı aralığı, alıcı sayısı, profil/serim uzunluğu, örnekleme zamanı, kayıt süresi, kaynak tipi, kaynak gücü ve düşey yığma sayısı) ile ilişkilidir. Yer altındaki fiziksel parametrelerin veri toplama sırasında kontrol edilmesi imkânsız olduğundan, kaliteli bir dispersiyon eğrisinin elde edilmesinde veri toplama parametreleri ön plana çıkmaktadır. Veri toplama parametreleri kullanıcı tarafından kontrol edilmekte olup, başta maksimum-minimum hedef derinlik ya da yüzey dalgaların dalga boyları olmak üzere veri toplama kullanılacak cihaz ve ekipmanlarla ilgilidir (Park vd., 2002; Zang vd., 2004; Dikmen vd., 2010). Bu nedenle, veri toplama parametrelerinin seçimi çoğunlukla çalışmanın amacına ve kullanıcının deneyimine bağlı olduğu söylenebilir. Öte yandan, tabakalara ait fiziksel parametreler ters çözüm aşamasında önem kazanmaktadır. Bu parametreler A-ÇKYDA yönteminin ters çözümünde en sık kullanılan deterministik yaklaşımlı yerel minimum arama algoritmalarında başlangıç modelinin oluşturulmasında kullanılmakta ve modelin güvenilirliği doğrudan ters çözüm işleminin başarısını belirlemektedir (Lai ve Rix, 1998, Şenkaya vd. 2020).

Bu makalede, tabaka parametrelerinden sadece S-dalga hızı ve tabaka kalınlığı, veri toplama parametrelerinden kaynak ofseti, alıcı aralığı, alıcı sayısı ve serim uzunluğu değişimlerin A-ÇKYDA yönteminden elde edilecek frekans-faz hızı görüntüsü ve dispersiyon eğrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Değişimi incelenen her bir parametre için Şekil 1' de gösterilen modelleme döngüsü kullanılmıştır. Bu döngüde ilk olarak tabaka ve veri toplama parametreleri belirlenir (Şekil 1a), ikinci olarak bu parametreler kullanılarak genelleştirilmiş yansıma/iletim (Y/\bar{I}) katsayıları yöntemi (Lai ve Rix 1998) ile dispersiyon eğrisi hesaplanır (Şekil 1b). Ardından Aki ve Richards (2002) tarafından önerilen harmonik toplamlar yaklaşımı kullanılarak her bir alıcıda yapay izler (atış verisi) üretilir (Şekil 1c). Son olarak ise, bu yapay verinin frekans-faz hızı görüntüsü faz kayma tekniği (Park vd., 1998) ile elde edilerek ikinci aşamada üretilen dispersiyon eğrisi ile karşılaştırılır (Şekil 1d).

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Dispersiyon Eğrisi, $C_R(f)$ 'nin Hesaplanması (Computation of the Dispersion Curve, $C_R(f)$)

Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrileri genelleştirilmiş yansıma/iletim, (the generalized reflection (R)/transmission (T)) yöntemi (R/T) ile hesaplanabilir. Bu yöntemin ilk versiyonu Kennett (1983) tarafından geliştirilmiş olup, yöntem Chen (1993), Hisada (1994, 1995) ve Lai ve Rix (1998) tarafından geliştirilmiştir. Düşük ve yüksek frekanslarda yöntemin kararlılığı ve doğruluğu en önemli avantajıdır (Chen, 1993). Bununla birlikte, viskoelastik ortamlar için R/T yöntemi, dispersiyon eğrisinin hesaplanmasında en kararlı olanlardan biridir (Buchen ve Ben-Hador, 1996; Rix ve Lai, 2000).

Rayleigh dalgaları P ve SV (S-dalgalarının düşey bileşeni) dalgalarının girişimi ile şekillenir. Yatay yönde homojen ve düşey yönde heterojen olan yarı sonsuz tabakalı bir ortamda yer değiştirme-gerilme vektörleri için diferansiyel dalga denkleminin çözümü detaylı olarak Pei (2007), Pei vd. (2008) ve Foti vd. (2015) verilmiş ve açıklanmıştır. Buna göre, çözüm tabaka matrisi E, faz gecikme matrisi, L ve genlik vektörü C'nin çarpımı ile elde edilir:

$$\begin{bmatrix} D^j(z) \\ S^j(z) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} E_{11}^j & E_{12}^j \\ E_{21}^j & E_{22}^j \end{bmatrix}}_{\text{Tabaka matrisi}} \underbrace{\begin{bmatrix} L_d^j(z) & 0 \\ 0 & L_u^j(z) \end{bmatrix}}_{\text{Faz gecikme matrisi}} \underbrace{\begin{bmatrix} C_d^j \\ C_u^j \end{bmatrix}}_{\text{Genlik vektörü}} = E^j L^j C^j. \quad (1)$$

Burada, D ve S sırasıyla P ve SV dalgalarının z-derinliğinde yer değiştirme ve gerilme vektörleri; E, L ve C matrisleri sırasıyla tabaka, faz ve genlik parametre bilgilerini içerir; j ara yüzey sayısı, d ve u z-derinliğinde yansıyan ve iletilen dalgalar için kullanılan indisleridir. Eğer yer değiştirme ve gerilmenin süreklilik koşulları her bir ara yüzeyde uygulanırsa, aşağıdaki denklem (2) ve (3) elde edilir.

$$\begin{bmatrix} T_d^j & R_{ud}^j \\ R_{du}^j & T_u^j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11}^{j+1} & -E_{12}^j \\ E_{21}^{j+1} & -E_{22}^j \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} E_{11}^j & -E_{12}^{j+1} \\ E_{21}^j & -E_{22}^{j+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_d^j(z^j) & 0 \\ 0 & L_u^{j+1}(z^j) \end{bmatrix}, \quad j=1, 2, \dots, N-1, \quad (2)$$

ve

$$\begin{bmatrix} T_d^N & R_{ud}^N \\ R_{du}^N & T_u^N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11}^{N+1} & -E_{12}^N \\ E_{21}^{N+1} & -E_{22}^N \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} E_{11}^j L_d^j(z^j) \\ E_{21}^j L_d^j(z^j) \end{bmatrix}, \quad j = N. \quad (3)$$

Gerekli düzenlemeler yapıldığında genelleştirilmiş R/T katsayıları yinelemeli olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \hat{T}_d^j &= (I - R_{ud}^j \hat{R}_{du}^{j+1})^{-1} T_d^j, \\ \hat{R}_{du}^j &= R_{ud}^j + T_u^j \hat{R}_{du}^{j+1} \hat{T}_d^j, \quad (j = 1, 2, \dots, N-1), \end{aligned} \quad (4)$$

burada, I birim matrisi temsil eder ve

$$\begin{aligned} \hat{T}_d^j &= T_d^j, \\ \hat{R}_{du}^N &= R_{du}^N, \quad (j = N). \end{aligned} \quad (5)$$

olarak yazılır. Son arayüzeyden başlayarak, \hat{R}_{du}^N arayüzeyler için genelleştirilmiş R/T katsayıları hesaplanır. Temel ve yüksek mod Rayleigh dispersiyon eğrileri serbest yüzeyde ($z=0$) gerilimsiz koşullar sağlanarak belirlenebilir (Denklem 6).

$$S^1(0) = (E_{21}^1 + E_{22}^1 L_u^0(0) \hat{R}_{du}^1) C_d^1, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_d^{j+1} &= \hat{T}_d^j C_d^j, \quad C_u^j = \hat{R}_{du}^j C_d^j, \quad (j = 1, 2, \dots, N-1), \\ C_d^{N+1} &= \hat{T}_d^N C_d^N, \quad \hat{R}_{du}^N = 0, \quad (j = N). \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem (6), denklem (8) ile verilen seküler (veya Rayleigh dispersiyon denklemi) denklemi sağlayan özel faz hızları çözümüne sahiptir. Böylece denklemin kökleri, potansiyel olarak oluşan modlar için faz hızlarını verir.

$$\det(E_{21}^1 + E_{22}^1 L_u^0(0) \hat{R}_{du}^1) = 0. \quad (8)$$

E, L ve C matrisleri ve ilgili parametreler aşağıdaki denklem (9) ve (10)'da verilmiştir.

$$E^j = \begin{bmatrix} E_{11}^j & E_{12}^j \\ E_{21}^j & E_{22}^j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & v l^j & -1 & v l^j \\ -\gamma l^j & 1 & \gamma l^j & -1 \\ 2\mu \gamma^j & -\chi l^j \mu^j & -2\mu \gamma^j & \chi l^j \mu^j \\ \chi l^j \mu^j & -2\mu^j v^j & \chi l^j \mu^j & -2\mu^j v^j \end{bmatrix},$$

$$L_d^j(z) = \begin{bmatrix} e^{-\gamma^j(z-z^{j+1})} & 0 \\ 0 & e^{-\gamma^j(z-z^{j+1})} \end{bmatrix}, \quad L_u^j(z) = \begin{bmatrix} e^{-\gamma^j(z^j-z)} & 0 \\ 0 & e^{-\gamma^j(z^j-z)} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$C_d^j = \begin{bmatrix} C_{dp}^j \\ C_{ds}^j \end{bmatrix}, \quad C_u^j = \begin{bmatrix} C_{up}^j \\ C_{us}^j \end{bmatrix}.$$

$$\begin{aligned}
v^j &= \sqrt{k^2 - (\omega/\beta^j)^2}, \operatorname{Re}\{v^j\} \geq 0, v1^j = v^j/k, \\
\gamma^j &= \sqrt{k^2 - (\omega/\alpha^j)^2}, \operatorname{Re}\{\gamma^j\} \geq 0, \gamma1^j = \gamma^j/k, \\
\chi1^j &= 2k - (\omega/\beta^j)^2/k.
\end{aligned} \tag{10}$$

Burada, k , ω , β ve α sırasıyla, dalga sayısı, açılal frekans, S- ve P-dalga hızları olarak tanımlanırken, $j=1,2,\dots,N$ tabaka numarasını, $\mu=\rho\beta^2$ ise kayma gerilmesidir. Böylece, Denklem (9)'daki E, L ve C bileşenleri, denklem (1)'de yerine yazılırsa, Rayleigh dalgalarının yerdeğiştirme ve gerilme bileşenleri her bir z derinlik seviyesinde kararlı bir şekilde hesaplanabilir.

Tabaka parametrelerinin dispersiyon eğrisi karakteri üzerinde etkisini analiz etmek için, derinlik boyunca V_p ve V_s değişimini içeren yer modeli Şekil 1a'da gösterilmektedir. Tabakalara ait yoğunluk profili, Uyanık ve Çathioğlu (2010) tarafından geliştirilen deneysel formül, $\rho=0.76 (V_p*V_s)^{0.074}$ (hızlar m/s olduğunda sonuç, gr/cm³) ile oluşturulur. Şekil 1a'daki yer modeli hızın derinlikle arttığı bir model olduğundan normal dispersif ortamı karakterize eder. Dolayısıyla, hesaplanacak dispersiyon eğrisi, yani frekansa karşılık faz hızı eğrisinin karakteri frekansla hızın azalması şeklindedir. Dispersiyon eğrisi, denklem (8)' ile verilen Rayleigh dalgasının dispersiyon denkleminin çözümünü içeren Lai ve Rix (1998)'in algoritması dikkate alınarak geliştirilen bir MatLab yazılımı (Rix ve Lai, 2000) ile hesaplanmıştır. Şekil 1b, 5-100 Hz aralığında $\Delta f=1.0$ Hz artımla Rayleigh dalgasının temel mod dispersiyon eğrisini göstermektedir ve görüldüğü üzere faz hızı frekansla azalmaktadır. Yani, kısa dalga boyulu (düşük hız/yüksek frekans) olaylar daha düşük hızla yayılırlar. Aynı algoritma kullanılarak yüksek modlar (1.,2. veya daha yüksek) hesaplanabilmektedir.

2.2. A-ÇKYDA Verisinin Modellenmesi (Modelling of the A-MASW Data)

Yapay bir A-ÇKYDA verisi, Aki ve Richards (2002) tarafından önerilen denklem (11) kullanılarak, her alıcıda farklı hız ve frekansa sahip harmoniklerin üst üste toplanması ile basit bir şekilde hesaplanabilir. Görüldüğü gibi denklem (11), karmaşık dalga denkleminin çözümü yerine, yeraltı tabakalarının hızını temsil eden dispersiyon eğrisi $C_R(f)$ 'nin kullanımını gerektirmektedir.

$$S(t, x) = \sum_{i=1}^n W \left(t + \frac{x}{c_R(f_i)} \right) = \sum_{i=1}^n a_0 e^{-\alpha \left(t + \frac{x}{c_R(f_i)} \right)} \sin \left(2\pi f_i \left(t + \frac{x}{c_R(f_i)} \right) \right). \tag{11}$$

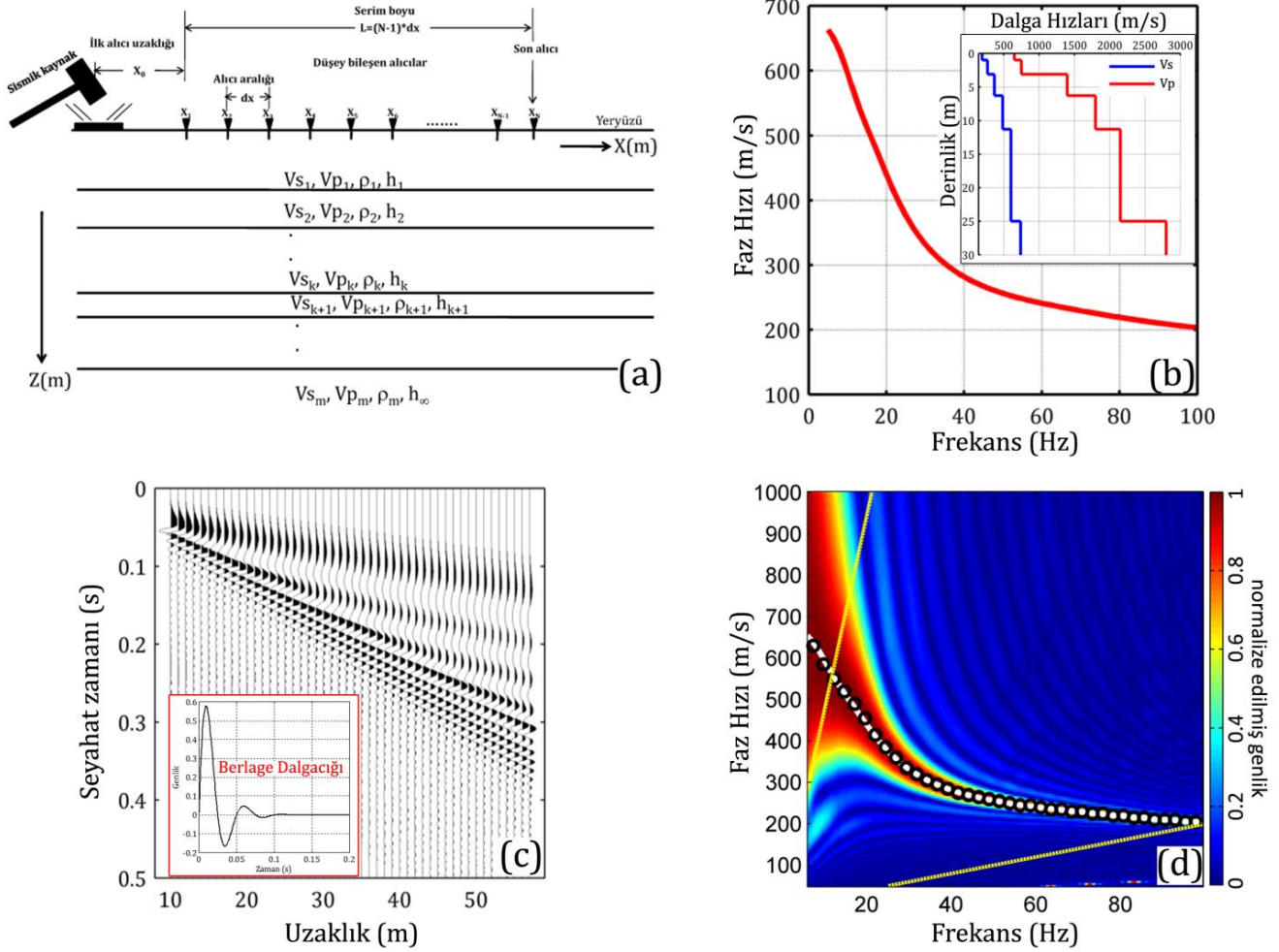
Burada, $S(t,x)$ yalnızca yüzey dalgalarını temsil eden iki boyutlu (2B) dalga alanıdır. W modüle olmuş harmonik sinüs dalgası olan minimum fazlı Berlage dalgacıdır. Parametrelerden, t ve f sırasıyla zaman ve frekans örneklerini gösterirler. Denklem en önemli parçası, $C_R(f)$, yani dispersiyon eğrisidir. Ayrıca, x ve α sırasıyla alıcı uzaklığını ve sönüm katsayısıdır. Sönüm katsayısı, model problemin koşullarına bağlı olarak sabit veya frekans bağımlı olabilir. Bununla birlikte, küresel açılamdan dolayı geometrik soğurma denklem (12)'deki gibi çözüme dahil edilebilir.

$$S(t, x) = S(t, x)/x. \tag{12}$$

Denklem (11)' e göre, harmonik dalgaların sismik iz (veya sismogram) üzerindeki zaman konumları (veya varış zamanları), Şekil 1a'da gösterilen tabaka parametreleri için hesaplanan faz hızları ve alıcı konumları ile belirlenir. Dispersiyon eğrisi, $C_R(f)$, hesaplandıktan sonra, her bir alıcı pozisyonu için farklı frekanslı ve hızlı Berlage dalgacıları, alıcı uzaklığı-hız değerlerine göre hesaplanan kayıt zamanlarında üst üste toplanarak, belirlenen kayıt süresi için yapay atış verisi $S(t, x)$, hesaplanmış olur.

Verilen yeraltı modeli için (Şekil 1b'de V_p ve V_s modeli), yalnızca temel mod dispersiyon eğrisine (Şekil 1b'de kırmızı renkli eğri) ait dalga alanlarını içeren yapay atış verisi hesaplanarak Şekil 1c'de gösterilmiştir. Hesaplama $N=48$ alıcı, $dx=1.0$ m alıcı aralığı, $X_0=10$ m kaynak ofseti, $T_{\max}=0.8$ saniye kayıt süresi ve $\Delta t=1.0$ ms zaman örnekleme kullanılmıştır. Bununla birlikte, her bir frekans için Berlage dalgacı, $t_w=0.3$ s süre, sönüm sabiti $\alpha=50$ değeri için üretilmiştir. Şekil 1c'deki yapay veriden de görüldüğü üzere, uzun dalga boyulu (yüksek hız/düşük frekans) veya uzun periyotlu harmonikler daha erken zamanlarda kaydedilmiştir. Hız modelindeki S-dalga hızı değişimi derinlik boyunca kademeli olarak geniş bir hız aralığında (minimum hız ile maksimum hız arasında 546 m/s'lik bir fark vardır) arttığından, yüzey dalga alanı yapay veride yelpaze şeklinde bir görünüme

sahip olmuştur. Yapay verinin f-v görüntüsü faz kayması tekniği ile hesaplanarak Şekil 1d'de sunulmuştur. Park vd. (1998) ve Dal Moro vd. (2003), faz kaydırma tekniğinin, f-k (2B Fourier dönüşümü; frekans-dalgasayısı) ve tau-p (doğrusal Radon dönüşümü; eğimli yığma) tekniklerinden elde edilen sonuçlara göre, daha yüksek çözünürlüklü dispersiyon görüntülerini sağladığını belirtmişlerdir. Bu kapsamda bu çalışmada 2B (x,t) verilerinden f-v görüntüleri faz kaydırma tekniği ile oluşturulmuştur. Hesaplanan ve işaretlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılması amacıyla, Şekil 1b'deki teorik dispersiyon eğrisi (beyaz çizgi) ve f-v görüntüsü üzerinde otomatik işaretleme ile elde edilen dispersiyon eğrisi (siyah daireler) üst üste çizdirilmiştir. Otomatik işaretleme, her bir frekansa karşılık gelen maksimum genlik değerinin temsil ettiği hız değerinin belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Böylece, yapay verinin f-v görüntüsünün ve işaretlenen dispersiyon eğrisinin Şekil 1b'deki dispersiyon eğrisi ile tam olarak uyumlu olduğu da test edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan modelleme iş akışı. (a) Tabaka ve kaynak-alıcı parametrelerinin yer modeli üzerindeki görünüşleri, (b) V_p ve V_s derinlik değişimleri ve hesaplanan dispersiyon eğrisi (kırmızı renkli eğri), (c) Hesaplanan yapay veri (Berlage dalgacığı kırmızı çerçevede gösterilmiştir; $f_0=20$ Hz, $\Delta t=1.0$ ms, $\alpha=50$, $t_w=0.3$ s), (d) yapay veri için faz hızı-frekans görüntüsü üzerinde otomatik arama ile, frekansa karşılık belirlenen faz hızı değerleri (siyah daireler) ve (b)'de hesaplanan dispersiyon eğrisinin (beyaz çizgi) karşılaştırılması. Not: sarı çizgiler; kaynak-alıcı ve minimum-maksimum hız değerlerine göre dispersiyon eğrisinin temsil ettiği minimum ve maksimum dalga boyu sınırlarını göstermektedir. (Workflow of modeling in the study. (a) Illustrating of the layer and source-receiver parameters on earth model, (b) the V_p and V_s depth model and calculated dispersion curve (red line), (c) calculated synthetic data (Berlage wavelet is shown in frame; $f_0=20$ Hz, $\Delta t=1.0$ ms, $\alpha=50$, $t_w=0.3$ s), (d) comparison between phase velocity values according to frequency, which are determined by automatic search on phase velocity-frequency image (black circle) and calculated dispersion curve (white line). Note: yellow lines show minimum and maximum wavelength limits according to source-receiver and values of the minimum-maximum velocities.)

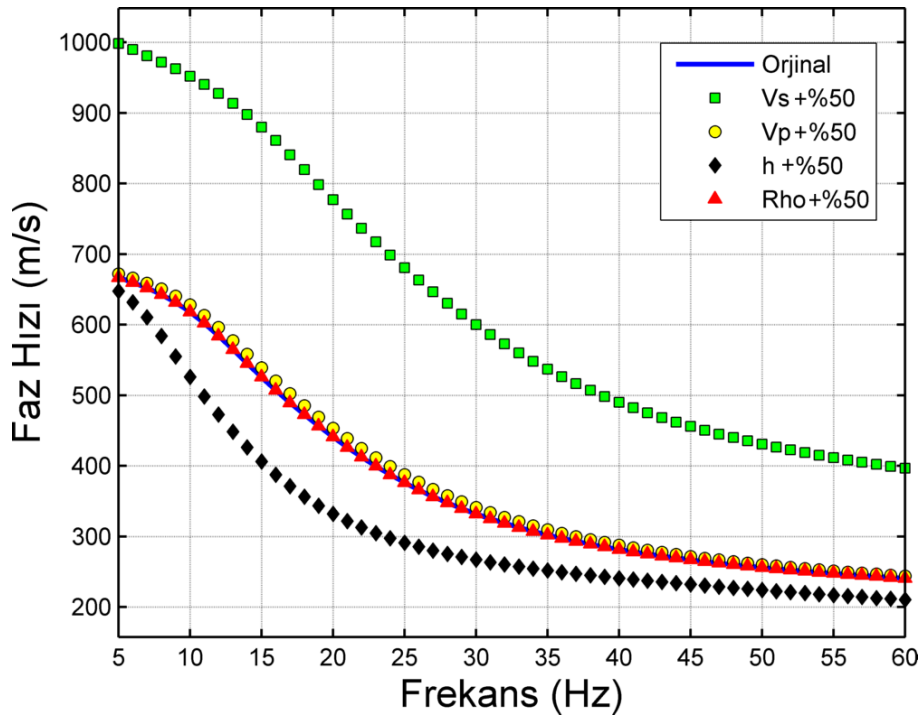
3. Uygulamalar (Applications)

Uygulamalar iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde tabaka parametrelerinin, ikinci bölümde ise, veri toplama parametrelerinin dispersiyon eğrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulama aşamaları; (1) verilen yer altı modeli için $C_R(f)$ 'nin hesaplanması, (2) veri toplama parametreleri ve $C_R(f)$ kullanılarak yapay A-ÇKYDA verisinin modellenmesini, (3) faz kayması tekniği ile yapay veriden f-v görüntüsünün elde edilmesini ve

dispersiyon eğrisinin otomatik olarak elde edilmesini, (4) teorik (hesaplanan) ve otomatik işaretlenen dispersiyon eğrilerinin karşılaştırılmasını ve parametre değişimlerinin neden olduğu etkilerin incelenmesini içermektedir.

3.1. Tabaka Parametrelerinin Dispersiyon Eğrisi Üzerindeki Etkileri (The Influence of Layer Parameters on Dispersion Curve)

Dispersiyon eğrisinin hesaplanmasında P- ve S-dalga hızları, yoğunluk ve kalınlık parametreleri kullanılmakla birlikte, dispersiyon eğrisinin karakterini en fazla etkileyen S-dalga hızı ve kalınlıktır (Xia vd. 1999). Dolayısıyla, genel olarak P-dalga hızı ve yoğunluk parametrelerinin dispersiyon eğrisi üzerindeki etkisi ihmal edilmektedir. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 1b'deki yer modeli için hesaplanan temel mod dispersiyon eğrisi, her bir tabaka parametresi %50 artırılarak tekrar hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Buna göre açık olarak görülmektedir ki, S-dalga hızındaki ve tabaka kalınlığındaki %50 artış (yeşil ve siyah dörtgen kutucuklar) dispersiyon eğrisinde önemli farklılıklara neden olurken, P-dalga hızı ve yoğunluk (sarı ve kırmızı dikdörtgen kutucuklar) değişimlerinin önemli bir etkisi gözlenmemiştir. Bununla birlikte, kalınlık %50 artırıldığında hız değerlerinde dramatik bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu durum kalın tabakalı ortamlardan elde edilen dispersiyon eğrilerinin görünür olarak daha düşük hızlara, ince tabakalı ortamda ise daha yüksek hızlara kaymasına, dolayısıyla, ters çözüm işleminde de belirsizlik (uncertainty) sorununa neden olabilir.

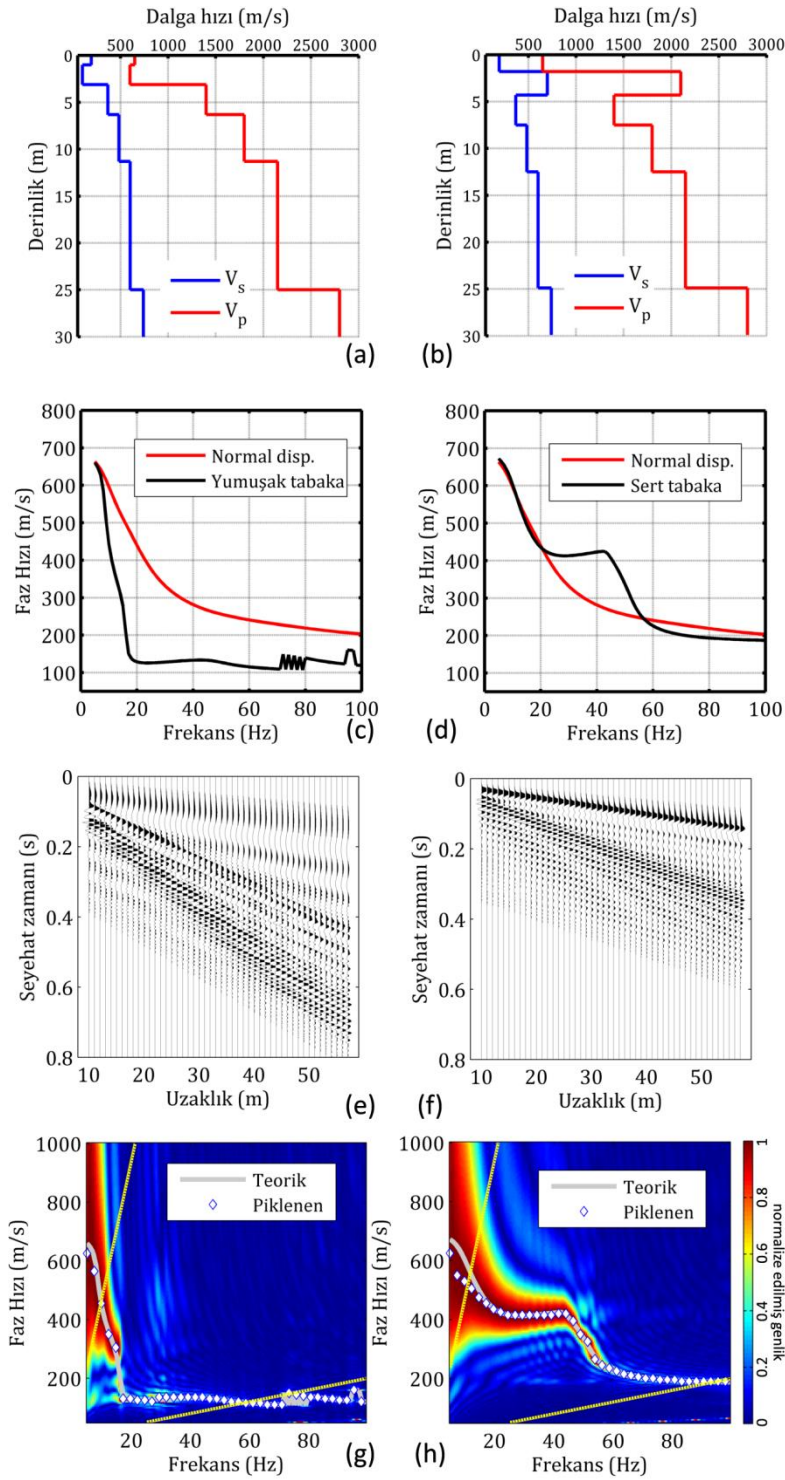


Şekil 2. Tabaka parametrelerindeki %50'lik artışın dispersiyon eğrisi üzerindeki etkileri. (Effects of 50% increase in layer parameters on the dispersion curve.)

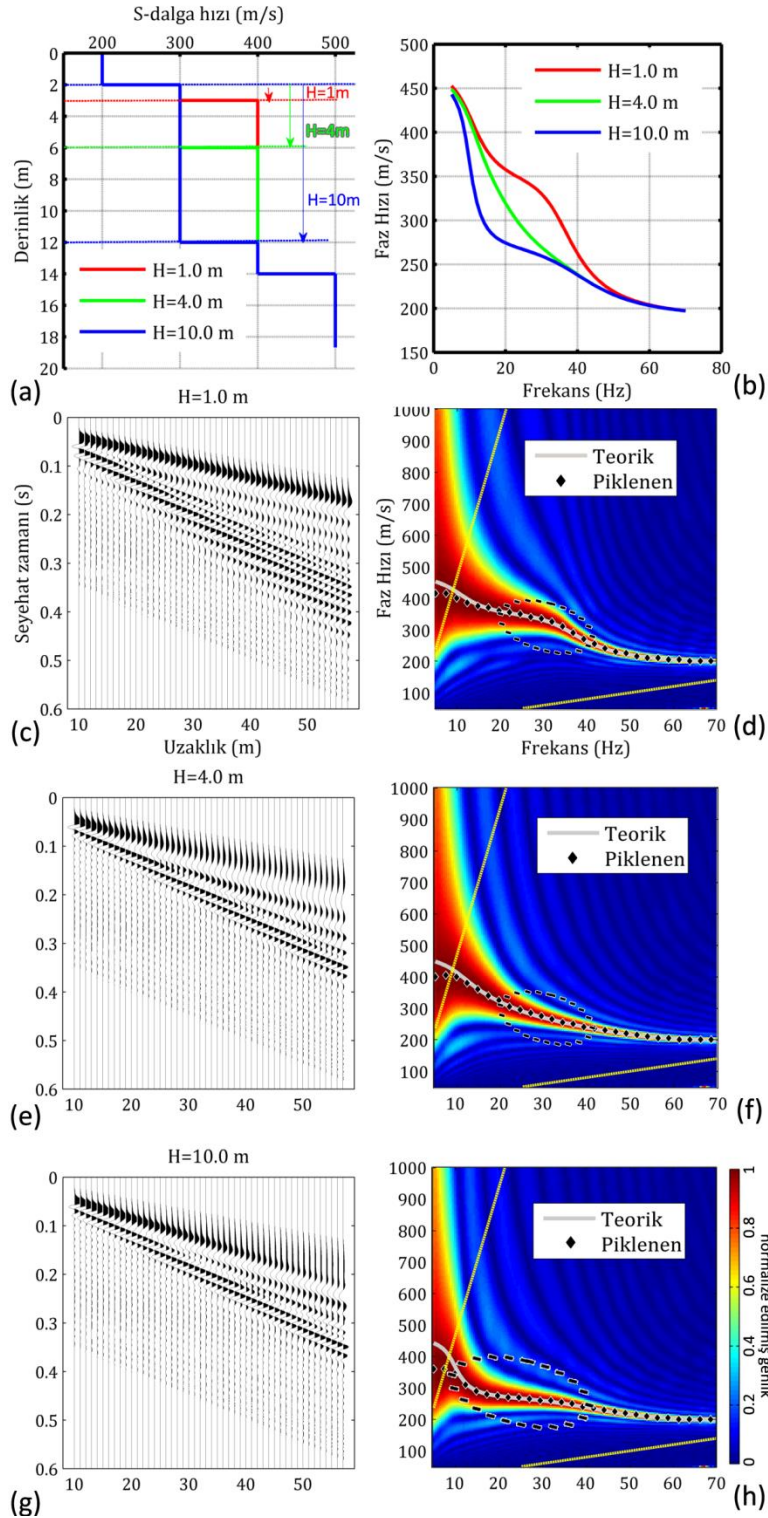
Literatürde, düşük hızlı yumuşak (softness) ve yüksek hızlı sert (stiffness) ara tabaka problemleri, üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı konulardır (Xia vd., 2003; Zhang ve Chan, 2003; Lai vd., 2005; Song ve Gu, 2007; Gao vd., 2016; Şenkaya ve Karşlı, 2016; Olafsdottir vd., 2018). Bu tür ortamlar, çoğunlukla düşük hızlı tortulların üzerine daha yüksek hızlı volkanik lavların gelmesi ve sonra bu lavların tortullarla tekrar örtülmesi (sert ara tabaka), kireçtaşları veya kumtaşlarının killi-siltli birimlerle veya geçirimli-gözenekli, kırıklı-çatlaklı litolojik birimlerin ardalanması (yumuşak ara tabaka) şekillerinde görülebilmektedir. Bu şekildeki jeolojik oluşumlar, yer modeli açısından iki yüksek hızlı tabaka arasında düşük hızlı (yumuşak ara tabaka) veya iki düşük hızlı tabaka arasında yüksek hızlı (sert ara tabaka) tabaka olarak değerlendirilir. Şekil 3, bu iki yer modeli için hesaplanan dispersiyon eğrilerini ve hesaplanan yapay A-ÇKYDA verilerini göstermektedir. Şekil 3a, 3c, 3e, 3g sırasıyla yumuşak ara tabaka modelini, bu model için hesaplanan dispersiyon eğrisini, yapay A-ÇKYDA verisini ve f-v görüntüsünü göstermektedir. Karşılaştırma için Şekil 1b'deki normal dispersiyon eğrisi Şekil 3c'de sunulmuştur (kırmızı çizgi). Şekil 1a'daki normal dispersif yer modelinde kalınlığı 2.0m ve S-dalga hızı 270 m/s iken, Şekil 3a'da tabaka kalınlığı değişmezken, S-dalga hızı 120 m/s'ye düşürülmüştür. Buna göre, yumuşak ara tabaka faz hızının düşük frekans bölgesinde düşmesine neden olurken, yüksek frekanslarda ise kararsız davranış göstermesine neden olmuştur (Şekil 3c). Bu etkiler A-ÇKYDA verisinin, normal dispersif duruma göre daha eğimli olmasına ve düzensizleşmesine (Şekil 3c'de zig-zag etikisi) neden olmuştur. Bununla birlikte, f-v görüntüsü üzerinde düşük frekans bölgesinde enerji dağılımında ani kopma, yüksek frekans bölgesinde ise süreksizlikler gözlenmektedir (Şekil3g).

Şekil 3b, 3d, 3f, 3h sert ara tabaka olması durumunda dispersiyon eğrisinin ve A- ÇKYDA verisi karakterindeki değişimleri göstermektedir. Şekil 1b'deki normal dispersif modele göre tabaka kalınlığı değişmemiş, ancak S-dalga hızı 700 m/s'ye artırılmıştır. Hesaplanan dispersiyon eğrisinde 20-55 Hz arasında belirgin bir hız artışı gözlenmiştir (Şekil 3d, siyah çizgi). Bu model için üretilen A- ÇKYDA verisine bakıldığında (Şekil 3f), faz hızının sığ derinlikteki artışı, düşük frekanslı yüzey dalgası bileşenlerinin daha erken, yüksek frekanslı olayların ise daha geç zamanlarda alıcılara ulaşmasını sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla düşük ve yüksek frekans bileşenlerin arasında belirgin bir zaman farkı oluşmuştur. Yapay atış verisi için hesaplanan f-v görüntüsü (Şekil 3h) temel mod dispersiyon enerji alanının 20-50 Hz aralığında hız artışını açık şekilde göstermekte ve Şekil 3h'te hesaplanan dispersiyon eğrisi ile örtüşmektedir. Bu tür analizlerde hızın artım gösterdiği bu bölümler, yüksek mod enerjisi (veya dispersiyon eğrisi) olarak yorumlanabilme yanılısına neden olabilmektedir. Bu tür durumlarda dikkat edilmesi gereken temel nokta, dispersiyon eğrisinin sürekliliğidir. Dolayısıyla, yüksek mod değerlendirmesi yapabilmek için, eğrinin yüksek hıza yönelmeye başladığı (bu modelde ~20 Hz civarında) frekans değerinde belirgin bir hız artışına (dalgasayısı katlanmasından kaynaklanmayan faz hızındaki artış) sahip olması gerekir. Yüksek mod aynı frekanslı olayın daha yüksek hızda titreşmesinden kaynaklanır. Dolayısıyla, f-v görüntüsü üzerinde aynı frekans aralığında temel moddan daha yüksek hızlara sahip ikinci bir enerji alanını temsil eden dispersiyon eğrisi olarak görünür.

Şekil 4, tabaka kalınlığı değişiminin dispersiyon eğrisi üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu modelde, 3 tabakalı bir durum göz önüne alınmış ve tabakaların S-dalga hızları değiştirilmeksizin ikinci tabakanın kalınlığı 1.0 m, 4.0 m ve 10.0 m olması durumları (Şekil 4a) için dispersiyon eğrileri (Şekil 4b) hesaplanmıştır. Bu eğrilere göre, hesaplanan yapay atış verileri Şekil 4c, 4e ve 4g'de ve her biri için üzerinde teorik ve piklenen dispersiyon eğrilerinin olduğu f-v görüntüleri ise, Şekil 4d, 4f ve 4h'de gösterilmektedir. Gerçekte, her üç modelde normal dispersif ortamı temsil etmesine rağmen, Şekil 4b'de H=4.0 m için hesaplanan dispersiyon eğrisi (yeşil renkli eğri) referans alındığında, göreceli kalın tabaka (H=10 m) durumunda, faz hızının düşük frekanslarda görünür olarak daha düşük hızlara kaydığı (mavi renkli eğri), buna karşılık göreceli ince tabaka (H=1.0 m) durumunda ise, faz hızının yüksek hızlara kaydığı açıkça görülmektedir. Bu durum, uzun dalga boylu ve düşük frekanslı yüzey dalgalarının özellikle uzak alıcılara daha geç ulaşmasına ve dalga alanı yelpazesinin daralmasına neden olmuştur (Şekil 4c, e ve g).



Şekil 3. Yumuşak (sol sütun) and sert (sağ sütun) ara tabaka modellerinin dispersiyon eğri karakterinin analizi. Her bir yer modeli için (a, b) hız yapıları, (c, d) hesaplanan temel mod dispersiyon eğrisi (siyah çizgi) ve karşılaştırma için normal mod dispersiyon eğrisi (kırmızı çizgi), (e, f) yapay atış verileri ve (g, h) teorik (beyaz çizgi) ve otomatik (beyaz noktalar) piklenen dispersiyon eğrilerini içeren f-v görüntüleri. (Analysis of the dispersion curve character of soft (left column) and hard (right column) interlayer models. (a, b) velocity structures, (c, d) calculated fundamental dispersion curve (black line) and normal mode dispersion curve (red line) for comparison, (e, f) synthetic shot data and (g, h) f-v images including theoretical (white line) and automatic picked dispersion curves.)



Şekil 4. Temel mod dispersiyon eğrisi üzerinde tabaka kalınlığının etkisi. (a) üç tabakalı yer modelinde ikinci tabakanın üç farklı farklı kalınlığı için yer modelleri, (b) bu yer modelleri için hesaplanan temel mod dispersiyon eğrileri, (c, e, g) ve (d, f, h) sırasıyla, dispersiyon eğrileri için hesaplanan yapay atış verileri ve f-v görüntüleri. Karşılaştırma için, f-v görüntüleri üzerinde teorik (gri çizgi) ve otomatik (siyah dörtgenler) piklenen dispersiyon eğrileri sunulmuştur. (d, f, h) üzerindeki elipsler kalınlık değişimine göre dispersiyon eğrisindeki değişimi odaklamak için gösterilmiştir. Şekil 4a'da "H" sembolü ikinci tabaka kalınlığını temsil etmektedir. (The effect of layer thickness on fundamental dispersion curve. (a) subsurface models for three different thicknesses of the second layer in the three-layer subsurface model, (b) calculated fundamental dispersion curves for the models, (c, e, g) and (d, f, h), respectively, corresponding shot data and f-v images. For comparison, theoretical (gray line) and automatic (black rectangles) picked dispersion curves are displayed. In Figure 4a, the symbol "H" represents the second layer thickness.)

3.2. Veri Toplama Parametrelerinin Dispersiyon Eğrisi Üzerindeki Etkileri (Influence of Data Acquisition on Dispersion Curve)

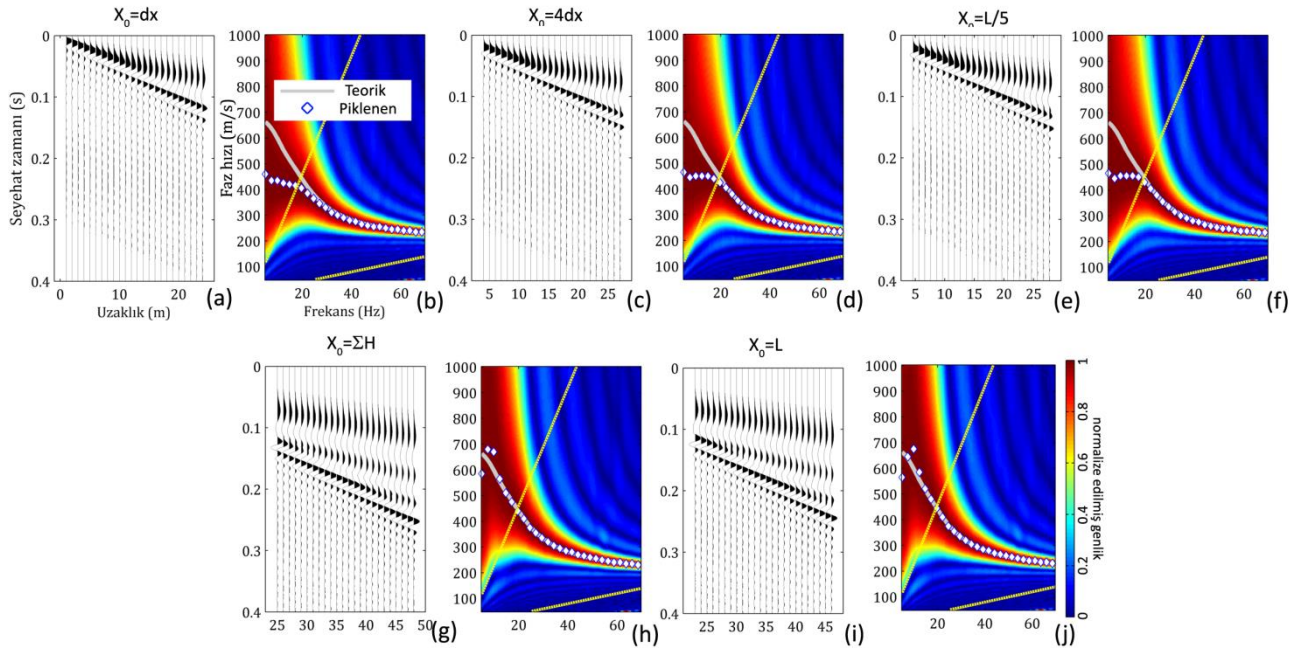
Kaliteli A-ÇKYDA verisi toplamadaki temel amaç, temel mod dispersiyon eğrisinin sürekliliği ve ayrımlılığını sağlamak için çoğunlukla Şekil 1a'da gösterilen veri toplama parametreleri X_0 , dx , L ve N 'nin seçimlerine bağlıdır. Bununla birlikte, A-ÇKYDA verisinin kayıt süresi ve örnekleme zamanı da veri kalitesi açısından önemli bir etkidir. Kaliteli bir yüzey dalgası verisi için tüm yüzey dalga paketlerini içermeli, örnekleme zamanı ise yüzey dalgası verilerinin genel özelliği olan göreceli düşük frekans içeriğine uygun seçilmelidir (Foti vd. 2017). Bu iki parametrenin seçiminde iyi tecrübe edinilmiş olup, çoğunlukla en uygun değerler seçilebilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada bu kayıt süresi ve örnekleme zamanı parametreleri analiz edilmemiştir.

Veri toplama parametrelerinin farklı kombinasyonları birçok araştırmacı (Park vd. 2001 ve 2002; Zhang vd., 2004; Xu vd. 2006; Dikmen vd., 2010; Park 2011; Taipodia vd., 2018; Taipodia vd., 2021) tarafından çoğunlukla arazi ortamında test edilmiş ve elde edilen veriler yakın ve uzak alan etkileri açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise, bu parametrelerin her birinin dispersiyon eğrisini nasıl etkilediği yapay olarak incelenmiştir. Bu parametrelerin birçok farklı kombinasyonları oluşturulabilir, ancak bu çalışmada her bir parametre için literatürdeki yaygın öneriler dikkate alınmıştır.

3.2.1. Kaynak Ofseti (Source Offset), X_0

Genel olarak, kaynağa en yakın veya kaynak ile ilk alıcı arası uzaklık olarak tanımlanır. Bu uzaklık, alıcı seriminin kaynaktan ne kadar uzakta başlayacağını belirler ve dolayısıyla yüzey dalgalarının tam olarak oluşması için önemlidir. Çünkü yüzey dalgaları belirli bir uzaklıktan sonra düzlem dalgalara dönüşürler ve A-ÇKYDA yöntemi de düzlem dalga hareketlerini temel alır.

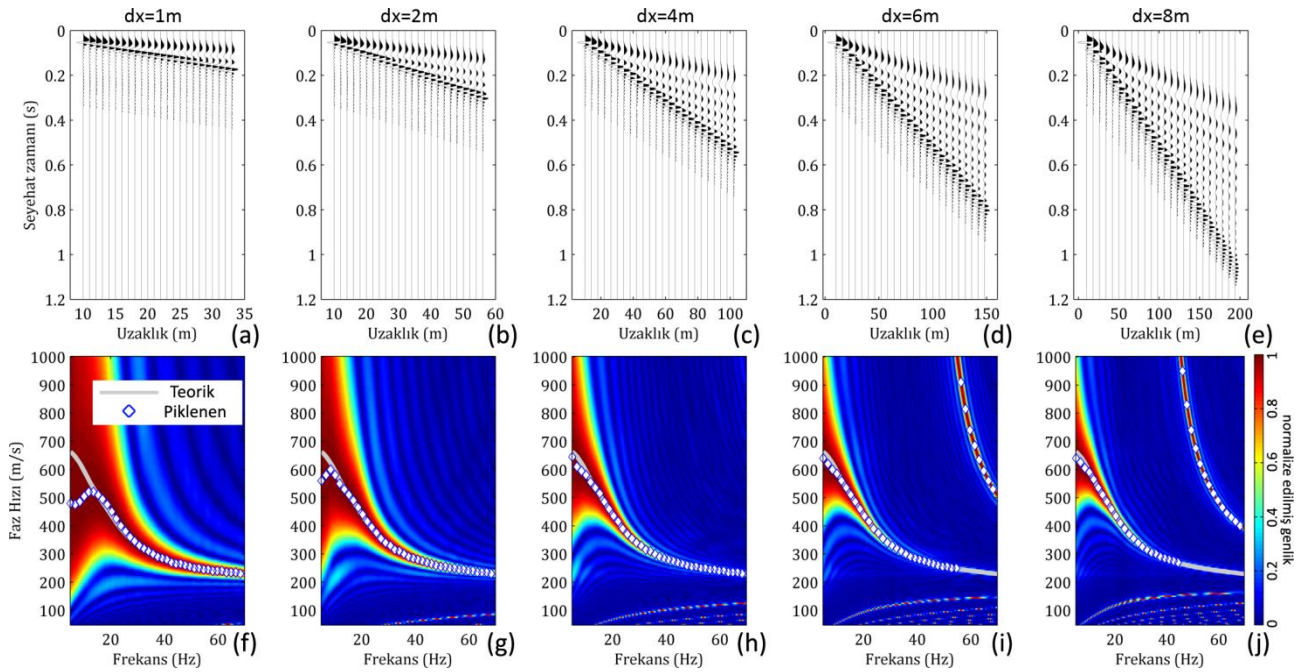
A-ÇKYDA ölçümünde profil uzunluğu, kaynak ofseti ile serim boyunun (L) toplamıdır, $P=X_0+L$. Dolayısıyla profil uzunluğunun ne kadarının kaynak ofseti ne kadarının serim uzunluğu olacağına karar verilmelidir. Park vd. (2002), kaynak ofsetinin alıcı düzeni ve araştırma derinliğinin bir fonksiyonu olması gerektiğini belirtmiştir. Zhang vd. (2004) bir dizi test sonucunda yakın ve uzak ofsetlerin, alıcı serim uzunluğunun ve maksimum dalga boyunun bir fonksiyonu olduğunu öne sürmüştür. Dikmen vd. (2010) farklı kaynak ofseti için yaptığı testlerde, bu uzaklığın en azından dört alıcı uzaklığı ($X_0 \geq 4 * dx$) kadar olmasını önermiştir. Sonuç olarak araştırmacılar, kaynak ofsetinin kısa olması durumundaki yakın alan (düzlem olmayan dalgaların bozucu girişimleri, düşük frekanslardaki yüksek mod girişimi ve enerjinin dağılması) ve uzak alan (enerjinin uzak alıcılarda aşırı soğrulması, çevresel gürültüler, cisim dalgalarının ve saçılmış dalgaların karışımı) etkilerinden sakınılması gerektiği hususunda görüş birliğine varmışlardır. Buna göre literatürde önerilen ofset uzaklığı ilişkileri dikkate alınarak yapay atış verileri (üst satır) hesaplanmış ve f-v görüntüleri üzerinde teorik ve piklenen dispersiyon eğrileri ile birlikte Şekil 5'te gösterilmiştir. Hesaplama Şekil 1b'deki temel mod dispersiyon eğrisi için kullanılan serim uzunluğu kullanılmış olup, tüm modeller için bu parametre sabittir ($L=(N-1)*dx$; $N=24$, ve $dx=1.0m$). Kaynak ofseti X_0 ise, dx , $4*dx$, $L/5$, ΣH ve L alınarak beş farklı A-ÇKYDA verisi üretilmiştir. Yapay veriler incelendiğinde, kaynak ofseti arttıkça yüzey dalgalarının kayıt zamanlarının artmasının yanında, yüksek ve düşük frekanslı bileşenlerin ayrılmaya başladığı da gözlenmektedir. F-v görüntüleri genel olarak birbirine benzer olmakla birlikte, teorik dispersiyon eğrisi ile piklenen dispersiyon eğrisinin uyumu artan kaynak ofseti ile doğru orantılı olarak artmıştır. Kaynak ofsetinin dx , $4*dx$ ve $L/5$ olması durumlarında, düşük frekans bölgesinde enerjinin tam olarak odaklanmaması nedeniyle teorik ve piklenen dispersiyon eğrisi uyumu kaybolmaktadır. Ancak, yeterli dalga boyu aralıkları göz önüne alındığında (f-v görüntüleri üzerindeki sarı renkli doğrular) $X_0=4*dx$ uzaklığının asgari yeterli olduğu görülmektedir. Buna karşılık, kaynak ofsetinin, toplam kalınlık (hedeflenen derinlik) ΣH ve serim boyu (L) kadar olması durumunda ise, düşük frekanslardaki uyum büyük oranda sağlanmış olmakla birlikte, önemsiz sayılabilecek bir miktar yüksek hızlara doğru kayma olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 5. Kaynak ofseti, X_0 'ın dispersiyon eğrisi üzerine etkisi. Hesaplama, alıcı sayısı, N , alıcı uzaklığı dx sırasıyla, 24 ve 1.0 m'dir. Yapay atış verileri (a, c, e, g, i), örnekleme zamanı $\Delta t=0.001$ s ve dalgacık süresi $t_w=0.3$ s için hesaplanmıştır. (b, d, f, h, j) teorik (gri çizgi) ve piklenen (beyaz noktalar) temel mod dispersiyon eğrilerini içeren f-v görüntülerini ve sarı çizgiler dalgaboyunun alt ve üst sınırlarını göstermektedir. (Effect of source offset, X_0 , on dispersion curve. In calculation, number of receivers, N and receiver interval, dx are 24 and 1.0 m, respectively. Synthetic shot data (a, c, e, g, i) are generated for sampling time $\Delta t=0.001$ s and wavelet duration, $t_w=0.3$ s. (b, d, f, h, j) show f-v images including curves of the theoretical (gray line) and picked fundamental dispersion (white dots) and yellow lines show minimum and maximum limits of the wavelength.)

3.2.2. Alıcı Aralığı (Receiver Interval), dx

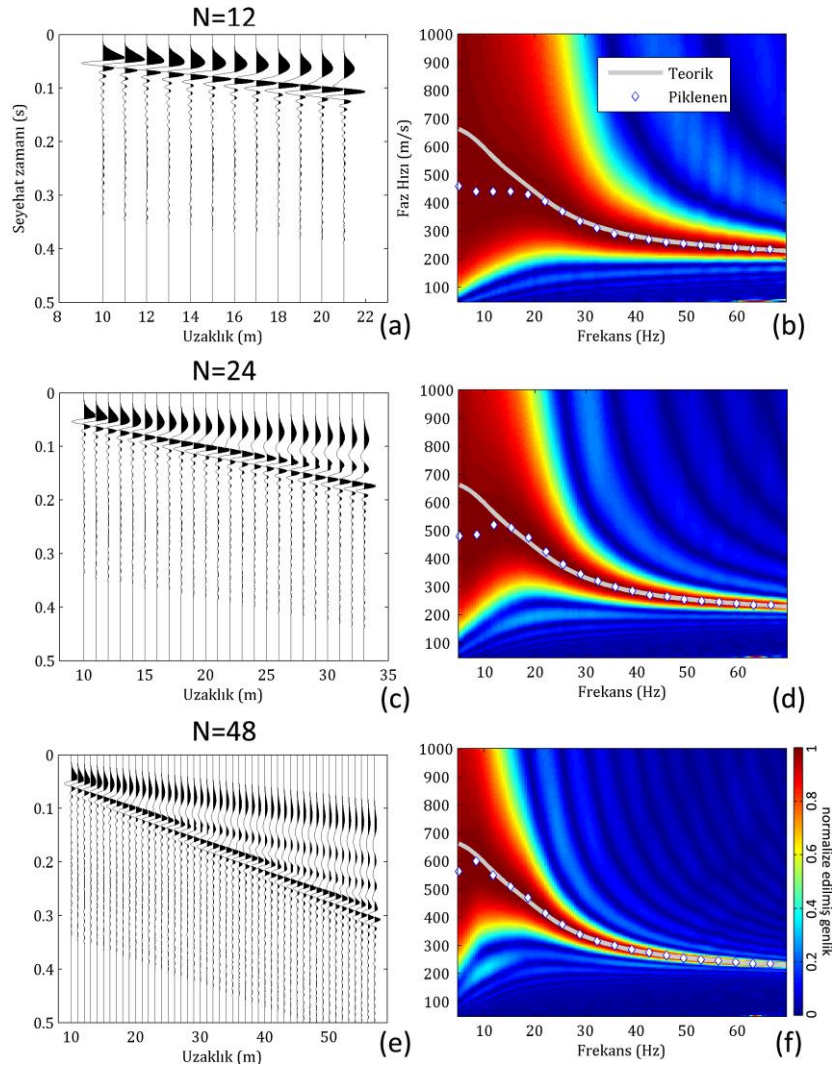
Park vd. (1998), dispersiyon eğrisinin sürekliliğini en fazla etkileyen parametrenin alıcı aralığı olduğunu ifade edilmekte ve normal olarak en küçük dalgaboyuna eşit veya ondan daha kısa ($\Delta x \leq \lambda_{\min}$, $\lambda_{\min}=V_{\min}/f_{\max}$) olmasını önermektedir. Kısa alıcı aralığı, dispersiyon eğrisinin yüksek frekans aralığını kontrol ettiği için, sığ derinliklerdeki çözünürlükle de ilgilidir. Bununla birlikte, alıcı aralığının çok kısa olması, alıcı serimi boyunca yüzey dalgalarının yetersiz yayılımına yol açar. Bu nedenle, daha uzun dalga boyları için alıcı aralığını artırmak gereklidir. Ancak, alıcı aralığının olması gerekenden daha geniş seçilmesi ise, dalgasayısı (uzaysal) katlanmasına neden olur. Bununla birlikte, alıcı aralığındaki, dolayısıyla profil uzunluğundaki aşırı artış, dalga enerjisinin soğurulmasına ve gürültü ile dalga alanlarının karışımına neden olur. Şekil 6, farklı alıcı aralıkları için Şekil 1b'deki dispersiyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış atış verilerini ve karşılık gelen f-v görüntülerini göstermektedir. Alıcı aralığının artması aynı zamanda serim uzunluğunun da artmasına neden olduğu için yüzey dalgaalanı aşırı eğimlenmiştir (Şekil 6a, b, c, d, e). Buna karşılık, alıcı aralığının artmasının etkisi f-v görüntüleri üzerinde açıkça dalga sayısı katlanmasına neden olmaktadır (Şekil 6f, g, h, i, j). Dalgasayısı katlanması, yüksek frekans bölgesinde süreksizlik, düşük hız bölgesinde ise, katlanma ile ilişkili olarak işlem gürültüleri (artifact) oluşturur. Bunun sonucu olarak, dispersiyon eğrisinin sürekliliği bozulur ve pikleme için frekans bandı daralır. Katlanmış kısım, deneyimsiz kullanıcılar tarafından hatalı olarak yüksek mod olarak değerlendirilebilmektedir. Belirtmek gerekir ki, artan alıcı aralığı profil boyunu artırdığından, f-v görüntüsünde işaretlenen ile hesaplanan dispersiyon eğrisinin düşük frekans bölgesinde tam uyumunu sağlamıştır (Şekil 6h, i ve j). Dolayısıyla daha güvenilir bir f-v görüntüsü elde edilmiş olur.



Şekil 6. Alıcı aralığının dispersiyon eğrisi üzerine etkisi. Hesaplama, alıcı sayısı, N ve kaynak ofseti sırasıyla, 24 ve 10 m'dir. Yapay atış verileri (a, b, c, d, e), $\Delta t=0.001$ s ve dalgacık süresi $t_w=0.3$ s için hesaplanmıştır. (f, g, h, i, j) teorik (gri çizgi) ve piklenen (beyaz noktalar) temel mod dispersiyon eğrilerini içeren f-v görüntülerini göstermektedir. (Effect of receiver interval, dx , on dispersion curve. In calculation, number of receivers, N and source offset, X_0 are 24 and 10 m, respectively. Synthetic shot data (a, b, c, d, e) are generated for sampling time, $\Delta t=0.001$ s and wavelet duration, $t_w=0.3$ s. (f, g, h, i, j) show f-v images including curves of the theoretical (gray line) and picked fundamental dispersion (white dots).)

3.2.3. Alıcı Sayısı (Number of Receiver), N

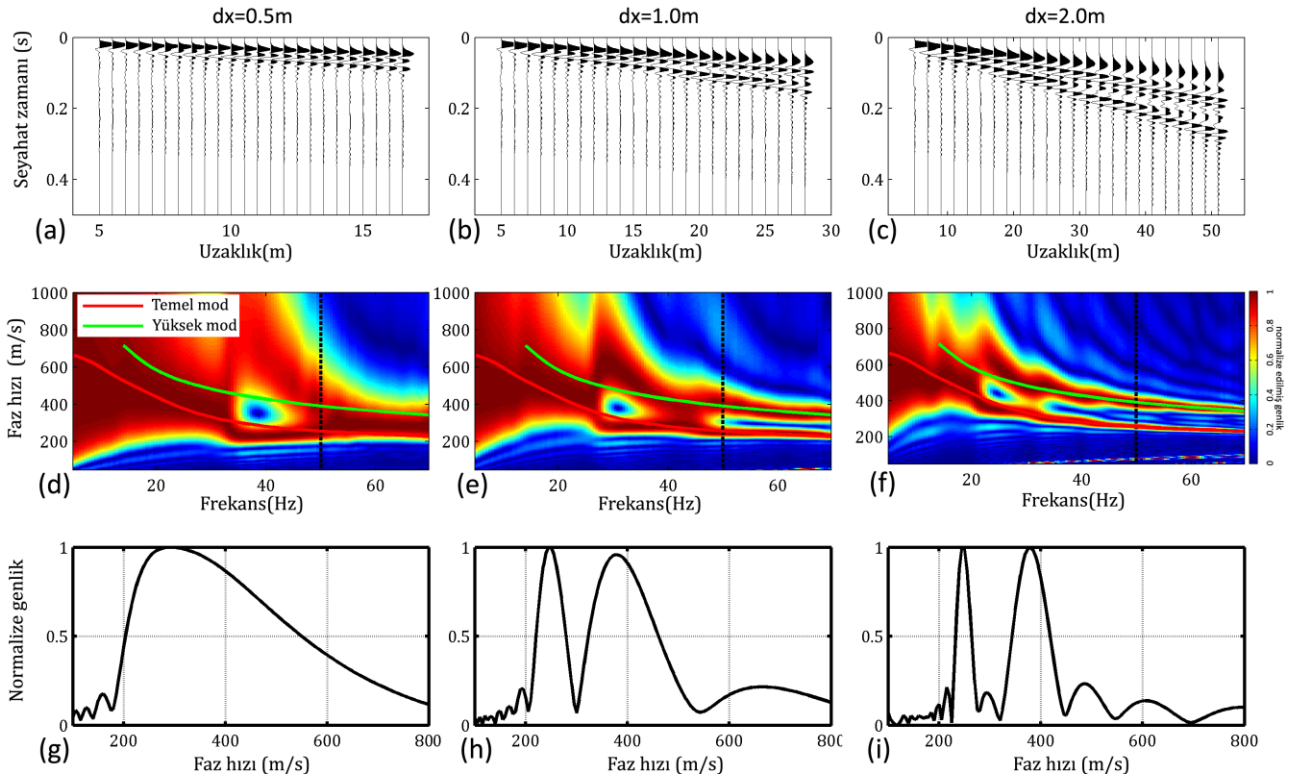
Artan alıcı sayısı serim boyunun artırır ve dispersiyon eğrisinin en geniş frekans bandında elde edilmesini sağlar. Şekil 7, sabit alıcı aralığı için alıcı sayısının artmasının A-ÇKYDA verisi üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil 7a, 7c ve 7e'deki atış verileri Şekil 1b'deki temel mod dispersiyon eğrisine uygun olarak hesaplanmıştır. Şekil 7'de, artan alıcı sayısına bağlı olarak dalga alanı yelpazesi içindeki düşük ve yüksek frekans fazları belirgin olarak ayrılmakta olduğu görülmektedir. Dolayısıyla $N=12$ ve 24 alıcı için f-v görüntüleri üzerinde teorik ve piklenen dispersiyon eğrileri düşük frekans bölgesinde uyumsuzken, (Şekil 7b ve 7d) $N=48$ alıcı için dispersiyon eğrileri düşük frekans bölgesinde tam olarak uyumludur (Şekil 7f). Böylece, serim boyunun alıcı sayısı ile artırılmasının alıcı aralığının artırılmasına göre çok daha avantajlı olduğu söylenebilir. Çünkü, alıcı aralığının artırılması yüksek frekans bölgesinde bozulmalara ve ince tabakaların görüntülenememesine neden olabilmektedir. Ayrıca, alıcı sayısının artırılması, kısa alıcı aralığı ile uzun serim elde edilmesini sağlar. Dolayısıyla, hem sığ hem de daha derin hız bilgisi güvenilir olarak elde edilebilir ve dispersiyon eğrisinin sürekliliği de artar.



Şekil 7. Alıcı sayısının dispersiyon eğrisi üzerine etkisi. Hesaplamada, kaynak ofseti, X_0 ve alıcı aralığı, dx , sırasıyla, 10 m ve 1.0 m'dir. Yapay atış verileri, $\Delta t=0.001$ s ve $t_w=0.3$ s için hesaplanmıştır. (Effect of the number of receivers on dispersion curve. In calculation, source offset, X_0 and receiver interval, dx are respectively 10 m and 1.0 m. Synthetic shot data are generated for sampling time, $\Delta t=0.001$ s and wavelet duration, $t_w=0.3$ s.)

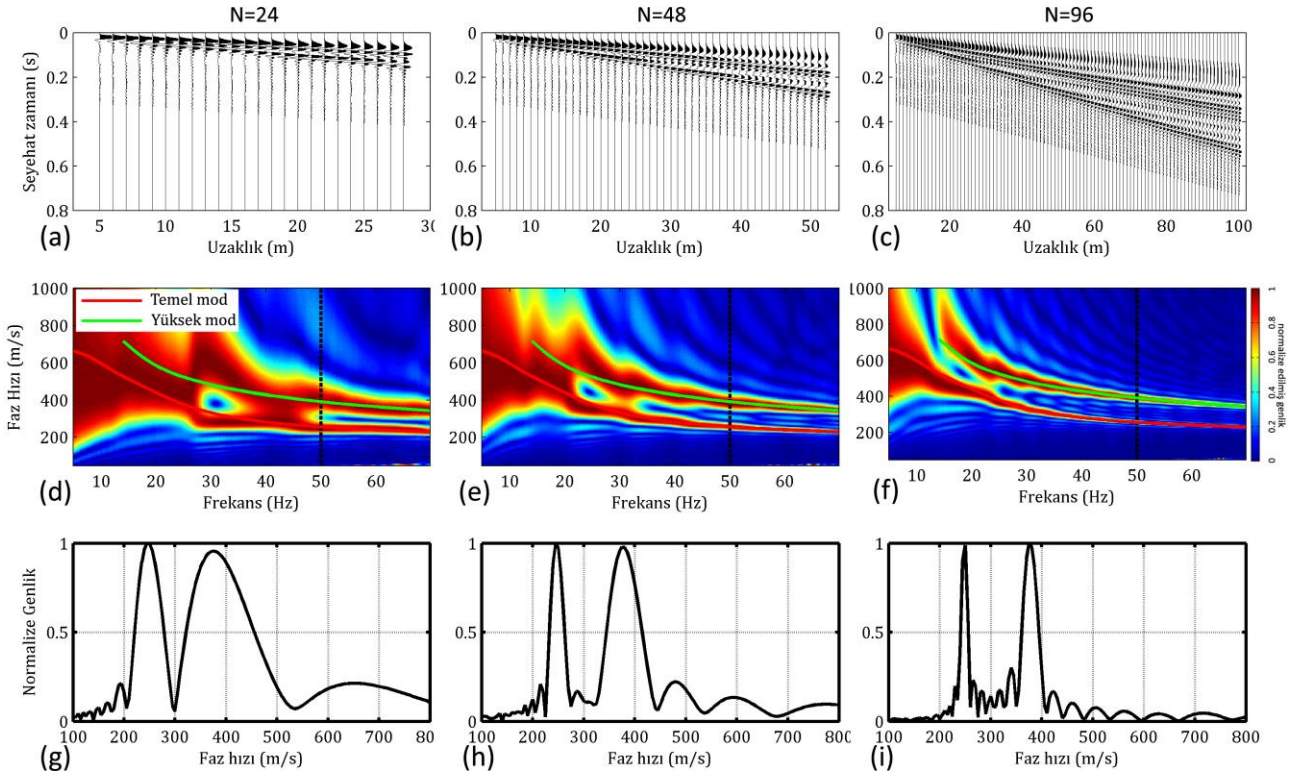
3.2.3. Serim Boyu (Spreading Length), L

Şekil 1a'da görüldüğü üzere, serim boyu, $L=(N-1)*\Delta x$, ilk alıcı ile son alıcı arasındaki mesafe iken, profil boyu, $P=X_0+L$, kaynak ile son alıcı arasındaki mesafe veya kaynak ofseti ile serim uzunluğunun toplamıdır. A-ÇKYDA literatüründe detaylı olarak tartışıldığı gibi, serim boyunun artırılması sadece temel mod dispersiyon eğrisinin çözünürlüğünü arttırmakla kalmaz, aynı zamanda temel-yüksek mod girişiminden kaçınmaya yol açan modların ayırımı da sağlar. Ancak, uzak alıcılara enerji gönderimi yetersiz olacağından, bu alıcılarda gürültünün etkinliği artacaktır. Serim boyu, iki şekilde, yani, alıcı sayısı veya alıcı aralığı artırılarak artırılabilir. Şekil 8 ve 9, serim boyunun artırılmasının temel ve yüksek mod dispersiyon eğrisi çözünürlüğü üzerindeki etkilerini göstermektedir. Şekil 8'de alıcı aralığına uygun olarak serim boyunun artırılmasının temel ve yüksek mod ayırımı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Yapay atış verileri (Şekil 8a, b, c), Şekil 1a'daki yer modeli için hesaplanan temel ve yüksek mod dispersiyon eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Atış verilerinin f-v görüntüleri ve teorik dispersiyon eğrileri (kırmızı çizgi temel mod ve yeşil çizgi birinci yüksek mod) Şekil 8d, e ve f'de gösterilmektedir. Çok açık olarak, alıcı aralığı $\Delta x=0.5$ m iken girişimli olan temel ve yüksek mod dispersiyon eğrisi, artan alıcı aralığı ile özellikle yüksek frekans bandında ayrılmaya başlamıştır. Ancak, düşük frekans bölgesindeki mutlak ayırım ancak $\Delta x=2.0$ m olduğunda görülmüştür (Şekil 8f). Serim boyu artırımının etkisini daha açık göstermek için her üç durum için, $f=50$ Hz' de hız boyunca enerji değişimleri Şekil 8g, h ve i'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere $\Delta x=0.5$ m alıcı aralığında her iki mod için bir ayrımlanma yoktur (Şekil 8g), $\Delta x=1.0$ durumunda ayrımlanma başlamış (Şekil 8h) ve $\Delta x=2.0$ m için ise modlar belirgin olarak birbirinden ayrılabilmiştir (Şekil 8i).



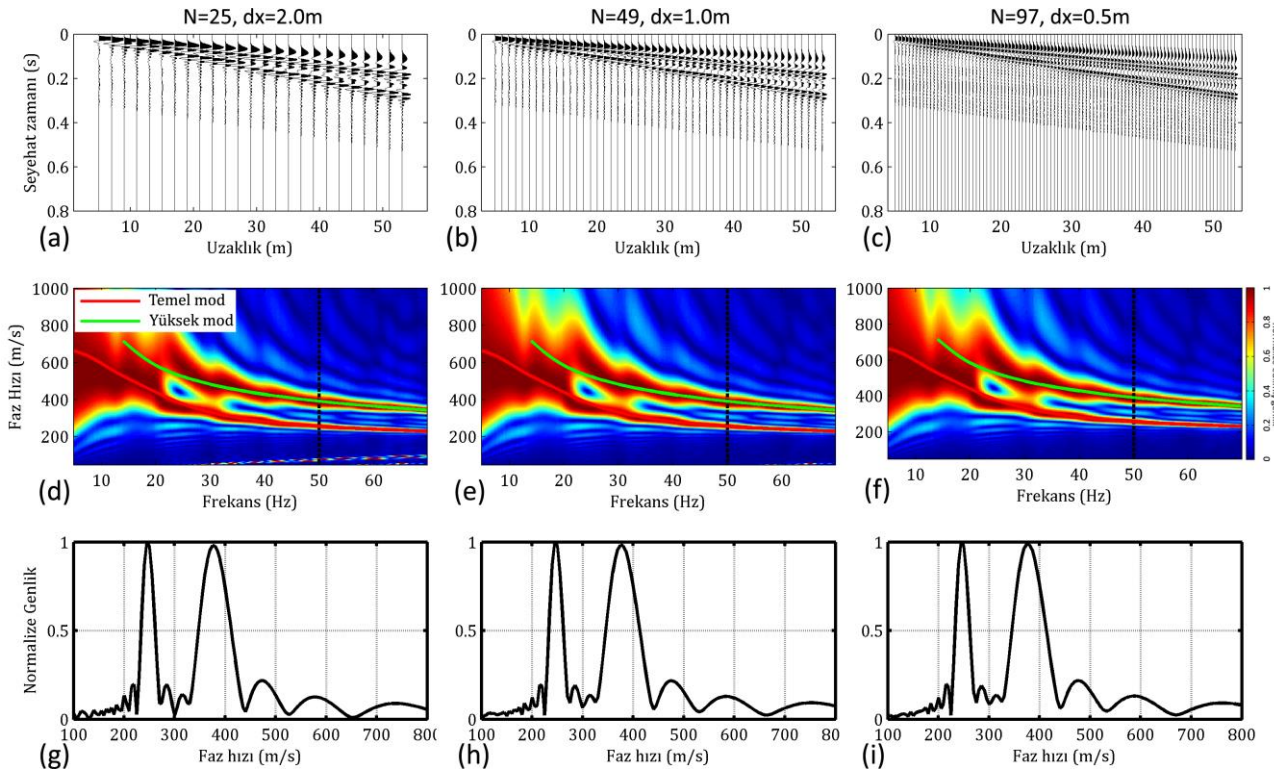
Şekil 8. Alıcı aralığı ile artırılan serim boyunun, $L=(N-1)*\Delta x$, dispersiyon eğrisi ve mod ayrımı üzerine etkisi. Hesaplama, kaynak ofseti, X_0 ve alıcı sayısı, sırasıyla 5.0 m ve 24 olarak kullanılmıştır. Yapay atış verileri, $\Delta t=0.001$ s ve $t_w=0.3$ s için hesaplanmıştır. Hesaplanan yapay veri (a, b, c), temel (kırmızı çizgi) ve yüksek mod (yeşil çizgi) dispersiyon eğrilerini içeren f-v görüntüleri (d, e, f) ve 50 Hz için hız çözünürlüğünün değişim eğrileri (f-v görüntüleri üzerinde kesikli siyah çizgi) (g, h, i) gösterilmiştir. (The effect of the spreading length, $L=(N-1)*\Delta x$, increased by the receiver interval on, dispersion curve and mode separation. In calculation, source offset, X_0 and number of receivers, N are used as 5.0 m and 24, respectively. Synthetic shot data are generated for sampling time, $\Delta t=0.001$ s and wavelet duration, $t_w=0.3$ s. The f-v images (d, e, f) including synthetic shot data (a, b, c), fundamental (red line) and higher (green line) mode dispersion curves, the variations of velocity resolution (g, h, i) at 50 Hz (dashed black lines on f-v images) are shown.)

Serim boyunun artırılmasının diğer bir yolu, alıcı aralığının sabit tutulup, alıcı sayısının artırılmasıdır. Şekil 9, alıcı aralığı $\Delta x=1.0$ m için alıcı sayısının artırılmasının etkisi incelenmiştir. Görüldüğü üzere, alıcı sayısının artırılması daha uzun profilde ölçü alınmasına ve yüzey dalgalarının daha uzun süreli yayılmasını sağlamıştır (Şekil 9a, b, c). Bununla birlikte, temel ve yüksek modlar, $N=24$ alıcılı hesaplanan atış verilerinde birbirine girişimli iken, artan alıcı sayısına bağlı birbirlerinden çok belirgin olarak ayrılmıştır. Düşük frekans bölgesindeki temel ve yüksek mod girişim etkisinin, serim uzunluğunun artmasıyla ilişkili olarak f-v görüntüleri (Şekil 9d, e, f) üzerinde ve $f=50$ Hz'deki hız değişim eğrilerinde (Şekil 9g, h, i) belirgin olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. Alıcı sayısı ile serim uzunluğunun, $L=(N-1)*\Delta x$, artırılmasının dispersiyon eğrilerinin ayrımlılığı üzerine etkileri. Hesaplamada kaynak ofseti $X_0=5.0$ m ve üç farklı alıcı aralığı $\Delta x_1=1.0$ m, $\Delta x_2=0.5$ m ve $\Delta x_3=0.25$ m olarak kullanılmıştır. Yapay atış verileri, örnekleme zamanı $\Delta t=0.001$ s ve $t_w=0.3$ s için hesaplanmıştır. Hesaplanan yapay veri (a, b, c), temel (kırmızı çizgi) ve yüksek mod (yeşil çizgi) mode dispersiyon eğrilerini içeren f-v görüntüleri (d, e, f) ve 50 Hz için hız değişimi eğrileri (f-v görüntüleri üzerinde kesikli siyah çizgi) (g, h, i) gösterilmiştir. (The effects of increasing spreading length, $L=(N-1)*\Delta x$, by the number of receivers on the resolution of the dispersion curves. In calculation, source offset, X_0 and three receiver intervals, $\Delta x_1=1.0$ m, $\Delta x_2=0.5$ m ve $\Delta x_3=0.25$ are used. Synthetic shot data are generated for sampling time, $\Delta t=0.001$ s and wavelet duration, $t_w=0.3$ s. The f-v images (d, e, f) including synthetic shot data (a, b, c), fundamental (red line) and higher (green line) mode dispersion curves, the variations of velocity resolution (g, h, i) at 50 Hz (dashed black lines on f-v images) are shown.)

Profil ve serim uzunluğunun sabit, buna karşılık alıcı sayısının artırılmasının dispersiyon eğrisi üzerinde etkisi ise, Şekil 10'da gösterilmiştir. Burada kaynak ofseti $X_0=5.0$ m sabit alınmış ve serim boyunun eşit olması için artan alıcı sayısına karşılık alıcı aralıkları kademeli olarak azaltılmıştır. Buna göre alıcı sayısı ve aralığı çifti $[N=25, \Delta x=2.0$ m]; $[N=49, \Delta x=1.0$ m]; ve $[N=97, \Delta x=0.5$ m] olarak kullanılmıştır. Böylece sırasıyla serim ve profil boyları tüm ölçüm boyunca 48.0 m ve 53.0 m olarak sabitlenmiştir. Yapay atış verilerinden görüldüğü üzere, alıcı sayısı artırılmış olsa dahi, dalganın yayılma süresi değişmediğinden temel ve yüksek mod yüzey dalga alanlarının görünümünde serim boyunca bir değişim olmamıştır (Şekil 10a, b, c). Ancak alıcı sayısının artması yüzey dalgalarının daha fazla alıcıda örneklenmesini sağlamıştır. Hesaplanan atış verilerinin f-v görüntüleri incelendiğinde (Şekil 11d, e, f), temel ve yüksek mod enerji dağılımlarının hemen hemen birbirine eşdeğer olduğu görülmektedir. Sadece $[N=25, \Delta x=2.0$ m] durumunda düşük hız bölgesinde dalga sayısı katlanması ile ilişkili olarak alıcı aralığı etkisinden dolayı önemsiz olarak değerlendirilebilecek bir sayısal gürültü (artifact) oluşmuştur. Şekil 10g, h, i'deki $f=50$ Hz'e karşılık hız değişim eğrileri de birbirine eşdeğerdir. Bu testten anlaşılmaktadır ki, sabit profil ve/veya serim uzunluğu durumunda alıcı sayısının artırılması, dispersiyon enerji alanlarının, en geniş frekans aralığında daha sürekli görüntülenmesini sağlar ve dalga sayısı katlanmasını engeller.



Şekil 10. Sabit profil ve serim uzunluklarının dispersiyon eğrisi üzerindeki etkisi. (a, b, c) Şekil 1b'deki yer modeline göre hesaplanan temel ve yüksek mod dispersiyon eğrilerine uygun yapay atış verileri. Kaynak ofseti $X_0=5.0$ m'dir. (d, e, f) f-v görüntüleri ile birlikte karşılaştırma için temel (kırmızı çizgi) ve yüksek (yeşil çizgi) mod dispersiyon eğrileri. (g, h, i) $f=50$ Hz'deki faz hızı değişim eğrileri. (Effect of the constant profile length and the spreading length on dispersion curve. (a, b, c) synthetic shot data for the fundamental and higher mode dispersion curves, which are calculated for the subsurface model in Figure 1b. Source offset, X_0 , is 5.0 m. For comparison, (d, e, f) fundamental (red line) and higher (green line) mode dispersion curves on f-v images. (g, h, i) phase velocity variation curves at $f=50$ Hz.)

4. Sonuçlar (Results)

A-ÇKYDA ölçümünde, Rayleigh yüzey dalgası dispersiyon eğrisi, S-dalgası hızına ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değişir. Buna karşılık, P-dalgası hızının ve yoğunluğunun değişiminden kaynaklanan etkiler ihmal edilebilir.

- Temel mod dispersiyon eğrisinin genel karakteri, S-dalgası hızına ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değişir. Buna karşılık, P-dalgası hızının ve yoğunluğunun değişiminden kaynaklanan etkiler ihmal edilebilir.
- Ara tabakalardaki S-dalgası hızı azalması (yumuşak ara tabaka), temel mod dispersiyon eğrisinin düşük frekans bölgesinde yüksek hızlardan düşük hızlara doğru ani bir düşüşüne ve yüksek frekans bölgesinde ise sürekliliğin bozulmasına (kararsızlaşmasına) neden olur (zik-zak etkisi).
- Ara tabakalardaki S dalgası hızı artışı (sert ara tabaka), temel mod dispersiyon eğrisini düşük-yüksek-düşük hızlara değişen salınımlı hale getirir ve bu hız artışı yüksek mod olarak değerlendirilebilir.
- Yüzeye yakın yüksek hızlı ince veya kalın malzemelerin (asfalt, beton, bazaltik lavlar vb.) bulunması durumunda dispersiyon eğrisinin sürekliliği bozulur ve kalınlık arttıkça bu bozulma daha düşük frekanslara kayar.
- İnce tabakalar yüksek hız, kalın tabakalar ise düşük hız etkisine neden olurlar. Bu etki, ters çözümün önemli bir belirsizlik kaynağını oluşturabilir.

Veri toplama parametrelerinin analizinden elde edilen sonuçlar;

- Kaynak ofseti, X_0 arttıkça, hem Rayleigh yüzey dalgasının tam olarak oluşumu hem de temel mod dispersiyon eğrisinin daha iyi karakterize edilmesi sağlanır.

- Yapay testler, X_0 değerinin hedef kalınlık veya serim uzunluğu kadar alınmasının dispersiyon eğrisinin en geniş frekans aralığında yüksek doğrulukla işaretlenmesini sağlayacağını göstermiştir. Bununla birlikte, çok uzun kaynak ofseti kullanmak, uzak ofsetlerde gürültü girişimini ve mod girişimlerini artıracığından temel ve yüksek mod dispersiyon eğrilerinin kalitesine her zaman katkı sağlamayabilir. Ayrıca, çok uzun kaynak ofsetlerini kullanmak uygulamada her zaman pratik olmayacağı dikkate alındığında, X_0 değerinin en azından alıcı aralığının dört katı ($X_0 \geq 4 \cdot dx$) veya serim boyunun beşte biri ($X_0 \geq L/5$) kadar alınmasının yeterli olacağı gözlenmiştir.
- Alıcı aralığı (dx) dispersiyon eğrisinin sürekliliğini ve dalga sayısı katlanmasını kontrol eder. Bununla birlikte alıcı aralığının artırılması, serim dolayısıyla profil boyunun artırılmasını sağlamaktadır. Ancak, alıcı aralığının artırılması, yüksek frekans bölgesinde dalga sayısı katlanmasına neden olur ve bu durum hedeflenen en ince katmanların görüntülenememesine neden olabilir.
- Yüzey dalgası dalga formlarının tam olarak oluşması için kaynak ofsetinin seçimi önemli iken, temel ve/veya yüksek mod dispersiyon eğrilerinin sürekliliği ve çözünürlüğü için serim uzunluğu son derece önemlidir. Serim uzunluğu ($L=(N-1) \cdot dx$) alıcı sayısının veya alıcı aralığının artırılması ile sağlanabilir. Daha fazla sayıda alıcı (N) kullanmak, temel mod dispersiyon eğrisinin daha geniş bir frekans aralığında ayrımlı ve sürekli olarak elde edilmesini ve yüksek modların da birbirinden ayrımlı olarak görüntülenmesini sağlar. Buna karşılık, uzun profil ve serim boyları uzak alıcılarda gürültü etkinliğinin artmasına, dolayısıyla sinyal/gürültü oranının azalmasına neden olabilir.

Sonuç olarak, yapay testler göstermiştir ki, yüksek kalitede dispersiyon eğrisi elde etmek için, en uygun uzunluktaki serim boyunun belirlenmesi gereklidir ve bu A-ÇKYDA sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır. Gerçek arazi çalışmalarında ortamın litolojisine, jeomorfolojisine ve ekipman imkanlarına göre kaynak ofseti, alıcı aralığı ve alıcı sayısı kaliteli veri toplamak için en uygun kombinasyonlarda seçilebilir. Bununla birlikte, bu yapay çalışmalardan elde edilen gözlemler sonucu aşağıda verilen Tablo 1'deki kombinasyonlar veri toplama parametre seçimini kolaylaştırıcı katkı sağlayabilir.

Tablo 1. Yapay testlerden gözlemlere göre, alıcı sayısı, alıcı aralığı ve kaynak ofseti için uygun değerler. Alıcı sayısı arttırıldığında, alıcı aralığı azaltılmalıdır. (Convenient values for the number of receivers, receiver interval, and source offset, based on observations from synthetic tests. As the number of receivers is increased, the receiver interval should be reduced.)

Alıcı Sayısı, N	Alıcı aralığı, dx	Kaynak ofseti, X_0
$N < 24$	$4.0m \leq dx \leq 2m$	$X_0 \geq 4 \cdot dx$ veya $X_0 \geq L/5$
$N \geq 24$	$0.5m \leq dx \leq 2m$	

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar sayın editör Çağlayan BALKAYA'ya, yapıcı eleştirileri ile makalenin gelişimine katkı sağlayan isimleri belirtilmemiş olan sayın hakemlere teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aki K., Richards P.G. Quantitative seismology. 2nd ed. University Science Books; 2002.
- Beatty, K. S., Schmitt, D. R., Sacchi, M., 2002. Simulated annealing inversion of multimode Rayleigh wave dispersion curves for geological structure, Geophysical Journal International 151:622-631.
- Buchen, P. W., Ben-Hador, R., 1996. Free-mode surface-wave computations. Geophysical Journal International, 124 (3), 869–887.
- Chen, X., 1993. A systematic and efficient method of computing normal modes for multilayered half-space, Geophys. J. Int., 115, 391-409.
- Dal Moro, G., Pipan, M., Forte, E., & Finetti, I., 2003. Determination of Rayleigh wave dispersion curves for near surface applications in unconsolidated sediments. In SEG International Exposition and Seventy-Third Annual Meeting, 24-31 October 2003, Dallas, Texas (Vol. 22, pp. 1247–1250).
- Dal Moro, G., Ferigo, F., 2011. Joint analysis of Rayleigh and Love wave dispersion for Near-surface studies: issues, Criteria and Improvements. Journal of Applied Geophysics 75: 573–89.
- Dal Moro, G., Keller, L., Moustafa, S.R., Al-Arifi, N., 2016. Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study. Journal of Applied Geophysics 134: 112–24.

- Dikmen, Ü., Arısoy, M. Ö., ve Akkaya, İ., 2010, Offset and linear spread geometry in the MASW method: *J. Geophys. Eng.*, 7, 211–222.
- Foti, S., Parolaj, S., Albarello, D., ve Picozzi, M., 2011. Application of Surface-Wave Methods for Seismic Site Characterization: Survey in Geophysics, 32, 777–825.
- Foti S, Lai CG, Rix GJ, Strobba C. Surface wave methods for near-surface site characterization. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2015.
- Foti, S., Hollender, F., Garofalo, F., Albarello, D., Asten, M., Bard, P.-Y., Comina, C., Cornou, C., Cox, B., Giulio, G.D., Forbriger, T., Hayashi, K., Lunedei, E., Martin, A., Mercerat, D., Ohrnberger, M., Poggi, V., Renalier, F., Sicilia, D., Socco, V., 2017. Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project, *Bulletin Earthquake Engineering*, 1–54.
- Gao, L., Xia, J., Pan, Y., Xu, Y., 2016. Reason and condition for mode kissing in MASW method, *Pure Appl Geophys.*, 173(5):1627–38.
- Hisada Y., 1994. An efficient method for computing Green's function for a layered half space with sources and receivers at close depth, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 1456-1472.
- Hisada Y., 1995. An efficient method for computing Green's function for a layered half space with sources and receivers at close depth (part 2), *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 1080-1093.
- Ivanov, J., Park, B. C., Miller, R. D., Xia, J., 2005. Analysing and Filtering Surface-Wave Energy By Muting Shot Gathers. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 10:307–322
- Kanlı, A. I., Tildy, P., Pranay, Z., Pınar, A., Hermann, L., 2006. Vs30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey, *Geophysical Journal International*, 165:223-235.
- Karlı, H., Şenkaya, G., Şenkaya, M., Güney, R., 2017. Investigation of soil structure in Uzungöl settlement area by Shallow Seismic Methods, *Eurasian Journal of Soil Science*, 6, 134-143.
- Kennett, B. L. N., 1983. *Seismic wave propagation in stratified media*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lai, C.G., (1998). "Simultaneous Inversion of Rayleigh Phase Velocity and Attenuation for Near-Surface Site Characterization," Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology.
- Lai, C.G., ve Rix, G.J., 1998, Simultaneous Inversion of Rayleigh Phase Velocity and Attenuation for Near-Surface Site Characterization: Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, Report No. GIT-CEE/GEO-98-2, 258 pp.
- Lai, C.G., Foti, S., Rix, G.J., 2005. Propagation of data uncertainty in surface wave inversion. *J Environ Eng Geophys*, 10(2):219–28.
- Miller, R. D., Xia, J., Park, C. B., Ivanov, J. M., 1999. Multichannel analysis of surface waves to map bedrock, *The Leading Edge*, 12:1392-1396.
- Olafsdottir, E.A., Besson, B., Erlingsson, S., 2018. Combination of dispersion curves from MASW measurements, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 113, 473–487.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., 1998. Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record" 68th Annual International Meeting of Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstract 1377-1380.
- Park, C. B., Miller, R. D., ve Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves (MASW): *Geophysics*, 64, 800-808.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., 2001. Offset and resolution of dispersion curve in 724 multichannel analysis of surface waves (MASW), *Proceedings of the SAGEEP*, 725 SSM4, 1-6.
- Park, C.B., Miller, R.D., ve Miura, H., 2002. Optimum field parameters of an MASW survey: Extended Abstract, SEG-J, May 22-23, Tokyo.
- Park, C. B. 2011. Imaging dispersion of MASW data-Full vs. selective offset scheme, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 16:13-23.
- Pei D., 2007. Modeling and inversion of dispersion curves of surface waves in shallow site investigations, Ph.D. Thesis. Reno, NV, University of Nevada.
- Pei, D. Louie, J. N., Pullammanappallil, S.K., 2008. Improvements on Computation of Phase Velocities of Rayleigh Waves Based on the Generalized R/T Coefficient Method , *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, No. 1, pp. 280–287.
- Rix, G.J., Lai, C.G., 2000. Software package tools for surface wave analysis. Available at the WEB site: http://www.ce.gatech.edu/~grix/surface_wave.html#Software.
- Sauvin, G., Vanneste, M., Heureux, J.S.L., L'Heureux J-S., O'Connor P., O'Rourke S., 2016. Impact of data acquisition parameters and processing techniques on S-wave velocity profiles from MASW—Examples from Trondheim, Norway. In: *Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting*. 2016, 1297–306.
- Song, X., Gu, H., 2007. Utilization of multimode surface wave dispersion for characterizing roadbed structure, *Journal of Applied Geophysics*, 63(2):59–67.
- Şenkaya, M., Karlı, H., 2016. Joint inversion of Rayleigh-wave dispersion data and vertical electric sounding data: synthetic tests on characteristic sub-surface models, *Geophysical Prospecting*, 64, 228-246, 2016.
- Şenkaya, M., Karlı, H., Socco, V.L., Foti, S., 2020. Obtaining reliable S-wave velocity depth profile by joint inversion of geophysical data: the combination of active surface-wave, seismic refraction and electric sounding data, *Near Surface Geophysics*, 18, 659-682.
- Taipodia, J., Baglari, D., Dey, A., 2018. Recommendations for generating dispersion images of optimal resolution from active MASW survey, *Innovative Infrastruct. Solut.* 3, 1–19.
- Taipodia J., Dey, A., Gaj S., Baglari D., 2020. Quantification of the resolution of dispersion image in active MASW survey and automated extraction of dispersion curve. *Computer and Geoscience*, 135:104360-1-19.
- Taipodia J., Dey, A., Gaj S., Baglari D., 2020. Influence of receiver layout on active MASW survey conducted at different sites having varying substrata characteristics, *Arabian Journal of Geosciences* (2021) 14: 1143.
- Uyanık, O., Çatlıoğlu, B., 2010, Determination of density from seismic velocities, the 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey 23 – 26 November Ankara / Turkey.

- Vanlı Senkaya, G., Senkaya, M., Karsli, H., Güney, R., 2020, Integrated shallow seismic imaging of a settlement located in a historical landslide area, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79 1781–1796.
- Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., 1999. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave, *Geophysics*, 64:691-700.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Tian, G., 2003. Inversion of high frequency surface waves with fundamental and higher modes, *Journal of Applied Geophysics*, 52(1):45–57.
- Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., Ivanov, J., Tian, G., and Chen, C., 2004, Utilization of high-frequency Rayleigh waves in near-surface geophysics: The Leading Edge, 23(8) 753–759.
- Xu, Y., Xia, J., Miller, R. D., 2006. Quantitative estimation of minimum offset for multichannel surface-wave survey with actively exciting source, *Journal of Applied Geophysics*, 59:117-125.
- Yılmaz, O., Eser, M., 2002. A unified workflow for engineering seismology, 72nd Ann. Mtg. SEG (Salt Lake City, UT) pp 1496–9.
- Zhang, S.X., Chan, L.S., 2003. Possible effects of misidentified mode number on Rayleigh wave inversion, *Journal of Applied Geophysics*, 53(1):17–29.
- Zhang, S. X., Chan, L. S., and Xia, J., 2004, The Selection of Field Acquisition Parameters for Dispersion Images from Multichannel Surface Wave Data: *Pure appl. Geophysics*, 161, 185–201.



DETERMINING THE EFFECT OF LEVEL OF FLOOR, EXTERNAL WALL THICKNESS AND JACKETING ON ACOUSTIC COMFORT IN EXISTING RESIDENTIAL BUILDINGS IN TURKEY

Murat ÇEVİKBAŞ*

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Dept. of Civil Engineering, Isparta, Türkiye

Keywords

Noise Comfort,
Noise Standard,
Insulation,
Construction.

Abstract

Since people spend most of their time in the residences especially during the pandemic, acoustic comfort has come into prominence. Many studies were conducted to improve acoustic comfort. Notwithstanding the fruitful existing studies, there is no study detecting the correlation of building elements with acoustic comfort. Therefore, in this study, the correlation of floor levels, wall thickness and the availability of jacketing with the acoustic performances of existing residential buildings constructed before 2017 were investigated according to Regulation on the Protection Against Noise in Buildings entering into force on 31st May 2017 with Official Gazette. The noise levels of 155 residences in residential buildings were investigated and correlations of the level of the floor, exterior wall thicknesses and jacketing with the noise comfort were detected with the help of Pearson Correlation computed via SPSS software. It is believed that this study will improve practical implementations of existing standards in the construction industry.

TURKİYE'DE MEVCUT KONUT BİNALARINDA KAT SEVİYESİNİN, DIŞ DUVAR KALINLIĞININ VE MANTOLAMANIN AKUSTİK KONFOR ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Anahtar Kelimeler

Ses Konforu,
Ses Standardı,
Yalıtım,
İnşaat.

Öz

Özellikle pandemi döneminde insanlar zamanlarının çoğunu mekanlarda geçirdiği için; akustik konfor ön plana çıkmıştır. Akustik konforu iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Mevcut verimli çalışmalara rağmen, yapı elemanlarının akustik konfor ile ilişkisini tespit eden bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, 2017 yılından önce inşa edilmiş mevcut konut binalarının kat seviyeleri, duvar kalınlığı ve mantolama mevcudiyetinin akustik performansları ile ilişkisi, 31 Mayıs 2017 tarihinde Resmi Gazete'de yürürlüğe giren Binalarda Gürültüden Korunma Yönetmeliği'ne göre araştırılmıştır. Konut binalarındaki 155 mekanın gürültü seviyeleri incelenmiş ve kat seviyesi, dış duvar kalınlığı ve mantolamanın gürültü konforu ile korelasyonları SPSS yazılımı ile hesaplanan Pearson Correlation yöntemi yardımı ile tespit edilmiştir. Bu çalışmanın inşaat sektöründe mevcut standartların pratik uygulamalarını iyileştireceği düşünülmektedir.

Alıntı / Cite

Cevikbas, M., (2022). Determining the Effect of Level of Floor, External Wall Thickness and Jacketing on acoustic Comfort in Existing Residential Buildings in Turkey, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 963-972.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Çevikbaş, 0000-0002-8421-6591

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.02.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.04.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: muratcevikbas@isparta.edu.tr, +902462146843

1. Introduction

The quality of interaction between occupants and residences determines the livability standards of the residences. (Brooker, Stone, & Uçar (çevirmen), 2012). In this context, the sound comfort of residences affects people physiologically and psychologically. Strong correlations were observed between the sound comfort and quality of occupants' interactions in the residences (Maraş, Alkış, & Maraş, 2010). By the same token, noise intensity has a detrimental effect on living beings (Chen & Kang, 2011). Additionally, when mechanical sound - which is dominantly perceived - skyrockets the disturbance, natural sound - which is dominantly perceived increases the relaxation of human beings (Zhang, Ba, Kang, & Meng, 2018). For this reason, to ensure the sound comfort of occupants, it is essential to determine and apply the acoustic criteria correctly during the design phase of new buildings, and it is also vital to maintain noise standards in the existing buildings (Şentop, 2013). Many researchers have contributed to acoustic comfort for new and existing buildings, and numerous effects of community noise have also been examined (Yang & Kang, 2005). Demirel (2006) conducted a study concerning indoor noise measurements for the living rooms and bedrooms in one of the apartment blocks constructed via tunnel formwork in Ankara. Obtained data were evaluated by comparing them with the Noise Control Regulation and Noise Control Criteria, and it was determined that there was noise which was above the acceptable level in these rooms, and necessary precautions were recommended. Acar and Akdag Yugruk (2008) introduced the requirements to be accomplished for open-plan offices during the architectural design phase in order to satisfy auditory comfort. In this context, with the help of Odeon 8.0 program, parameters such as "heights of different partition" and "absorption of different surface " were evaluated and the most suitable conditions were determined to provide auditory comfort. Morgül and Dal (2012) conducted a study in which maximum noise levels of important places in the city center of Sakarya were measured and compared with the related noise regulations. Certain locations such as noise-sensitive areas and areas with high traffic were selected to measure in different periods during a month. It was detected that the noise levels of most of the locations were higher than the maximum noise level. It was determined that the entire city center of Sakarya was noisy and bothers people psychologically and physiologically. Özçetin and Demirel (2012) compared the noise regulations of the UK, the US, Germany and Turkey for conservatory buildings. It was emphasized that our country's regulation was insufficient for educational buildings. Similarly, Tüzel (2013) played two audios in a noisy classroom and a noiseless soundproof classroom environment, made up of a group of 146 students who were in 5th grade, and this study emphasized how much the environment affects the students' comprehension and remembering skills. It was determined that students recall at a higher rate in the noiseless environment. Özer (2014) determined that Aziziye Park in the city center of Erzurum exceeded the noise limit set by the regulation for the evening, and solutions were proposed to reduce noise pollution in the park. Also, Bayramoğlu et al. (2014) made noise measurements in Meydan Park and Fatih Park in Trabzon city center. As a result of this study, it was concluded that the intensity of the noise changes depending on the vehicle traffic. It was concluded that it would be appropriate to use natural and artificial elements in the parks in order to provide acoustic comfort and reduce the noise level to the values specified by the regulation. Next, Kavraz (2015) observed environmental-based noise in the KTÜ Kanuni Campus. The observations and measurements were made and the obtained data were compared with the noise limits specified in the regulation. It was concluded that the measured locations were highly affected by noise. Suggestions were made to minimize the existing noise. Furthermore, Özçetin et al. (2015) assessed the current situation in terms of acoustic comfort conditions in the classes at the Department of Architecture at Bozok University. As a result of the measurements and analyses via Insul 6.4 simulation program in accordance with the TS EN ISO 16283-1 standard, it was concluded that the insulation performance against airborne sound did not meet the values recommended in the regulation due to the acoustic performance of the materials used on the walls. As a result of the evaluations made with the Insul program, appropriate results were obtained in terms of the sound insulation during the sound transmission in the educational buildings by proposing the different building materials having sound insulation. Bulunuz et al. (2017) evaluated the level, reasons, and effects of noise with the help of sound measurement gauge, and surveying data were obtained from teachers and administrators for acoustically improved schools. According to the survey results, the noise level of the school is considered as low and medium level. This study highlighted that the necessary acoustic precautions should be taken by carrying out precautions concerning noise pollution and providing noise awareness training in all schools. Moreover, Untuç and Yügrük Akdağ (2017) conducted a study concerning the conservatory buildings, the thickness values of the envelope and interior partition elements were determined with the help of the acoustic simulation program. Thus, as a result of the calculations which consider the region, volume, function and features of the area, an exemplary application in terms of noise control was put forward for the development of the regulation concerning "Protection of Buildings Against Noise". With respect to the Multi-Purpose Hall of Cultural Center in Sivas, their acoustic designs which were developed for conference, concert, opera and theater functions were analyzed and evaluated by Demirel et al. (2018). Suggestions were made for the acoustic comfort recommended by the national and international standards as well as literature. In the study conducted by Cansever (2019), the level of noise pollution was determined by measuring the noise pollution in certain regions of Amasya. The effects of noise level on human and environmental health were examined and fruitful suggestions were made.

Regulation concerning Assessment and Management of Environmental Noise was enacted on 25.06.2002, 07.03.2008 and 04.06.2010 with the regulation numbers of 2002/49/EC, 26809 and 27601 respectively. Regulation concerning Protection of Employees from Risks Related to Noise came into force on 28.07.2013. The issue of noise control in buildings has been taken under legal control by the “Regulation on the Protection Against Noise in Buildings”, which was published in the Official Gazette on 31.05.2017. The implementation of this entered into force on 1 June 2018 in order to provide auditory comfort in buildings.

By considering the regulation and existing studies, it was brought to light that there is no study detecting the correlation of floor levels, exterior wall thickness and availability of jacketing with acoustic comfort of the existing residential buildings in Turkey. Thus, in this study, the correlation of the level of floor, wall thickness and the availability of the jacketing in the existing residential buildings in Turkey constructed before 2017 with the acoustic performances were detected according to regulation concerning “Regulation on the Protection Against Noise in Buildings”. 155 residences in different buildings having sides to the main streets were investigated in Isparta in Turkey. The obtained data were evaluated to detect the correlation of sound performance with the level of the floor, the thickness of the wall and the existence of the jacketing via Pearson correlation computed by SPSS software. This study detected strong correlations of noise performance with structural factors such as the thickness of the wall and the existence of the jacketing.

2. Classification of Acoustic Standards as per Regulation on the Protection Against Noise in Buildings

According to this regulation, the background noise of the existing buildings and acoustic performance classes in the regulation are compared to detect whether these residences satisfy the acoustic comfort or not. Background noise (for buildings) is defined as the remaining total sound measured at the same location when the noise source in the environment is deactivated (Çevre ve Şehircilik Başkanlığı, 2017). Acoustic performance classes - which are identified as A, B, C, D, E or F in the regulation - are determined by considering the internal noise, the insulation values of the building elements, the internal noise levels arising from service equipment and the reverberation times. While A represents the highest performance, F stands for the lowest performance (Çevre ve Şehircilik Başkanlığı, 2017). At least C and D classes should be met for new buildings and existing buildings respectively. Permitted noise levels in the residence depending on the acoustic performance class are illustrated in Table 1 below.

Table 1. Permitted noise levels in the residence depending on the acoustic performance class (Çevre ve Şehircilik Başkanlığı, 2017)

Function of Building	Location	Time Period		Internal noise level, L_{Aeq}^2					
		Night (23.00 -07.00)		Acoustic Performance Class					
		Evening (19.00-23.00)							
		Morning (07.00-19.00)		A	B	C	D	E	F
Residential Buildings	Bedrooms	Night		26	30	34	38	42	46
	Living Spaces	24 hours		31	35	39	43	47	51
	Kitchens	24 hours		31	35	39	43	47	51

3. Proposed Method

In this study, in order to define how to improve the acoustic standards in existing structures, the correlation of the floor levels, wall thickness and the existence of the jacketing in the existing residential buildings constructed before 2017 with the acoustic performances were investigated in accordance with “Regulation on the Protection Against Noise in Buildings” published in the Official Gazette on 31st May 2017. In order to achieve the objective of this study, background noises of 155 residential buildings which have side to the main road and are located in Isparta in Turkey were measured and the level of floors, exterior wall thicknesses and the existence of the jacketing were determined. The obtained data were compared with the highest value permitted in the standard concerning “Regulation on the Protection Against Noise in Buildings” for the existing spaces of buildings in order to determine the acoustic comfort of the measured spaces. Then, the correlations of the level of floors, wall thickness and jacketing with the acoustic comfort values in the buildings were determined. Considering TS ISO 1996-2 standards (Turkish Standard, 2009), 465 measurements were conducted in 155 residences with a volume less than 300 m³ in different regions via a device named Testo 816-1. Measured buildings were constructed before the “Regulation on the Protection Against Noise in Buildings” entering into force in 2017. According to TS ISO 1996-2 standards (Turkish Standard, 2009) , at least three different microphone positions - which are evenly located - should be used in a room where sound-affected people spend time. If low-frequency noise is considered to be dominant, one

of the three microphone positions should be in the corner of the room. The location of the corner microphone should be located at a distance of at least 0.5 meters from the nearest wall. Other microphones should be positioned at least 0.5 meters from walls, ceiling or floor. It should also be positioned 1 meter away from prominent sound-conducting elements such as windows or air intakes. The distance between two neighboring microphones should be at least 0.7 meters. The processes in this article are mainly designed for rooms with a volume of less than 300 m³. The data obtained from the existing structures were compared with the C and D acoustic performance classes defined in the regulation, and thus the acoustic comforts of the existing structures were determined according to this standard. Then, the correlation of sound performance with the level of the floor, the thickness of the wall and the existence of the jacketing in existing buildings were determined by using SPSS software. Since the sample size is greater than 30 and the normal distribution is valid, Pearson correlation was adopted for this study.

4. Findings

In order to achieve the objective of this study, 155 spaces in residential buildings that had the side to the main street were selected. Permissions from the residents to conduct the noise measurements were requested. 3 measurements from different points as depicted in the regulation were made for each space and a total of 155 measurements were carried out. The results obtained from the residences measured during the day hours are depicted in Table 2 below.

Table 2. The results of the spaces measured during the day hours

Number	Floor #	Type of the space	Location (Isparta, Turkey)	Noise Level (dB)	Corresponding Acoustic Performance Class	Exterior Wall Thickness (cm)	Jacketing
1	3	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	41.2	E	20	No
2	3	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	39.8	E	20	No
3	3	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	49.3	F	20	No
4	3	Living Spaces	Süleyman Demirel Street, Çünür District	40.9	D	21	No
4	3	Kitchen	Süleyman Demirel Street, Çünür District	50	F	20	No
5	2	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	42.1	F	20	No
6	2	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	39	E	20	No
7	2	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	35.4	D	21	No
7	2	Living Spaces	Süleyman Demirel Street, Çünür District	40.3	D	21	No
7	2	Kitchen	Süleyman Demirel Street, Çünür District	49.3	F	20	No
8	2	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	30.1	C	25	Yes
9	2	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	30.6	C	25	Yes
10	2	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	30.4	C	25	Yes
11	2	Living Spaces	Süleyman Demirel Street, Çünür District	37.6	C	25	Yes
11	2	Kitchen	Süleyman Demirel Street, Çünür District	34.7	C	25	Yes
12	3	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	31.8	C	25	Yes
13	3	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	31.7	C	25	Yes
14	3	Bedroom	Süleyman Demirel Street, Çünür District	28.3	C	25	Yes
14	3	Living Spaces	Süleyman Demirel Street, Çünür District	37.2	C	25	Yes

Number	Floor #	Type of the space	Location (Isparta, Turkey)	Noise Level (dB)	Corresponding Acoustic Performance Class	Exterior Wall Thickness (cm)	Jacketing
15	3	Kitchen	Süleyman Demirel Street, Çünür District	37.2	C	25	Yes
16	3	Living Spaces	202 Street, Zafer District	40.4	D	21	Yes
16	3	Kitchen	202 Street, Zafer District	31.4	C	21	Yes
17	3	Bedroom	202 Street, Zafer District	33	C	21	Yes
18	4	Living Spaces	202 Street, Zafer District	45.2	E	20	No
18	4	Kitchen	202 Street, Zafer District	40.3	D	21	No
19	4	Bedroom	202 Street, Zafer District	38.3	E	20	No
20	3	Living Spaces	202 Street, Zafer District	47.9	F	20	No
20	3	Kitchen	202 Street, Zafer District	41.6	D	21	No
21	3	Bedroom	202 Street, Zafer District	38.7	E	20	No
22	GL	Living Spaces	202 Street, Zafer District	46.6	D	21	No
22	GL	Kitchen	202 Street, Zafer District	46.2	E	20	No
22	GL	Bedroom	202 Street, Zafer District	44.7	F	20	No
23	1	Living Spaces	202 Street, Zafer District	39.2	D	21	No
23	1	Kitchen	202 Street, Zafer District	40.3	D	21	No
24	1	Bedroom	202 Street, Zafer District	35.2	D	21	No
25	2	Living Spaces	202 Street, Zafer District	39.1	D	21	No
25	2	Kitchen	202 Street, Zafer District	41.2	D	21	No
26	2	Bedroom	202 Street, Zafer District	34.4	D	21	No
27	3	Living Spaces	202 Street, Zafer District	36.8	D	21	No
28	3	Kitchen	202 Street, Zafer District	43	D	21	No
29	3	Bedroom	202 Street, Zafer District	34.5	D	21	No
30	GL	Living Spaces	202 Street, Zafer District	43	D	27	Yes
30	GL	Kitchen	202 Street, Zafer District	38,9	C	27	Yes
31	GL	Bedroom	202 Street, Zafer District	38	D	27	Yes
32	GL	Bedroom	202 Street, Zafer District	37,8	D	27	Yes
33	1	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	39,3	C	27	Yes
33	1	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	39,5	D	27	Yes
34	1	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	33,3	C	27	Yes
35	1	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	36,4	D	27	Yes
36	2	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	39,4	D	27	Yes
36	2	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	39	C	27	Yes
37	2	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	34	C	27	Yes
38	2	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	33,4	C	27	Yes
39	2	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	44.6	E	20	No

Number	Floor #	Type of the space	Location (Isparta, Turkey)	Noise Level (dB)	Corresponding Acoustic Performance Class	Exterior Wall Thickness (cm)	Jacketing
40	2	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	43.6	E	20	No
40	2	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	39.1	E	20	No
41	4	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	48.3	F	20	No
41	4	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	52.8	F	20	No
42	4	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	43.6	F	20	No
43	1	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	44.4	E	20	No
43	1	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	47.5	F	20	No
44	1	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	38.1	E	20	No
45	2	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	38,1	C	25	Yes
45	2	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	40,7	D	25	Yes
46	2	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	38	D	25	Yes
47	1	Living Spaces	Mimar Sinan Street, İstiklal District	39.3	D	20	Yes
47	1	Kitchen	Mimar Sinan Street, İstiklal District	41.6	D	20	Yes
48	1	Bedroom	Mimar Sinan Street, İstiklal District	37.9	D	20	Yes
49	4	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	48.7	F	20	No
49	4	Kitchen	İstasyon Street, İstiklal District	42.6	D	21	No
50	4	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	36.1	D	21	No
51	4	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	39	E	20	No
52	1	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	39.1	D	21	No
52	1	Kitchen	İstasyon Street, İstiklal District	43.4	E	20	No
53	1	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	38.1	E	20	No
54	2	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	46.4	E	20	No
54	2	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	37.7	D	21	No
55	2	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	41.8	E	20	No
56	5	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	39	C	27	Yes
56	5	Kitchen	İstasyon Street, İstiklal District	40	D	27	Yes
56	5	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	33,8	C	27	Yes
57	3	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	44.8	E	20	No
57	3	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	41.3	E	20	No
58	5	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	45.2	E	19	No
58	5	Kitchen	İstasyon Street, İstiklal District	49	F	19	No
58	5	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	42.4	F	19	No
59	5	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	40.1	E	19	No
60	2	Living Spaces	İstasyon Street, İstiklal District	44.9	E	20	No

Number	Floor #	Type of the space	Location (Isparta, Turkey)	Noise Level (dB)	Corresponding Acoustic Performance Class	Exterior Wall Thickness (cm)	Jacketing
60	2	Kitchen	İstasyon Street, İstiklal District	45.6	E	20	No
61	2	Bedroom	İstasyon Street, İstiklal District	43.7	F	20	No
62	GL	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	47.3	F	20	No
62	GL	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	39.8	E	20	No
63	4	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	43.5	E	20	No
63	4	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	45.9	E	20	No
64	4	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	38.8	E	20	No
65	1	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	39.1	D	20	Yes
66	1	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	43	D	20	Yes
66	1	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	36.4	D	20	Yes
67	1	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	39.9	D	20	Yes
67	1	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	34.3	D	20	Yes
68	GL	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	48	F	19	No
68	GL	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	41.8	E	19	No
69	2	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	42,2	D	23	Yes
69	2	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	40,4	D	23	Yes
70	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	32,6	C	23	Yes
71	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	33,5	C	23	Yes
71	2	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	40.2	D	25	Yes
72	2	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	41.1	D	25	Yes
73	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	37.3	D	25	Yes
74	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	34.9	D	25	Yes
74	2	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	45.1	E	20	No
75	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	39.4	E	20	No
76	3	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	44.2	E	20	No
76	3	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	38.4	E	20	No
77	1	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	49.4	F	20	No
77	1	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	48.9	F	20	No
78	1	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	43	F	20	No
79	1	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	44.2	F	20	No
80	1	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	43.1	E	20	No

Number	Floor #	Type of the space	Location (Isparta, Turkey)	Noise Level (dB)	Corresponding Acoustic Performance Class	Exterior Wall Thickness (cm)	Jacketing
80	1	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	38.7	E	20	No
81	2	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	40.2	D	21	No
81	2	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	44.2	E	20	No
82	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	34.3	D	21	No
83	2	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	38	D	21	No
84	7	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	44.7	E	20	No
84	7	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	41.4	D	21	No
84	7	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	36.8	D	21	No
85	4	Living Spaces	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	44.7	E	19	No
85	4	Kitchen	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	44.6	E	19	No
85	4	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	41	E	19	No
86	4	Bedroom	Alparslan Türkeş Street, Davraz District	40.3	E	19	No
87	GL	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	38,5	C	20	Yes
87	GL	Kitchen	Gölcük Street, Gülistan District	37,7	C	20	Yes
87	GL	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	34,8	D	20	Yes
88	1	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	41.9	D	21	No
88	1	Kitchen	Gölcük Street, Gülistan District	44	E	20	No
89	1	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	39.1	E	20	No
90	2	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	44.6	E	20	No
90	2	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	40.7	D	21	No
91	3	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	40.8	D	21	No
91	3	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	38.1	E	20	No
92	1	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	45	E	20	No
92	1	Kitchen	Gölcük Street, Gülistan District	47.4	F	20	No
93	1	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	40.4	E	20	No
94	1	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	42.4	F	20	No
95	5	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	42.9	D	21	No
95	5	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	38.1	E	20	No
96	6	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	42.3	D	21	No
96	6	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	39	E	20	No
97	7	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	39.9	D	21	No
97	7	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	36.8	D	21	No
98	1	Living Spaces	Gölcük Street, Gülistan District	45.3	E	20	No
98	1	Kitchen	Gölcük Street, Gülistan District	43.4	E	20	No

Number	Floor #	Type of the space	Location (Isparta, Turkey)	Noise Level (dB)	Corresponding Acoustic Performance Class	Exterior Wall Thickness (cm)	Jacketing
99	1	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	40.3	E	20	No
100	1	Bedroom	Gölcük Street, Gülistan District	40.9	E	20	No

The thickness of jacketing - which was rigid foam - was detected as 5cm in the measured residences. Measured walls were made by standard Izo-Brick wall and their Loss of Sound Crossings (Rw) were 40 dB according to factory specification. In the light of Table 2, the classification of the spaces according to acoustic performance classes of measured spaces, wall thicknesses and jacketing are tabulated in Table 3 below.

Table 3. Wall thicknesses, acoustic performance class and jacketing conditions of residences.

Exterior Wall Thickness of the Space (cm)	Number of Space	C		D		E		F	
		Jacketing							
		Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
19	10						7		3
20	75	2		9			45		19
21	34	2		1	31				
23	4	2		2					
25	17	11		6					
27	15	8		7					
Total	155	25		25	31		52		22

As depicted in Table 3, while A and B acoustic performance classes were not achieved, C, D, E and F acoustic performance classes were met by 25, 56, 52 and 22 residences respectively. Residences meeting the C condition contain both jacketing and exterior walls having thickness above 20 cm. 25 spaces meeting condition D which is the minimum limit of the acoustic comfort were jacketed and their outer wall thicknesses were in the range of 20-27 cm. However, 31 spaces meeting condition D were not jacketed and their exterior wall thickness was 21 cm. The spaces - which were not jacketed and had wall thickness as 20 cm and below - met the E and F conditions. The data were analyzed via SPSS software to determine the correlation of the wall thickness and jacketing with the noise level by using Pearson Correlation. The output is depicted in Table 4 below.

Table 4. Correlation of the wall thickness and jacketing with the Noise Level

Correlations		Noise Level
Noise Level	Pearson Correlation	1
	Sig. (2-tailed)	
	N	155
Exterior Wall Thickness	Pearson Correlation	-.504**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	155
Floor	Pearson Correlation	.008
	Sig. (2-tailed)	.919
	N	155
Jacketing	Pearson Correlation	-.556**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	155

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

The value of the correlation coefficient ranges from +1 to -1 in terms of the strength of the relationship. As the correlation coefficient value approaches 0, the relationship between the two variables weakens. A '+' sign stands for a positive relationship and a '-' sign denotes a negative relationship. As is seen in Table 4, while both Exterior Wall thickness and availability of jacketing have positive correlations which are around 0.5, floor level doesn't have any significant correlation with the noise level.

5. Conclusion

In order to provide comfort by diminishing the negative effects of noise on human health, it is necessary to determine the acoustic criteria correctly and to examine and improve the acoustic comforts of existing buildings. Standards concerning the limit values for environmental noise, background noise and sound insulation for buildings elements are specified in the regulations. In this study, a total of 465 measurements were made in three different points of 155 residences with a volume of less than 300 m³ via Testo 816-1 device in accordance with TS ISO 1996-2 standards. These measurements were compared with the highest permitted in-room noise levels defined in the "Regulation on Noise Protection of Buildings" published in the Official Gazette on 31 May 2017. It should provide at least C class for new buildings, at least D class for the existing buildings. Of 81 (52%) residences providing the acoustic performance classes (C, D) in total, 50 (32%) spaces were externally jacketed and had external walls with thicknesses over 25 cm. 31 over 81 spaces providing the acoustic performance classes (D) have external walls with thicknesses of 21 cm without jacketing. However, 74 spaces where the acoustic comforts were not satisfied according to concerning standard have no jacketing and their wall thicknesses were 20cm and below. It is explicitly concluded that the external wall thickness and the existence of jacketing positively affect the acoustic comfort and living standards accordingly.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Acar, B., & Akdağ Yügrük, N. (2008). Açık Planlı Bürolarda Akustik Sorunlar ve Denetim Önlemleri: Bir Örnek Üzerinde Değerlendirmeler. *YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi*, 3(1).
- Bayramoğlu, E., Özdemir Işık, B., & Demirel, Ö. (2014). Gürültü Kirliliğinin Kent Parklarına Etkisi ve Çözüm Önerileri: Trabzon Kenti Örneği. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 4(9).
- Brooker, G., Stone, S., & Uçar (çevirmen), C. (2012). *İç Mimarlıkta Bağlam+Çevre*. İstanbul: Literatür . Retrieved 03 20, 2019, from www.kentakademisi.com
- Bulunuz, M., Bulunuz, N., & Kelmendi Tuncal, J. (2017). Akustik İyileştirme Yapılmış Bir Okulda Gürültü Düzeyinin Değerlendirilmesi. *Articles /Makaleler*, 13(4).
- Cansaran, D. (2019). Gürültü Kirliliği Düzeyini Belirlemeye Yönelik Bir Çalışma: Amasya Örneği *. *SBF Dergisi*, 74(1).
- Çevre ve Şehircilik Başkanlığı. (2017, 05 31). Binaları Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. (30082). Resmi Gazete.
- Demirel, F. (2006). Konutların Zemin ve İkinci Katlarında Oluşan Tesisat Gürültüsü Üzerine Bir Araştırma. *Politeknik Dergisi*, 9(2).
- Demirel, F., İlisulu, S., & Görkem, M. (2018). Sivas Kültür Merkezi Çok Amaçlı Salonu Akustik Tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 21(3).
- Kavraz, M. (2015). Gürültü Düzeylerinin İç Mekanlar Açısından Değerlendirilmesi -KTÜ Kanuni Kampüsü Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3).
- Maraş, E., Alkış, Z., & Maraş, H. (2010). Çevresel Gürültü Haritalarının Hazırlanmasında CBS'nin Önemi. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu. Kocaeli. Retrieved 03 20, 2019
- Morgül, Ö., & Dal, H. (2012). Sakarya İli Şehir Merkezinin Gürültü Kirliliği Üzerine Bir Ön Çalışma. *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 16(2).
- Özçetin, Z., & Demirel, F. (2012). Gürültü Kontrolüne Yönelik Mevzuatların Konservatuvar Binaları Açısından İncelenmesi. *Beykent University Journal Of Science And Engineering*. Ankara.
- Özçetin, Z., Demirel, F., Pektaş, S., & Eminel, M. (2015). Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Malzeme ve Akustik Konfor Koşullarının Sağlanmasına Yönelik Bir Çalışma. In *ISBS (Ed.)*. Ankara.
- Özer, S. (2014). Erzurum Kent Parklarındaki Gürültü Kirliliğinin Belirlenmesi: Aziziye Parkı Örneğinde. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2).
- Şentop, A. (2013, 06). Binaların Gürültü Kontrolü Etkin Tasarımı İçin Yapı Elemanı Seçim Aracı. İstanbul Teknik Üniversitesi ↔ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Turkish Standard. (2009, March). TS ISO 1996-2. Turkey.
- Tüzel, S. (2013). Sınıf İçi Gürültünün Öğrencilerin Dinleme Sürecindeki Bilişsel Performansına Etkisi. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 9(4).
- Untuç, B., & Yügrük Akdağ, N. (2017). Yapılarda Gürültü Denetimi : Bir Örnek Kapsamında Değerlendirmeler. *Artium*, 5(2).



TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Hande ALADAĞ*

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Dijitalizasyon, Dijital Adaptasyon, Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0, Türk İnşaat Sektörü.</i>	<p>Endüstri 4.0 ve dijitalleşme bütün sektörleri etkisi altına aldığı gibi Türkiye ekonomisinde önemli bir yer tutan inşaat sektörünü de etkilemiştir. Ancak, inşaat sektörünün diğer sektörlerle göre teknolojiyi kullanma ve dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında, diğer sektörlerle oranla geride kaldığı yönünde eleştiriler yapılmaktadır. Bu noktada, Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm uygulamalarına adaptasyonlarını etkileyen unsurların bulunması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışmada sırasıyla inşaat sektöründe dijital dönüşüm kapsamında karşılaşılan kavramlar, Türk inşaat firmalarını dijital dönüşüme iten unsurlar, Türk inşaat firmalarının dijital dönüşümünü engelleyen unsurlar ile dijital dönüşümün başarı faktörleri ortaya konulmuştur. Belirlenen faktörler özelinde Türk inşaat firmalarında görev alan toplam 50 adet katılımcıya anket yapılmıştır. Elde edilen veriler “Göreceli Önem İndeksi” yöntemi ile analiz edilmiştir. Türk inşaat sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi sıklıkla kullanılmaktayken; zenginleştirilmiş gerçeklik, blokzincir ve akıllı sözleşme gibi uygulamalar henüz sıklıkla kullanılmamaktadır. Türk inşaat firmalarının dijital dönüşüme uyum sağlama yönündeki itici unsurları etkin kalite, doküman ve iletişim yönetimi iken; sektörünün dijital dönüşümü önündeki en büyük engeller yeterli yetkin personel olmaması ve tüm paydaşlar için entegrasyon sağlanamamasıdır. Dijitalleşme etkisinin diğer sektörlerle kıyasla çok düşük seviyelerde kaldığı inşaat sektörü için dijital adaptasyonun arttırılması önündeki engelleri, bu adaptasyonu hızlandıracak itici güçleri ve dijital adaptasyon için sahip olunması gereken başarı faktörlerini ortaya koyan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Özellikle Türk inşaat sektörü özelinde belirtilen bu faktörlerin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi çalışmanın önemli bir özgün yönünü oluşturmaktadır.</p>

A RESEARCH ON DIGITAL TRANSFORMATION EXECUTIONS IN TURKISH CONSTRUCTION INDUSTRY

Keywords	Abstract
<i>Digitalization, Digital Adaptation, Digital Transformation, Industry 4.0, Turkish Construction Industry.</i>	<p>Industry 4.0 and digitalization have affected all industries as well as the construction industry, that has an important place in the Turkish economy. However, there are criticisms that the construction industry lags other industries in terms of using technology and keeping up with this digital transformation. Thus, finding the factors that affect the adaptation of digital transformation applications in Turkish construction industry constitutes the aim of this study. In this study, the digitalization technologies, driving factors, barriers and success factors affecting implementation of digitalization in construction industry were determined respectively. Then, a survey was conducted with a total of 50 attendees. Obtained data were analyzed by using “Relative Importance Index” method. The results of the analysis show that while Building Information Modeling is frequently used in the Turkish construction industry; applications such as augmented reality, blockchain and smart contract are not commonly used yet. According to the analysis results while effective quality, document and communication management constitute the most important driving factors for Turkish construction companies to adapt to digital transformation; the lack of sufficient competent personnel and the lack of integration for all stakeholders were the crucial factors affecting the digital</p>

* İlgili yazar / Corresponding author: haladag@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5258

transformation of the Turkish construction industry For the construction industry, that has the lowest impact level of Industry 4.0 and digitalization compared to other industries, the number of studies that reveal the driving forces, obstacles and the success criteria affecting digital adaptation are few in number. Therefore, comprehensive analysis of these factors specific to the Turkish construction industry constitutes the originality of this study.

Alıntı / Cite

Aladağ, H., (2022). Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 973-986.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Aladağ, 0000-0001-7627-8699

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

21. yüzyılın önemli gelişmelerinden olan Endüstri 4.0 ve dijitalleşme sayesinde bulut bilişim, nesnelerin interneti, yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknolojilerin üretim süreçlerine entegre edilmesi sayesinde şirketlerin ürünlerini üretme, geliştirme ve dağıtma biçimlerinde önemli yenilikler yaşanmaktadır (Maskuriy vd., 2019a). Sensörler, yazılımlar, robotikler gibi teknolojiler sayesinde üretim sürecine dair elde edilen veriler; tedarik zinciri, kurumsal kaynak planlaması, müşteri hizmetleri gibi kurumsal sistemlerden gelen operasyonel veriler ile birleştirilerek firmalar için daha yüksek değer içeren veriler oluşturmaktadır. Bahsedilen bu kavram ve teknolojiler, nitelikli verinin elde edilmesinin yanı sıra firmalarda otomasyonun artması, insan gücü yerine makine gücü kullanımının artmasıyla personel hatalarının en aza indirilmesi, yüksek hızlı ve güvenli üretim elde edilmesi, üretim takibi, anlık hata saptanması gibi faydalar sağlamaktadır.

Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm kavramları ve teknolojileri, pek çok sektörde kullanıldığı gibi inşaat sektöründe de uygulama alanı bulmaktadır. İnsan yaşamında temel ihtiyaçları karşılayan inşaat sektörü içinde oluşacak yenilikler doğrudan insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda bina, köprü, havaalanı, baraj gibi yapıların üretimini içeren inşaat sektörü teknolojik gelişmelerden etkilenmekte ve bu nedenle yapım ve yönetim süreçlerinde verim elde etmek için sektörün bu teknolojik değişimlere uyum sağlama ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Endüstri 4.0 ve dijital dönüşümün inşaat sektörüne adaptasyonu üretimde zaman ve maliyet tasarrufu, kalite ve hizmetin standartların artması ile inşaat projelerinde başarı üçgeni olarak tanımlanan maliyet, zaman ve kalite unsurlarının bir arada optimum şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca inşaat sektöründeki dijital adaptasyon; üretim aşamalarının takibinin kolaylaşması, işçilerin ve projenin takibinin kolaylaşması ile verimin artırılması, operasyonel aşamada anlık sorunlara müdahale için reaksiyon sürelerinin düşürülmesi, gelişmiş iş birliği ve iletişim, güvenliği artırma, sürdürülebilirlik yaklaşımının geliştirilmesi gibi faydalarla da sonuçlanacaktır. Bu katkıları farkına vararak dijital adaptasyona hızlı bir şekilde ayak uyduran inşaat firmalarının rekabet düzeyi oldukça yüksek olan inşaat sektöründe rekabet avantajlarını artırması olasıdır.

İnşaat sektörü yapısı ve dinamikleri gereği teknolojinin ilerlemesinden üst düzeyde etkilenen bir sektör olmakla birlikte inşaat sektöründe tasarım, uygulama ve işletme aşamasında teknolojik araç ve gereçlerin kullanımı olasıdır (Bahçeci ve Polat, 2020). Ancak, inşaat sektörünün diğer sektörlerle göre teknolojiyi kullanmada ve bahsedilen bu dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında, avcılık ve tarım sektöründen sonra geldiği (Agarwal ve diğerleri, 2016) ve bu yönüyle de dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında diğer sektörlerle oranla geride kaldığı yönünde eleştiriler almaktadır (Tanyer ve Pekerçli, 2008; Alaloul vd., 2018). Küresel ölçekte inşaat sektörünün teknoloji adaptasyon düzeyi ile gerçekleştirilen araştırmalar da 2021 yılı itibariyle inşaat teknolojisinin entegrasyonu inşaat firmaları bünyesinde kısmen gerçekleşebildiği ve inşaat firmalarının teknoloji kullanımındaki uyum eksikliklerine bağlı olarak adaptasyon düzeyinin çok düşük olduğunu göstermektedir (KPMG, 2021). Reis vd, (2018), dijital dönüşümün son durumu hakkında bilgi sağlamak ve gelecekteki araştırmalar için önermelerde bulunmak amacıyla 206 makalenin sistematik bir literatür incelemesini yaptıkları çalışmalarında, dijital dönüşümün sektörler için getirdiği fırsat ve zorlukların yeterince tanımlanmamış olduğu ve bu doğrultuda akademisyenlerin dijital dönüşümün fırsatlarını ve zorluklarını ele almak için daha fazla araştırma yapmaları gerektiğini ortaya koymuşlardır (Reis vd, 2018). Benzer bir şekilde Maskuriy vd., (2019b), Endüstri 4.0'ın inşaat sektöründeki durum haritasının çıkarılmasını hedefleyen çalışmalarında benzer bulgulara ulaşarak, inşaat sektöründe dijital dönüşümü gerçekleştirebilmek için daha fazla bilimsel araştırmanın yapılarak bu yeni teknolojilerin sektöre adaptasyonunda karşılaşılan sorunları, zorlukları ve gelecekteki yönünü anlamak için daha fazla nitel araştırmaya ihtiyaç olduğu belirtmektedirler (Maskuriy vd., 2019b).

Covid-19 salgınının etkisiyle zayıflayan ekonomileri ayağa kaldırmak amacıyla küresel olarak inşaat sektöründe büyük altyapı yatırımlarının teşvik edilmesi, yüksek teknoloji kullanımına ihtiyaç ve buna ek olarak sektör için iş modellerinde bir değişim gerekliliği yaratmaktadır (TMB, 2021). Bu kapsamda Türk müteahhitlerin özellikle yurtdışı müteahhit hizmetlerinde sahip oldukları rekabet avantajlarını korumaları ve bu döngüden yararlanabilmeleri için dijitalleşme yarışına katılmalarını sağlayacak bir ekosisteme ivedilikle ihtiyaç bulunduğu da belirtilmektedir (TMB, 2021). Öte yandan gelişen ve küreselleşen dünyamızda inşaat firmalarının dijital dönüşüm teknolojilerini hızlıca bünyelerine uyarlayarak bu teknolojilerin getireceği süreç, proje ve operasyon yönetimindeki iyileştirmelerle yüksek müşteri memnuniyeti sağlayarak pazar payları ve rekabet avantajlarını arttırmaları olasıdır. Bu doğrultuda ise özellikle yöneticilerin iş modellerine yeni teknolojileri entegre ederek iş stratejilerini dijital gerçekliğe uyarlamaları gerekeceğinden, ihtiyaç duyulan dijital teknolojilerin sektöre adaptasyonunda karşılaşılan sorunların, zorlukların ve başarılı bir adaptasyon için ihtiyaç duyulan gerekliliklerin ortaya konulmuş olması önemlidir. Bu arka plandan hareketle çalışma kapsamında Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm adaptasyon süreçlerini etkileyen unsurların ortaya konulması hedeflenmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm uygulamalarına adaptasyonlarını etkileyen unsurların bulunması amacını taşıyan bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür taraması ile öncelikle inşaat sektöründe dijital dönüşüm kapsamında karşılaşılan kavram ve teknolojiler; ardından sırasıyla Türk inşaat firmalarının dijital dönüşümüne iten unsurlar, Türk inşaat firmalarının dijital dönüşümünü engelleyen unsurlar ile dijital dönüşümün başarı faktörleri ortaya konulacaktır.

2.1. Endüstri 4.0'in Yapı Taşları (Fundamentals of Industry 4.0)

İnşaat sektörü ile dijital dönüşüm etkileşimin merkezinde birçok kavram ve yenilikler bulunmaktadır. Endüstri 4.0'in yapı taşları ya da dijital dönüşüm teknolojileri olarak tariflenen bu kavramlar aşağıda belirtilmektedir:

- **Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modelling: BIM):** BIM, bir tesisin bütün yaşam döngüsü içerisinde (tasarım ve işletme aşaması dahil) yapıya ait tüm bilgileri kullanmak üzere saklayan bir veri deposu olarak işlev görmektedir (Haijan ve Becerik-Gerber, 2009). Sahip olduğu "Birlikte Çalışabilirlik (Interoperability)", "Çok Boyutlu (n-D boyutlu) Modelleme", "Canlı Metraj Listeleri" gibi özellikler sayesinde inşaat projelerinin tasarım, uygulama ve bakım-onarım süreçlerinde yönetim etkinliği sağlamaktadır (Akkoyunlu, 2015).
- **Lazer Tarama:** Temelde ölçme mühendisliğinde kullanılmak üzere geliştirilmiş nispeten yeni bir teknoloji olmakla birlikte (Kim vd., 2015) 3D lazer tarayıcıların BIM ile kullanım alanları yaygınlaşmıştır (Laing vd., 2015). Lazer tarayıcıların inşaat sektöründe kullanım alanları tarihi yapılarda deformasyon ve mevcut durum analizlerinin yapılması, yapılarda bakım-onarım ve güçlendirme faaliyetleri için risk keşifleri ve yapısal analizleri içeren BIM modellerinin oluşturulması, imalatların proje uygunluğunun izlenmesi ve kontrolü şeklinde özetlenebilir (Akkoyunlu, 2015).
- **3D Yazıcılar:** İnşaat sektöründe 3D baskı teknolojisi bilgisayar ortamında hazırlanan yapı tasarımının sistematik katmanlara bölünerek tasarlanmış yapının nesnel olarak üretilmesidir. 3D baskı teknolojilerinin hızlı üretim sağlayabilmesi ve iş gücüne minimum seviyede ihtiyaç duyması, makine sistemlerinin sürekli olarak çalışabilmesi özellikle zaman sıkıntısı açısından projelerin ihtiyaçlarına büyük ölçüde karşılık verebilmektedir (Artuğ ve Altun, 2019).
- **Radyo Frekans ile Tanımlama (RFID):** Radyo frekansı kullanarak nesnelere tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemi olan bu sistemde, objelere eklenen RFID etiketlerin yaydığı frekanslar üzerinden okuyucular ile alınan veriler tedarik zinciri yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi, depo yönetim sistemleri ve kurumsal kaynak planlaması gibi süreçlerde kullanılır (Lee vd., 2013). RFID sistemlerinin inşaat süreçlerinde kullanımı ile ilgili örnekler incelendiğinde çelik imalatı ve inşası süreçlerinde çok faydalı olabileceği öngörülmektedir. Her çelik elemanına eklenen RFID etiketleri ile imalat süreci takibi yapılabileceği gibi problemler çeliklerin saha ekibince işaretlenmesi ile gerçek zamanlı olarak işveren dahil tüm ekip bu konu doğrultusunda bilgilendirilmiş olacaktır. Buna ek olarak hangi çeliklerin depoda, hangilerinin sahada, hangilerinde işlem yapılmakta olduğu gibi veriler de elde edilebilecektir. Bir diğer örnek kullanım senaryosu da yapıda kullanılan kapı, pencere, mekanik borular vb. yapı elemanları üzerinden verilebilir.
- **Nesnelerin İnterneti (Internet of Things: IoT):** Nesnelerin interneti fiziksel yapıların internete bağlanması ile oluşmakta olan bir yapıdır. Var olan bir nesne, üzerindeki IP tanımı ile veri alımı-aktarımı yapmakta ve bu doğrultuda nesnelere internet üzerinden kullanılabilir hale gelmektedir. Nesnelerin internetinde var olan tüm nesnelere, internete canlı bir veri akış sistemi ile bağlıdır. Algılama teknolojileri, tanımlama ve tanıma teknolojileri, donanım, yazılım ve bulut platformları, iletişim teknolojileri ve ağları, algoritmalar, konum teknolojileri, veri işleme çözümleri, güç ve enerji depolama, güvenlik mekanizmaları gibi teknolojiler IoT araçları olarak tanımlanabilir (Uygunoğlu ve Topçu, 2020). İnşaat süreçlerinde IoT

kullanımının en yaygın örnekleri akıllı binalarda görülmektedir. Buna ek olarak inşaat süreçlerinde RFID etiket kullanımı da IoT kullanımlarından kabul edilen uygulamalardandır (Uygunoğlu ve Topçu, 2020). İnşaat süreçlerindeki kullanımı düşünüldüğünde strüktürel elemanların takibi, saha güvenliği, optimizasyon ve simülasyon gibi birçok alanda kullanılabilen IoT inşaat sektöründe yeni iş alanlarının oluşmasını da sağlama potansiyeline sahiptir. İnşaat sektöründe IOT kullanımının, iş süreçlerinde raporlama, izleme, sentezleme ve işleme gibi alanlarda daha verimli bir ilerleme sağlayacak olmasına ek olarak IoT-BIM entegrasyonu ile dijital ikiz üretiminin de desteklenmesi sağlanacaktır (Ghosh vd., 2020).

- **Akıllı Bina Teknolojileri: Nesnelerin İnterneti (IoT)** kavramına dayanan akıllı bina teknolojileri, temel olarak iç mekân fiziksel cihazların izlenmesi ve kontrolüne yardımcı olan teknolojik yapılar bütünüdür. IoT sayesinde iç mekân fiziksel cihazlarla iletişim kurularak bina yönetimi alanında uygun maliyetli ve verimli bir çözümler elde edilmektedir (Verma vd., 2019). Genellikle otomasyon sistemi ile birlikte yeni nesil (akıllı) sensör teknolojilerinin birlikte çalıştığı akıllı bina teknolojileri, hava sıcaklığına göre ısıtma, gün ışığına bağlı olarak aydınlatma sistemlerinin çalışma sisteminin düzenlenmesi gibi olanaklar sağlayarak binalarda enerji etkinliğini artırır.
- **Giyilebilir Cihazlar:** Giyilebilir teknoloji kavramı teknolojinin günlük giyilen kıyafetlere veya kullanılan aksesuarlara entegre edilmesidir (akıllı saatler, akıllı kasklar, akıllı güvenlik yelekleri, akıllı iş botları, giyilebilir sensörler vb). Giyilebilir cihazların en önemli özelliklerinden biri, internete bağlanarak cihaz ile ağ arasında veri aktarımı yapabilmesidir. Giyilebilir cihazların inşaat sektöründe İSG alanında işçilerin hareketlerinin izlenerek çalışanların güvenlik önlemlerine uyup uymadığının kontrolü, çalışanlar için tehlikeleri yerinde bildirerek çalışan güvenliğini artırma (Awolusi vd., 2018; Ahn vd., 2019; Forat vd., 2021), sahadaki malzeme ve ekipmanların takibi için kullanılarak proje verimliliğini artırma (Patel vd., 2021) amaçlarıyla yaygın kullanıldığı gözlenmektedir.
- **Zenginleştirilmiş Gerçeklik:** Gerçeklik kavramının yeniden oluşmasını sağlayan teknolojiler olarak isimlendirilen zenginleştirilmiş gerçeklik bünyesinde Sanal Gerçeklik (Virtual Reality: VR), Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality: AR) ve Karma Gerçeklik (Mixed Reality: MR) teknolojilerini barındırmaktadır. Fiziksel dünyaya ait görüntülerin birleştirilmesi ile oluşturulan, çevredeki değişimlere önceden belirlenmiş yazılım sınırlarına bağlı kalarak gerçek zamanlı etkileşim gösteren bir deneyim türü olan AR, dijital ortamda oluşturulmuş olan sanal verilerin reel dünya üzerinde, senkronize olarak görüntülenebilmesine imkân sağlamaktadır. AR; tasarımcılara, tasarımda işin akışını hızlandıran gerçeğe yakın bir ortamda tasarım, modelleme ve test fırsatı sunmakla birlikte sahada üretilen birebir uygulama konularında kaybedilen vakti ve üretme maliyetini azaltmaktadır. VR, gerçek bir ortamı kopyalayan veya hayali bir dünya yaratan tıpatıp gerçekteki sesleri, görüntüleri ve diğer duyumları oluşturmak için bilgisayarlar, tabletler ve sanal gerçeklik gözlükleri ile kullanılabilen bilgisayar teknolojilerini ifade etmektedir. Örneğin müşterinin inşaat projesini görmek için satış ofisine gelmeden sanal gerçeklik gözlükleri sayesinde projeyi istediği ülkeden ve istediği zamanda görmesi projelerin tanıtma ve uygulanma aşamalarında büyük fayda sağlamaktadır (Şen, 2021). AR ve VR birleşimi ile oluşan MR ise fiziksel dünya ile dijital dünyanın bir karışımıdır (Lindgren ve Johnson-Glenberg, 2013). Proje planlama, uygulama, iş sağlığı ve güvenliği, disiplinler arası çalışma gibi birçok alanda iş verimini ve kalitesini arttıracak potansiyele sahiptir.
- **Dijital İkizler (Digital Twins):** Dijital ikiz kavramı, yaşam döngüsü boyunca fiziksel bir nesnenin, öğrenme ve muhakeme için gerçek zamanlı veri kullanan sanal bir temsili olarak tariflenebilir (Boje ve diğerleri, 2020). İnşaat sektöründe bir binanın dijital ikizi, tesis yöneticilerinin durum analizi yapmasına, nihayetinde enerji kullanımını geliştirmesine ve konut sakinlerinin konforunu iyileştirmesine izin vererek işletme ve bakım aşamalarında kullanılmaktadır (Qi ve Tao, 2018; Khajavi vd., 2019).
- **Bulut Bilişim:** Bulut bilişim, bilgisayar ya da mobil cihaz kullanımı ile talep edilen anda kullanılabilen, paylaşımlı veri işleme, depolama, hesaplama gibi yüksek işlem gücüne sahip internet tabanlı ayarlanabilir bilişim teknolojilerinin genel ismidir (Keleş ve Keleş, 2018). İnşaat sektöründe özellikle saha çalışmalarında eş zamanlı raporlamanın yapılabilmesi ve kararların alınabilmesi için işletme verilerine eş zamanlı erişimin sağlanması gerekmektedir. Bulut bilişim sistemi sayesinde ilgili ekipler kolaylıkla proje ile ilgili verilere ulaşabilirler.
- **Büyük Veri (Big Data):** Büyük veri, medya paylaşımları, ağ günlükleri, fotoğraf, video, bilgisayar ortamında üretilen üç boyutlu modeller ya da iki boyutlu çizimler gibi değişik kaynaklardan toplanan verilerin, anlamlı ve işlenebilir biçime dönüştürülmüş bütünü olarak tanımlanmaktadır. Büyük veri, inşaat varlıklarının ve ekipmanlarının takibinden başlayıp inşaat projelerinde riskin en aza indirilmesine, inşaat öncesi öngörü değerlendirilmesinden şantiye organizasyonuna, tedarik sürecinden güvenliğe kadar birçok inşaat faaliyetini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Örneğin binalar üzerindeki sensörler, bina performansını değerlendirmeye yardımcı olan yüzlerce veri toplayabilmektedir (Kaya, 2016).
- **Otonom Robotlar:** İnşaat sektöründeki robotik uygulamaları, ekipman operasyonlarını optimize etmeyi, güvenliği artırmayı, çalışma alanı algısını iyileştirmeyi ve ayrıca bina sakinleri için kaliteli bir ortam sunmayı hedeflemektedir (Elattar, 2008).

- **Nanoteknoloji:** Nanoteknoloji; maddeleri nano boyutta inceleyen, var olan malzemenin istenen yönde gelişimini sağlayan ya da tamamen yeni bir malzeme üretimini gerçekleştiren teknolojidir. Yapı sektöründe nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı ile enerji tüketimi ve maliyetler azaltılarak, doğa dostu sürdürülebilir yapı tasarımı elde edilebilmektedir (Turunç, 2019).
- **Blokszincir Teknolojisi (Blockchain) ve Akıllı Sözleşmeler (Smart Contracts):** Küresel olarak karmaşık tedarik zincirleri aracılığıyla üretilen inşaat ürünlerinin sayısı giderek artmaktadır. Bunun sonucu, tedarik zinciri şeffaflığını ve malzeme izlenebilirliğini desteklemek ve tedarik zincirlerindeki malzemelerin sürdürülebilirliğini güvence altına almak ihtiyacıyla Blokszincir teknolojisi kullanımı artmaktadır (Kim vd., 2020).

2.2. Türk İnşaat Sektörünün Dijital Dönüşüme Uyum Sağlama Gereklilikleri (Requirements of Turkish Construction Industry to Adapt Digital Transformation)

Literatür taraması sonucunda bulunan Türk inşaat firmalarını dijital dönüşüme uyum sağlama gereklilikleri (dijital adaptasyona iten unsurlar) Tablo 1’de sunulmaktadır (Ezeokoli vd., 2016; Osmundsen vd., 2018; Ozorhon vd., 2018; Wyman, 2018; Köseoğlu vd., 2019; Maskuriy vd., 2019a; Aşar vd., 2022).

Tablo 1. Türk İnşaat Firmalarını Dijital Dönüşüme İten Unsurlar (Driving Forces of Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

<i>Müşteri Bazlı Faktörler</i>	Uygun Ürün Fiyatı	<ul style="list-style-type: none"> • Düşen proje maliyetlerinin ürün fiyatına pozitif etkisi sonucunda daha uygun fiyatlara ürün satın alınabilmesi
	Verim Artışı	<ul style="list-style-type: none"> • Veri analizleri ile bakım periyotlarının daha doğru yapılması sayesinde yapının onarım ve bakım işlerinin daha verimli hale getirilmesi
	Geliştirilmiş Bina Tasarımı	<ul style="list-style-type: none"> • Yapının dayanım, konfor, güvenlik, ekonomi vb. açısından eski tip yapılara göre daha avantajlı olması (Akıllı Bina Teknoloji kullanımı, BIM ile enerji analizlerinin yapılması vb.) • Tehlikeli durumlarda kullanıcıyı koruyan teknolojilere yapı içinde yer verilmesi (Duman Detektörleri, Yangın Söndürme Sistemleri, vb.)
<i>Sektörel Faktörler</i>	Yasal Zorunluluk, Standartlar ve Teşvikler	<ul style="list-style-type: none"> • Teknolojinin ilerlemesi ile yeniliklere ayak uydurma zorunluluğu • Sektördeki diğer firmaların dijital dönüşüm adaptasyon hızına bağlı olarak dijital değişimlere hızlı cevap verme zorunluluğu • Yasal düzenleyici değişikliklere uyum sağlama zorunluluğu
	Pazar Payını Koruma ve Arttırma	<ul style="list-style-type: none"> • Çok sayıda rakibin bulunduğu sektörde rekabet avantajını sürdürebilme arzusu
<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Etkin Şantiye Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • İnsansız hava araçları (drone) ile şantiye imalatlarının izlenmesi ve denetlenmesi • Yüksek güvenlik seviyesine sahip çalışma alanlarının yaratılması ile etkin İSG yönetimi sağlama (tehlikeli süreçler için robotik kullanımı, yeni güvenlik önlemleri ile yaralanma ve ölümlerin azaltılması vb.) • Altyüklenicileri desteklemek için uzaktan ölçüm ve kontrol • Etkin raporlama ve takip (BIM modelleriyle malzeme, ekipman, nakliye takibi gibi işlemlerinin kontrol edilebilirliğin artması vb.)
	Etkin Dokümantasyon Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Bulut bilişim, ortak veri ortamı gibi uygulamalarla çok sayıda farklı meslek ve kuruluşu içeren, oldukça parçalı, veri yoğun inşaat projelerinde paydaşlar arasında iş birliğinin sağlanması • Ekip çalışması ve koordinasyonun iyileştirilmesi • Güncel dokümanlara hızlı erişim • Versiyon karşılaştırma
	Etkin Kalite Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Üretim/İmalat aşamalarının takibinin kolaylaşması ile kalite kontrolün etkin hale gelmesi • İmalatların proje/sözleşme/şartnameye uygunluğunun kontrolü

Tablo 1. Devamı (Continued)

<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Etkin Maliyet Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> BIM, IOT vb. teknolojiler sayesinde üretim maliyetlerinin azaltılması Aksaklıkların azaltılması ve işçi veriminin artırılması sayesinde zamanında ve bütçeye uygun proje teslimi
	Etkin Zaman Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> Teknolojik ekipmanlar, otonom robotlar vb. kullanımı ile insan faktörüne bağlı iptal ve gecikmelerin ortadan kaldırılmasıyla şantiyelerdeki iş akışında gecikmelerin önlenmesi Aksaklıkların azaltılması ve işçi veriminin artırılması sayesinde zamanında ve bütçeye uygun proje teslimi
	Etkin İletişim Yönetimi ve Anlaşmazlıkların Çözümü	<ul style="list-style-type: none"> Geliştirilmiş bina tasarımı ve uygulama süreçleri sayesinde yaşanabilecek aksaklıklarda azalma, uyuşmazlıkların azaltılarak anlaşmazlıkların daha hızlı çözümünü sağlama
	Etkin Süreç Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> BIM ile başlatılan projelerde ekipman, malzeme, işgücü vb. detaylarının proje süreçlerinin başında öngörülmesi ve böylece malzeme tedarik zincirinde kaybedilen zamanların önüne geçilmesi RFID teknolojisiyle şantiye takip sistemindeki kesintisizlik, iletişimde kopuklukların engellenmesi Geliştirilmiş bina tasarımı sayesinde proje revizyonları ve değişiklik taleplerinin azaltılarak etkin kapsam ve değişiklik yönetimi sağlama
	Verim Artışı	<ul style="list-style-type: none"> Teknolojik ekipman kullanımı ile işçi veriminin artırılması ve iş gücü tasarrufu Dijital teknolojilerin yapım teknikleri, mühendislik çalışmaları, proje yönetimi, sözleşmeler ve bilgisayar sistemlerinden yararlanma alanlarında getireceği faydalara müteakip inşaat projelerinde elde edilecek verim

2.3. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Adaptasyonun Önündeki Engeller (Obstacles Faced by Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

Türk inşaat sektöründe dijital adaptasyonun önündeki engellerin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen literatür taramasının sonuçları Tablo 2’de sunulmaktadır (Ezeokoli vd., 2016; Osmundsen vd., 2018; Ozorhon vd., 2018; Wyman, 2018; Köseoğlu vd., 2019; Maskuriy vd., 2019a; Morgan, 2019; Bahçeci ve Polat, 2020; Aşar vd., 2022).

Tablo 2. Türk İnşaat Firmalarının Dijital Dönüşümünü Engelleyen Unsurlar (Obstacles Faced by Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

<i>Sektörel Faktörler</i>	Yeterli Yetkin Personel Olmaması	<ul style="list-style-type: none"> Dijital dönüşümün sahip olduğu hız ve sürekli değişim karşısında yenilikleri yakalayabilen nitelikli uzman ve danışmanın azlığı
	Standardizasyon Olmaması	<ul style="list-style-type: none"> Kanun ve regülasyonların yeterli olmaması, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermesi
	Teknoloji Adaptasyon Yetersizliği	<ul style="list-style-type: none"> İnşaat sektörünün parçalı ve hareketli yapısı ile sektörün gelenekselliğinin ortaya çıkardığı teknolojik adaptasyon düşüklüğü
<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Tüm Paydaşlar için Ortak Çalışma veya Entegrasyon Sağlanamaması	<ul style="list-style-type: none"> Proje paydaşları arasındaki iş birliği eksikliği (Tedarikçi/Taahhütçülerin sistem entegrasyonu vb.)
	Kültürel veya Teknik Dirençler	<ul style="list-style-type: none"> Firma sahipleri ve ortaklarının bilgi paylaşımı açısından açık ve şeffaf olmaya istekli olmaması Firma çalışanlarının yeni teknolojiyi (yazılım/ekipman) kullanma beceri düşüklüğü / çalışan direnci Proje paydaşlarının yeni teknolojiyi (yazılım/ekipman) kullanma beceri düşüklüğü / paydaşların direnci Kültürel farklılıklar (Kişisel alışkanlıklar, organizasyonel kültür farklılıkları vb.) Dijital dönüşüm uygulamalarının gerektirdiği teknik altyapı eksiklikleri (internet erişimi, yazılım/donanım eksikliği vb.)

Tablo 2. Devamı (Continued)

Yatırım Geri Dönüşü Sebebiyle Kaynak Ayrılmaması	<ul style="list-style-type: none"> Dijital dönüşümün projelere getirdiği mali yük (Yüksek yazılım, donanım maliyetleri vb.) Belirsizlikler nedeniyle yöneticilerin yeni yatırımlara karşı isteksizliği
Firmaların Olumsuz Deneyimleri	<ul style="list-style-type: none"> Firmaya özel çözümler geliştirmeden dijitale yönelik yapılan standart çalışmalar Firmaların geçmişte yaşadıkları başarısız dijital deneyimler

2.4. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşümün Başarı Faktörleri (Critical Success Factors for Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

Firmaların dijital dönüşüm uygulamalarında başarıya ulaşabilmesi için genel olarak sahip olmaları beklenen temel başarı faktörlerini Tablo 3'te sunulmaktadır (Bharadwaj, 2013; Ezeokoli vd., 2016; Osmundsen vd., 2018; Ozorhon vd., 2018; Wyman, 2018; Maskuriy vd., 2019a; Morgan, 2019; Bahçeci ve Polat, 2020; Aşar vd., 2022).

Tablo 3. Türk İnşaat Sektöründeki Dijital Dönüşümün Başarı Faktörleri (Critical Success Factors for Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

<i>Kullanıcı Bazlı Faktörler</i>	Dış ve İç Bilgiden Faydalanma	<ul style="list-style-type: none"> Dijital teknolojinin tamamlayıcı ve heterojen bilgilerini edinme, entegre etme ve ticarileştirme yoluyla firmaların daha iyi hale gelmesi Yeniliğe karşı direnci azaltmak için birlikte çalışma ve hareket etmeyi benimseme
<i>Proje ve Firma Bazlı Faktörler</i>	Destekleyici Organizasyon Kültürü	<ul style="list-style-type: none"> Üst yönetiminin desteği ve liderlik
	Tüm Çalışanları Katılımı	<ul style="list-style-type: none"> Yöneticilerin ve çalışanların sürece dahil edilmesi
	Dijital İş Stratejisi	<ul style="list-style-type: none"> Organizasyona özel bir dijital dönüşüm planının geliştirilmesi ve uygulanması Organizasyon bünyesinde "Dijital Dönüşüm Birimi" oluşturulması Dijital dönüşümün doğru olarak uygulanması amacıyla danışmanlık hizmeti alınması Sektörde daha önce uygulanmış dijital dönüşüm uygulamalarının incelenmesi ("Kıyaslama-Benchmarking" ile "En İyi Uygulamalar-Best Practices" ile dijital adaptasyonun hangi alanlarda yapılabileceği, firmaya nasıl adapte edilebileceği hususunda yaklaşımların belirlenmesi) Müşteri beklenti ve taleplerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi
	Dinamik Yetenekler	<ul style="list-style-type: none"> Organizasyonun dijital dönüşüme doğru şekilde uyum sağlayabilmesi için gelişmelerin takip edilmesi ve uygulanması İş Zekâsı (Business Intelligence) Bilgi sistemlerinin ve gerekli altyapı iyileştirmelerinin sağlanması Süreç içerisindeki insan kaynaklarının adaptasyonunun sağlanabilmesi için eğitimlerin verilmesi
	Dijital Adaptasyon İçin Finansman	<ul style="list-style-type: none"> Organizasyonun dönüşüm adına hangi alana ve ne oranda bütçe ayıracağına doğru tespiti Dijital dönüşüm için organizasyon bünyesindeki çalışanların alması gereken eğitimler, gerekli doğru teknolojilerin sağlanması ve adaptasyon giderleri gibi birçok alanda ortaya çıkacak farklı bütçelerin doğru bir şekilde planlanması gerekliliği Gelecekte ortaya çıkabilecek firma büyüme olasılıklarına karşı yatırım güncellemelerinin gerçekleştirilmesi

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Türk inşaat sektöründe dijital teknolojilerin uygulanma seviyesini anlamak amacıyla 38 inşaat firmasında görev alan toplam 50 adet katılımcı ile üç kısımdan oluşan bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda katılımcılara ait bilgiler, ikinci kısımda firma bilgileri, üçüncü kısımda ise sırasıyla dijital adaptasyon uygulamalarının katılımcıların kendi projelerinde kullanılması alanları, inşaat sektöründe dijital dönüşüme uyum

sağlama gereklilikleri, inşaat sektöründe dijital adaptasyonun önündeki engeller ile inşaat sektöründe dijital adaptasyon uygulamalarının süreçteki başarı faktörlerinin ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Anket 60 kişiye iletilmiş olup, 50 kişinin katılımıyla sonuçlanmıştır. Ankete geri dönüş oranı %83 olmuştur. Katılımcılara ait demografik bilgiler şu şekildedir:

- **Meslek Grupları:** Katılımcıların 26'sı İnşaat Mühendisi (%52), 20'si Mimar (%40), 2'si Harita Mühendisi (%4), 1'i Jeoloji Mühendisi (%2) ve 1'i Makine mühendisidir (%2).
- **Eğitim Durumları:** Katılımcıların 38'i lisans (%76), 12'si yüksek lisans (%24) mezunudur.
- **İş Tecrübeleri:** 1-5 yıl iş tecrübesine sahip 3 kişi (%6), 5-10 yıl iş tecrübesine sahip 12 kişi (%24), 10-15 yıl iş tecrübesine sahip 27 kişi (%54), 15-20 yıl iş tecrübesine sahip 8 (%16) kişi bulunmaktadır.

Katılımcıların mensubu oldukları inşaat firmalarına ait demografik bilgiler ise şu şekildedir:

- **Firma Ölçeği:** Katılımcıların çalışmakta olduğu firmalar inşaat ve taahhüt, tasarım ve mimarlık, müşavirlik alanında hizmet veren inşaat firmaları olup, firmaların 25'i büyük ölçekli (%66), 13'ü orta ölçekli (%34) inşaat firmasıdır. Katılımcıların 35 tanesi büyük ölçekli firmadan (%70), 15 tanesi orta ölçekli (%30) firma mensubudur.

Anket katılımcılarının cevapları "Göreceli Önem İndeksi (Relative Importance Index: RII)" yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Anket çalışmasından elde edilen verileri analiz etmek için yöntem kapsamında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir:

$$RII = \frac{\sum W}{A*N} \quad (1)$$

$$0 < RII < 1 \quad (2)$$

W değeri, katılımcılar tarafından her bir kritere verilen ağırlık değeridir. Ağırlık sıralamasında 1-5 Likert Skalası kullanılmış olup Likert skalasında kullanılan değerlerin anlamı 0: Fikrim yok; 1: Çok Düşük; 2: Düşük; 3: Ortalama; 4: Yüksek; 5: Çok Yüksek olarak algılanmalıdır. A değeri, 1-5 Likert skalası için en yüksek ağırlık değeri olan 5'i, N değeri ise toplam katılımcı sayısını yani ankete katılan 50 kişiyi temsil etmektedir. Denklem sonucuna göre bulunan RII değeri sıfır ile bir aralığında olup, değeri ne kadar yüksekse kriterin önemi de o derecede yüksek olmaktadır.

4. Bulgular (Findings)

Türk inşaat sektöründe kullanılan dijital teknolojiler ve dijital dönüşüm uygulamalarının kullanımlarına yönelik analiz sonuçları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Türk İnşaat Sektöründe Kullanılan Dijital Teknolojilere Ait Önem Sırası (Importance Order of Digital Technologies Used in the Turkish Construction Industry)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Yapı Bilgi Modelleme	0,804	1	0,772	1	0,620	3	0,764	1
Lazer Tarama	0,648	4	0,616	3	0,580	7	0,628	3
3D Yazıcılar	0,584	6	0,592	7	0,488	13	0,508	12
RFID	0,548	7	0,568	10	0,596	5	0,608	4
Nesnelerin İnterneti	0,584	6	0,556	11	0,624	2	0,596	6
Giyilebilir Cihazlar	0,516	10	0,588	8	0,656	1	0,560	11
Akıllı Bina Teknolojileri	0,648	4	0,684	2	0,552	10	0,596	6
Zenginleştirilmiş Gerçeklik	0,532	9	0,544	12	0,540	11	0,572	9
Dijital İkizler	0,516	10	0,516	14	0,556	9	0,568	10
Bulut Bilişim	0,664	2	0,596	6	0,592	6	0,632	2
Büyük Veri	0,660	3	0,600	5	0,572	8	0,600	5
Otonom Robotlar	0,536	8	0,572	9	0,612	4	0,576	8
Nanoteknoloji	0,588	5	0,604	4	0,620	3	0,584	7
Blokszincir teknolojisi ve akıllı sözleşmeler	0,500	11	0,520	13	0,536	12	0,608	4

Türk inşaat sektörünün dijital dönüşüme uyum sağlama gerekliliklerine ait faktörlerin önem sırası Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. Türk İnşaat Sektörünün Dijital Dönüşüme Uyum Sağlama Gerekliliklerine Ait Faktörlerin Önem Sırası (Importance Order of Digital Transformation Adaptation Requirements in the Turkish Construction Industry)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Uygun Ürün Fiyatı	0,752	9	0,792	11	0,668	7	0,720	10
Verim Artışı	0,752	9	0,816	8	0,652	8	0,764	6
Geliştirilmiş Bina Tasarımı	0,804	7	0,800	10	0,632	10	0,760	7
Yasal Zorunluluk, Standartlar ve Teşvikler	0,776	8	0,804	9	0,732	5	0,752	8
Pazar Payını Koruma ve Rekabet Avantajı	0,712	10	0,776	12	0,636	9	0,700	11
Etkin Şantiye Yönetimi	0,804	7	0,828	6	0,772	2	0,772	4
Etkin Dokümantasyon Yönetimi	0,816	6	0,872	1	0,772	2	0,796	2
Etkin Kalite Yönetimi	0,864	1	0,868	2	0,776	1	0,828	1
Etkin Maliyet Yönetimi	0,832	5	0,820	7	0,628	11	0,732	9
Etkin Zaman Yönetimi	0,840	3	0,832	5	0,676	6	0,760	7
Etkin İletişim Yönetimi ve Anlaşmazlıkların Çözümü	0,844	2	0,840	3	0,748	3	0,776	3
Etkin Süreç Yönetimi	0,836	4	0,836	4	0,736	4	0,768	5

Türk inşaat sektöründe dijital adaptasyonun önündeki engellere ait önem sırası Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Adaptasyonun Önündeki Engellere Ait Önem Sırası (Importance Order of Obstacles Faced by Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Yeterli Yetkin Personel Olmaması	0,744	3	0,828	1	0,760	1	0,736	4
Standardizasyon Olmaması	0,772	1	0,796	3	0,736	2	0,704	6
Teknoloji Adaptasyon Yetersizliği	0,744	3	0,744	7	0,716	4	0,768	1
Tüm Paydaşlar için Ortak Çalışma veya Entegrasyon Sağlanamaması	0,736	4	0,808	2	0,724	3	0,760	2
Kültürel veya Teknik Dirençler	0,752	2	0,772	4	0,736	2	0,728	5
Yatırım Geri Dönüşü Sebebiyle Kaynak Ayrılmaması	0,704	6	0,752	6	0,692	5	0,748	3
Firmaların Olumsuz Deneyimleri	0,720	5	0,760	5	0,724	3	0,700	7

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşümün başarı faktörlerine ait önem sırası Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7. Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşümün Başarı Faktörlerine Ait Önem Sırası (Importance Order of Critical Success Factors for Turkish Construction Firms to Adopt Digital Transformation)

	Tasarım		Yapım		İSG		Tesis Yönetimi	
	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası	RII	Önem Sırası
Dış ve İç Bilgiden Faydalanma	0,864	1	0,840	2	0,724	2	0,756	2
Destekleyici Organizasyon Kültürü	0,816	3	0,844	1	0,760	1	0,828	1
Tüm Çalışanları Katılımı	0,824	2	0,804	4	0,700	3	0,756	2
Dijital İş Stratejisi	0,776	5	0,788	5	0,652	5	0,724	4
Dinamik Yetenekler	0,808	4	0,812	3	0,676	4	0,708	5
Dijital Adaptasyon İçin Finansman	0,768	6	0,784	6	0,640	6	0,752	3

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Anket sonuçlarına göre; tüm yapı yaşam döngüsü kapsamında sık kullanımına bağlı olarak önem sırası en yüksek çıkan dijital teknolojisi Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) iken zenginleştirilmiş gerçeklik, blokzincir ve akıllı sözleşme gibi uygulamalar Türk inşaat firmaları tarafından yeterince önemli bulunmamaktadır. Günümüzde bir tesisin tasarımından itibaren işletme aşaması dahil bütün yaşam döngüsünü yöneten bir araç olarak işlev gören BIM teknolojisinin (Haijan ve Becerik-Gerber, 2009) önem düzeyinin Türk inşaat firmaları için en yüksek sırada çıkması bu bağlamda anlamlı bir bulgudur. Tasarımcılara tasarım aşamasında iş akışını hızlandırma, gerçeğe yakın bir ortamda tasarım, modelleme ve test fırsatı sunan AR teknolojileri ile yapı üretim süreci ile projelendirme sonrasında tanıtma aşamalarında kolaylık sağlayan VR teknolojilerini içeren zenginleştirilmiş gerçeklik uygulamalarının inşaat firmaları tarafından kullanımının artması firmalara üretim maliyetlerinde azalma, etkin süreç yönetimi gibi katkılar sağlayacaktır. Sözleşme koşullarının ifası ve uygulanmasının veya yürürlüğünün insan müdahalesine gerek olmaksızın kendiliğinden gerçekleştiği dijital ve hesaplanabilir sözleşmeler olan akıllı sözleşmelerin; otonom olma, üçüncü bir tarafın işlem müdahalesini ortadan kaldırarak işlem maliyetlerini azaltma, güvenlik ve şeffaflık gibi avantajları bulunmaktadır (Çubukçu, 2021). Belirtilen bu avantajlarla birlikte özellikle sahip oldukları hukuki bağlayıcılık çerçevesinde kamu ihale sözleşme süreçlerinin de akıllı sözleşmeler yoluyla yönetilmesinin getireceği kamu maliyesi, harcama politikaları, mali disiplin sağlanması, yüklenicilerin performans değerlendirmesi gibi birçok olumlu sonuçlara müteakip e-ihalenin, kamu ihale sözleşmelerinin akıllı sözleşmeler üzerinden yürütülmesinin sağlanmasının kaynakların verimli ve ihtiyaca uygun biçimde kullanılmasında büyük bir katma değer yaratacağı belirtilmektedir (Bafra, 2019). Ancak özellikle kamu ihalelerinde performansa dayalı rekabetçi ortamın sağlanmasına katkı sağlayacak (Bafra, 2019) akıllı sözleşmelere ait tüm bu olumlu özelliklerle birlikte akıllı sözleşmeler üstünde uygulama aşamasında değişiklik yapılmasının çok zor olması, veri korunumu, sahip olduğu kod altyapısı nedeniyle herkes tarafından kolayca anlaşılabilmesi gibi sahip olduğu pratik ve teknik zorlukların (Çubukçu, 2021) akıllı sözleşmelerin Türk inşaat firmaları tarafında uygulanır bulunmaması önündeki önemli parametreler olduğu düşünülmektedir.

Türk inşaat sektörünün dijital dönüşüme uyum sağlama gerekliliklerine ait faktörlerin önem sırasına ait sonuçlar değerlendirildiğinde ise; Türk inşaat firmalarının dijital dönüşüme uyum sağlama yönündeki en önemli itici unsurları sırasıyla etkin kalite, iletişim ve doküman yönetimi oluşturmaktadır. Dijitalleşmenin organizasyonlarda kalite yönetimini güçlendirmesinin birkaç nedeni vardır. İlk olarak, birçok dijitalleştirilmiş çözüm, ürün ve hizmetlerle ilgili olarak daha iyi teknik kalite sunar ve sonuç olarak kalite yönetimini etkiler. İkincisi, dijital teknolojiler müşterilerden gelen gerçek zamanlı verileri kullanmada ve müşteri hizmeti sağlamanın daha iyi yollarını bulmada yeni etkileşim biçimleri oluşturarak toplam kalite yönetiminin en önemli unsurlarından olan müşteri memnuniyetinin sağlanmasına etki eder (Elg vd., 2021). İnşaat sektörü doğası gereği çok sayıda farklı meslek ve kuruluşu içeren, oldukça parçalı, veri yoğun, proje tabanlı bir sektördür. Bu sektörde yürütülen projeler, farklı disiplinlerden çalışanların katılımıyla, farklı sistem kullanıcılarının iş birliğini içerir. İçerisinde barındırdığı farklı disiplinler, iş kolları ve risk faktörleriyle bir projenin yürütülmesinde ve teslim edilmesinde en önemli faktörlerin başında etkin iletişim yönetimi gelmektedir. Dijital gelişmeler kapsamında gelişen teknoloji ve yazılım sistemlerinin inşaat projelerinde kullanılması, farklı paydaşların ortaklaşa yürütücülüğünü gerçekleştirdiği proje yönetiminde koordinasyonda önemli faydalar sağlamaktadır. Dijital teknoloji kullanımının iletişim yönetimi hususunda getireceği katkıları örneklemek gerekirse; Blokzincir teknolojisinin inşaat projelerinde kullanılmasının sağladığı şeffaflık paydaşlar arasındaki anlaşmazlıkları minimuma indirmektedir. Benzer bir şekilde Bulut bilişim, Ortak Veri Ortamı (Common Data Environment-CDE) gibi konseptler inşaat projesi bilgilerinin barındırıldığı merkezi bir havuz üstünde projenin tüm paydaşları için en güncel belgelere, sözleşmelere, raporlara, tekliflere ve model bilgilerine ulaşmayı olanaklı hale getirerek hem etkin bir iletişim hem de etkin bir dokümantasyon yönetimi

sağlanmasını olanaklı kılar. Ayrıca BIM ile gerçekleştirilen çakışma analizleri, tasarım aşamasında mekanik, elektrik, sıhhi tesisat, statik vb. modeller arasındaki çakışmaları belirleyerek projenin tamamlanmasında gecikmeye neden olabilecek çok seviyeli tasarım değişiklikleri olasılığını ortadan kaldırarak uygulama aşamasında oluşabilecek olası uyumsuzlukların proaktif olarak önlenmesine yardımcı olacaktır (Khoshnava vd., 2012).

Analiz sonuçlarına göre; Türk inşaat sektörünün dijital dönüşümünü etkileyen en büyük engeller yeterli yetkin personel olmaması ve tüm paydaşlar için entegrasyon sağlanamamasıdır. Alanında kabiliyetli personelin olmayışı geçiş sürecini engelleyen unsurlardandır (Akbay, 2021). Halbuki dijital gelişim ve dönüşüme adım atmış firmaların, proje süreçlerinin gerçekleştirilmesi ve takibinde personel yetkinliklerini artırarak (doküman yönetiminde yetkin personeller, satın almada online ihale uzmanı personel, proje yönetiminde BIM gibi teknolojik çözümleri kullanabilecek mühendis ve mimarlar vb.) maliyet tasarrufu sağlaması olasıdır. Bu bağlamda inşaat firmalarının dijitalleşen sürece uygun yetkin ve doğru personel istihdamı sağlaması, insan kaynağı değerlendirme süreçlerinin değişime uygun olarak evrilmesi, mevcut personele yetkinlik eğitimleri ve sertifika programlarının geliştirilmesi önerilmektedir. Analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak inşaat sektörünün dijital gelişim ve dönüşüm aşamasındaki yaşadığı esas zorluklardan birisinin çok sayıda ve farklı lokasyonlara ayrılmış paydaşlar, birçok bağlantısı olmayan sistem, yazılım, donanım arasındaki entegrasyon eksikliği olduğu belirtilmektedir (Ceylan, 2019). Tüm paydaşlar için ortak çalışma veya entegrasyon sağlanamaması ise elde edilecek sonuçların maliyetlerini arttırmakta, verimliliği düşürerek zaman israfına neden olmaktadır. Anket sonuçlarına göre yatırım geri dönüşü sebebiyle firmaların dijital teknolojilere kaynak ayırmaması unsurunun önem derecesinin alt sıralarda çıkması şaşırtıcı bir bulgu olmuştur. Firmalar dijital teknolojilere yapacakları yatırımlara karar verirken genellikle fayda-maliyet analizi gerçekleştirme eğiliminde olup, yatırımın potansiyel geri dönüşüm süresini baz alarak yatırım kararı vermektedirler. Eğer firmaların ihtiyaçları ve mevcut durumu doğru analiz edilmezse, dijital dönüşümün sağlayacağı verimlilik de doğru hesaplanamayacaktır. Bu süreç yatırım kararlarını da negatif yönde etkileyecektir. Doğru analiz ve hesaplamalarla, sistemin getireceği net kazanç belirlenerek dijital gelişim ve dönüşümü destekleyecek üst yönetim desteği artırılmalı ve verimliliği artırma potansiyeli olan sistemlerin genellikle bir ekstra maliyet unsuru olarak görülmesinin önüne geçilmelidir.

Türk inşaat sektöründe dijital dönüşümün başarı faktörlerine ait analiz sonuçları incelendiğinde ise; "Dış ve İç Bilgiden Faydalanma" ile "Destekleyici Organizasyon Kültürü" faktörlerinin dijital adaptasyonun inşaat firmalarında sağlanması için öne çıkan başarı faktörleri olmuşlardır. Dijital dönüşümde iç ve dış bilgiden yararlanma önemli bir yere sahiptir. Firmalar yeniliğe karşı direnci azaltmak için birlikte çalışma ve hareket etmeyi benimsemelidir. Bununla birlikte, birçok büyük inşaat firması, çelişkiler nedeniyle iş birimlerini iş birliği yapmaya teşvik etmekte zorlanmakta ve dijital bağlamda potansiyel ortaklıkları belirleme ve kurma yeteneğinden yoksundurlar (Tesch vd., 2017). Dijital dönüşümün yalnızca yenilikçi dijital teknolojilerin belirlenmesi ve uygulanmasında değil aynı zamanda çalışanların işlerinde daha yenilikçi olmalarını sağlama hedefi düşünüldüğünde dijital dönüşümde dış ve iç bilgiden faydalanmanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İnşaat firmalarının dijital dönüşüm öncesinde, sırasında ve sonrasında dikkate alınması gereken önemli faktörlerden birisi de organizasyonun bir bütün olarak destekleyici bir kültürü benimsemesi gerekliliğidir (Mueller ve Renken, 2017). Değişime açıklığa değer veren bir organizasyon, dijital dönüşümde ustalaşmak için gerekli olan değişim odaklı bir zihniyeti kabul etme, uygulama, teşvik etme ve oluşturma istekliliğini teşvik eder (Hartl ve Hess, 2017). Dijital dönüşümü destekleyen ve dijital dönüşümün başarısı için çok önemli olan destekleyici organizasyon kültürünün oluşturulmasında firmanın kültürel değerlerin neler olduğunun da incelemesi gereklidir. Bu değerlerden en belirginleri; değişime açıklık (yeni fikirler ve değişimi benimsemeye hazır olma, yenilikçilik, öğrenmeye isteklilik), müşteri odaklılık (müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için faaliyetler tasarlama), başarısızlığa tolerans, risk tutumu ve girişimci zihniyet olarak tanımlanabilir (Hartl ve Hess, 2017). Dijital dönüşümün başarısı için çok önemli olan destekleyici organizasyon kültürünün oluşturulmasında bahsedilen kurumsal değerlerin yanı sıra güven, katılım, iş birliği ve iletişim gibi unsurların organizasyonda sağlanması önemlidir.

Dijital dönüşüm, hızla gelişen bilişim teknolojilerinin verim, süre, kaliteli hizmet ve kullanıcı memnuniyetini sağlamak amacıyla insanlar ve iş sistemleri üzerine geliştirdiği imkanların mevcut durumlara adapte edilmesidir. Global dünyada yenilikçi iş sistemlerine, teknolojik gelişmelere ve dijital dönüşüme adaptasyon çalışmalarına sağlanacak uyum, inşaat projelerinde üretkenliğin ve verimliliğin artmasını sağlayacaktır. Artan verimlilik ile gelişen iş performansı ise firmaların rakiplerinin önüne geçmesini sağlayarak rekabet düzeyinin yoğun olduğu inşaat sektöründe firmalara avantaj sağlar niteliktedir. Dijital teknolojilere uyum ve adaptasyon, inşaat sektöründe faaliyet göstermekte olan firmaların ulusal ve uluslararası piyasada rekabet ortamında farklılıklarıyla sıyrılarak ayrılabilmesi ile proje süresince zamanı en etkili kullanmayı, finansal kayıpları minimuma indirmeyi, proje kalitesini arttırmayı, enerji kaynaklarını daha etkin ve verimli kullanarak daha sürdürülebilir projeler üretebilmeyi de sağlamaktadır. Proje süresince ve sonrasındaki kontrol süreçlerinde tüm proje paydaşları arasındaki doğru iletişim ve bilgi akışını sağlayabilmek, projeye ilgili tüm süreçlerde elde edilen bilgilerin depolanması dijital dönüşümün etkin proje yönetimindeki avantajları arasındadır.

İnşaat sektörü iki yüzden fazla alt sektörü bünyesinde barındırmasıyla Türk ekonomisinin lokomotifi olma niteliğindedir. Sahip olduğu üretim hacmi ve ekonomik büyüklük göz önüne alındığında ülke ekonomisine yarattığı katma değer ve iş gücü istihdamı ile en dinamik ve değişken sektörlerin başında gelen inşaat sektöründe rekabet ortamı kaçınılmazdır. Bu nedenle, Türk inşaat firmalarının rekabet ortamında farkı yakalamak adına dijital dönüşüme adaptasyonu bir kırılma noktası olmaktadır. Tam da bu noktada operasyonel çalışma sistemlerinde artan verimlilik, küresel dünyada yeni bağlantılar kurabilmek, ticari hacmi genişletebilmek, yeni çalışma yöntemleri geliştirerek inovasyonu arttırmak gibi dijital adaptasyonun getireceği katkılardan en yüksek düzeyde faydalanabilmek için inşaat firmalarının dijital dönüşüme tam adaptasyonu gereklidir. İnşaat firmalarının dijital adaptasyonlarının artırılmasının ülkemizin dijital dönüşüm hedeflerine önemli ölçüde katkı sağlayacağı da belirtilmektedir (KPMG, 2021b). Ancak, inşaat sektörünün diğer sektörlerle göre teknolojiyi kullanma ve bahsedilen bu dijital dönüşüme ayak uydurma noktasında diğer sektörlerle oranla geride kaldığı yönünde eleştiriler göz önüne alınarak Türk inşaat sektörünün dijital adaptasyon düzeyini anlamak ve Türk inşaat sektöründe yer alan firmaların dijital dönüşüm uygulamalarına adaptasyonlarını etkileyen unsurları ortaya çıkarmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmada Türk inşaat sektöründe dijital dönüşüm teknolojilerinin adaptasyonunun projelerin tasarım aşamalarından başlayıp bakım-onarım süreçlerine kadar aktif olarak kullanılmaya başlanması gerektiği anlaşılmıştır.

Türk inşaat sektörü için dijital adaptasyonun artırılması önündeki engelleri, bu adaptasyonu hızlandıracak itici güçleri ve dijital adaptasyonu başarı ile sağlamak için sahip olunması gereken başarı faktörlerini ortaya koyan bu çalışma, literatürde sayıca az olan çalışmalara bir katkı sunmaktadır. Bununla beraber, Türk inşaat sektörünün dijital adaptasyon ile ilgili sahip olduğu fırsat ve tehditleri ortaya koyan çalışma bulguları Türk inşaat firmalarının dijitalleşme yolunda belirlenmesi gereken stratejilerin seçiminde sektör profesyonellerine de ışık tutar niteliktedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar, verilerin temin edilmesi aşamasında katkılarından ötürü Çağla Özyurt, Fatih Öztürk ve Emre Bilici'ye teşekkürlerini sunmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Ahn, C.R., Lee, S., Sun, C., Jebelli, H., Yang, K., ve Choi, B. (2019). "Wearable sensing technology applications in construction safety and health". *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(11), 03119007.
- Agarwal, R., Chandrasekaran, S., ve Sridhar, M. (2016). "Imagining Construction's Digital Future". McKinsey and Company. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future> (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- Akbay, R. B. (2021). "Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Şantiyede Kullanımına Yönelik Bir İnceleme". Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Akkoyunlu, T., (2015). "Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi", Doktora Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alaloul, W.S., Liew, M.S., Zawawi, N.A.W A., ve Mohammed, B.S. (2018). "Industry revolution IR 4.0: future opportunities and challenges in construction industry". *MATEC web of conferences*: 203 (2018) 02010.
- Aşar, E., Bülbül, F., Akbulut, M., Bayarslan, P., Kermen, T. ve Findik, D. (2022). "Measuring Firm Perception to Adaptation of Industry 4.0: The Case of Turkey". *Verimlilik Dergisi*, 2022: 140-154.
- Artuğ S. ve Altun C. (2019). "3 Boyutlu Baskı Teknolojisinin Bina Üretiminde Kullanım Olanaklarının Güncel Örnekler Üzerinden İncelenmesi", 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, 11-14 Nisan 2019, Antalya, Türkiye.
- Awolusi, I., Marks, E., ve Hallowell, M. (2018). "Wearable Technology for Personalized Construction Safety Monitoring and Trending: Review of Applicable Devices". *Automation in Construction*, 85, 96-106.
- Bafra, E. (2019). "Digital Dönüşüm Sürecinde Kamu İhale Sözleşmeleri Açısından Akıllı Sözleşmeler". *İnşaat Sanayi*, 172, 22-34.
- Bahçeci, H., ve Polat, Ö.Ü.H. (2020). "İnşaat Sektöründe Teknoloji Adaptasyon Sorunlarının Araştırılması". *Online Journal of Art and Design*, 8(1), 141-153.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A. ve Venkatraman, N.V. (2013). "Digital Business Strategy: Toward A Next Generation Of Insights". *MIS Quarterly*, 471-482.
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., ve Rezgui, Y. (2020). "Towards a Semantic Construction Digital Twin: Directions for Future Research". *Automation in Construction*, 114, 103179.
- Ceylan, E.Z. (2019). "Dijital İkizler ve İnşaat Sektöründeki Yeri". *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(2), 53-61.
- Çubukçu, D.B. (2021). "Teknik ve Hukuki Yönleriyle Akıllı Sözleşmeler". *Yetkin Yayınları*, Ankara.

- Elattar, S.M.S. (2008). "Automation And Robotics in Construction: Opportunities and Challenges", *Emirates Journal for Engineering Research*, 13(2), 21-26.
- Elg, M., Birch-Jensen, A., Gremyr, I., Martin, J., ve Melin, U. (2021). "Digitalization And Quality Management: Problems and Prospects". *Production Planning and Control*, 32(12), 990-1003.
- Ezeokoli, F. O., Okolie, K. C., Okoye, P.U., ve Belonwu, C.C. (2016). "Digital transformation in the Nigeria construction industry: The professionals' view". *World Journal of Computer Application and Technology*, 4(3), 23-30.
- Forat, A. S., Przegalińska, A., ve Krzemiński, M. (2021). "Risk Assessment on The Construction Site with The Use of Wearable Technologies". *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3411-3417.
- Ghosh, A., Edwards, D.J., & Hosseini, M.R. (2020). "Patterns and Trends in Internet of Things (IoT) Research: Future Applications in the Construction Industry". *Engineering, Construction and Architectural Management*, 8(2), 457-481.
- Hajian, H., ve Becerik-Gerber, B., (2009). "A Research Outlook for Real-Time Project Information Management By Integrating Advanced Field Data Acquisition Systems and Building Information Modeling". *International Workshop on Computing in Civil Engineering*, 24-27 Haziran 2009, Austin, Texas.
- Hartl, E., ve Hess, T. (2017). "The role of cultural values for digital transformation: Insights from a Delphi study". *Cultural Values in Digital Transformation*, Twenty-third Americas Conference on Information Systems, Boston, USA.
- Kaya, K. (2016). "Big Data ve İnşaat Sektöründeki Yeri". <https://kaankaya7.wordpress.com/2016/03/30/big-data-ve-insaat-sektorundeki-yeri/> (Erişim Tarihi: 27.11.2021).
- Keleş, A.E., ve Keleş, M.K. (2018). "İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi". *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(2), 610-617.
- Khajavi, S.H., Motlagh, N.H., Jaribion, A., Werner, L.C. ve Holmstrom, J., (2019). "Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings". *IEEE Access* 7, 147406-147419.
- Kim, M. K., Cheng, J.C., Sohn, H., ve Chang, C.C., (2015). "A Framework for Dimensional and Surface Quality Assessment of Precast Concrete Elements Using BIM And 3D Laser Scanning", *Automation in Construction*, 49, 225-238.
- Kim, K., Lee, G., ve Kim, S. (2020). "A Study on The Application of Blockchain Technology in The Construction Industry". *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 24(9), 2561-2571.
- Khosnava, S.M., Ahankoob, A., Preece, C., ve Rostami, R. (2012). "Potential Application of BIM in Construction Dispute and Conflict" *Management in Construction Research Association Postgraduate Conference*, 1-8.
- Koseoglu, O., Keskin, B., ve Ozorhon, B. (2019). "Challenges and enablers in BIM-enabled digital transformation in mega projects: The Istanbul new airport project case study". *Buildings*, 9(5), 115-139.
- KPMG (2021). "No Turning Back: An Industry to Transcend- Global Construction Survey, 2021". <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2021/08/global-construction-survey1.pdf> (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- KPMG (2021b). "Dijitalleşme Yolunda Türkiye 2021: Trendler ve rehber hedefler". <http://tbv.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/Dijitalleşme-Yolunda-Tu%CC%88rkiye-Raporu-v9.pdf> (Erişim Tarihi: 07.02.2022).
- Laing, R., Leon, M., Isaacs, J., ve Georgiev, D., (2015). "Scan To BIM: The Development of a Clear Workflow For The Incorporation Of Point Clouds Within A BIM Environment". *WIT Transactions on The Built Environment*, 149, 279-288.
- Lee, J. H., Song, J. H., Oh, K. S., ve Gu, N. (2013). "Information Lifecycle Management with RFID for Material Control on Construction Sites". *Advanced Engineering Informatics*, 27(1), 108-119.
- Lindgren, R., ve Johnson-Glenberg, M. (2013). "Emboldened by Embodiment: Six Precepts for Research on Embodied Learning and Mixed Reality", *Educational Researcher*, 42(8), 445-452.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Maresova, P., Krejcar, O., ve David, O.O. (2019a). "Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective", *Economies*, 7(68), 1-14.
- Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K.N., Maresova, P., ve Krejcar, O. (2019b). "Industry 4.0 For the Construction Industry—How Ready Is the Industry?". *Applied Sciences*, 9(14), 2819.
- Morgan, B. (2019). "Organizing For Digitalization Through Mutual Constitution: The Case of a Design Firm". *Construction Management and Economics*, 37(7), 400-417.
- Mueller B. ve Renken U. (2017). "Helping Employees Become Digital Transformers - The Olympus.connect Case.", 38th International Conference on Information Systems (ICIS 2017) - Seoul, Kore.
- Osmundsen, K., Iden, J., ve Bygstad, B. (2018). "Digital Transformation: Drivers, Success Factors, and Implications". *The 12th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)*, Korfu, Yunanistan.
- Ozorhon, B., Caglayan, S., Erturk, F. O., ve Arisoy, M. B. (2018). "BIM Transition Process in Construction Companies". *TAMAP Journal of Engineering*, 2018(1), 1-8.
- Patel, V., Chesmore, A., Legner, C.M., ve Pandey, S. (2021). "Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity". *Advanced Intelligent Systems*, 2100099.
- Qi, Q. ve Tao, F., (2018). "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison". *IEEE Access* 6, 3585-3593
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., ve Matos, P. (2018). "Digital transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research". *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 411-421).
- Şen, G.E. (2021). "AR/VR Destekli BIM Teknolojileri ile Tesis Yönetimi", *Yapı Bilgi Modelleme Dergisi*, 3(1), 12-22.
- Tanyer, A. M., ve Pekerçli, M. K. (2008). "İnşaat Sektörü İçin Bilgi Teknolojilerindeki Son Gelişmeler", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 451.
- TBM (Türk Müteahhitler Birliği) (2021). "İnşaat Sektörü Analizi". <https://www.tmb.org.tr/uploads/publications/61764df3f9c4d65243f22e68/1635143124770-tmb-bulten-ekim-2021.pdf> (Erişim Tarihi: 26.01.2022).
- Tesch, J.F., Brillinger, A.S., ve Bilgeri, D. (2017). "Internet of things business model innovation and the stage-gate process: An exploratory analysis". *International Journal of Innovation Management*, 21(05), 1740002.
- Turunç, S. (2019) "Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

- Uygunoğlu, T., ve Topçu, İ. B. (2020). "Nesnelerin İnternetinin (IoT) İnşaat Mühendisliğindeki Rolü: RFID Uygulamaları". *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 4(3), 270-277.
- Verma, A., Prakash, S., Srivastava, V., Kumar, A. ve Mukhopadhyay, S.C. (2019). "Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review". *IEEE Sensors Journal*, 19(20), 9036-9046.
- Wyman, O. (2018). "Digitalization of The Construction Industry: The Revolution Is Underway" https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2018/july/OliverWyman_Digitalization_in_the_construction_industry_web_final.PDF (Erişim Tarihi: 26.01.2022).



AYRIK PSO ALGORİTMASI İLE KONSOL DÖŞEMELERİN GÜVENİLİRLİK TABANLI KESİT OPTİMİZASYONU

Mehmet Kevser DERDİMAN*

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Ayrık optimizasyon,
PSO algoritması,
Konsol döşeme,
Konsol döşeme sehimi.*

Öz

Günümüzün gelişen bilgisayar teknolojileri ile kullanımı ve araştırması en çok artan konuların başında optimizasyon gelmektedir. Parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması ise uzun yıllardır üzerinde araştırmalar yapılmış ve geçerliliği kabul görmüş popülasyon tabanlı algoritmalar arasında yer almaktadır. Konsol döşemelerde döşemenin sehim sınırlarını aşmadan TS500 taşıma gücü kriterlerini sağlayacak çok sayıda farklı çözümü mevcuttur. Bu çözümler arasında en faydalı ve ekonomik olanın seçilmesi önemlidir. Eğer optimal tasarıma ilişkin bir kriter ortaya konulursa, bu tasarımcı için önemli bir yol gösterici olacaktır. Bu çalışmada sıklıkla sehim sorunları yaşanan konsol döşemelerin güvenilirlik tabanlı ayrık optimizasyonu yapılarak konsol boyuna, yüküne ve beton sınıfına bağlı optimal kesit yüksekliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ayrık PSO algoritması tasarlanarak, TS500 sınır şartları ile TS500 taşıma gücü yöntemi ve deplasman kriterleri dikkate alınarak farklı beton dayanımları altında çözüm uzayı içinden optimal çözüm kümesi araştırılmıştır. Farklı konsol boyu ve beton sınıflarına göre elde edilen çok sayıda çözümlerden polinom tabanlı regresyon ile optimal kesit yüksekliğini hesaplayan bağıntılar geliştirilmiştir.

RELIABILITY-BASED CROSS-SECTION OPTIMIZATION OF CANTILEVER SLABS USING DISCRETE PSO ALGORITHM

Keywords

*Discrete optimization,
PSO algorithm,
Cantilever slab,
Cantilever slab deflection.*

Abstract

Optimization is one of the most increasing topics in today's developing computer technologies and its use and research. The particle swarm optimization (PSO) algorithm, on the other hand, is among the population-based algorithms that have been researched and accepted for many years. There are many alternative solutions that will meet the TS500 bearing capacity criteria without exceeding the deflection limits of the slabs in cantilever slabs. It is important to choose the most useful and economical among these alternative solutions. If a criterion for optimal design is put forward, this will be an important guide for the designer. In this study, it was attempted to determine the optimal cross-section height depending on the length, load and concrete class of the cantilever slabs, which often have deflection problems, by making discrete optimization based on reliability. For this purpose, the discrete PSO algorithm was designed and the optimal solution set was investigated within the solution space under different concrete strengths, taking into account the TS500's boundary conditions, ultimate limit state method and displacement criteria. From numerous analyses obtained according to different cantilever lengths and concrete classes, correlations have been developed that calculate the optimal cross-sectional height by polynomial-based regression.

Alıntı / Cite

Derdiman, M.K., (2022). Ayrık PSO Algoritması ile Konsol Döşemelerin Güvenilirlik Tabanlı Kesit Optimizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 987-999.

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmetderdیمان@isparta.edu.tr, +90-246-214-6781

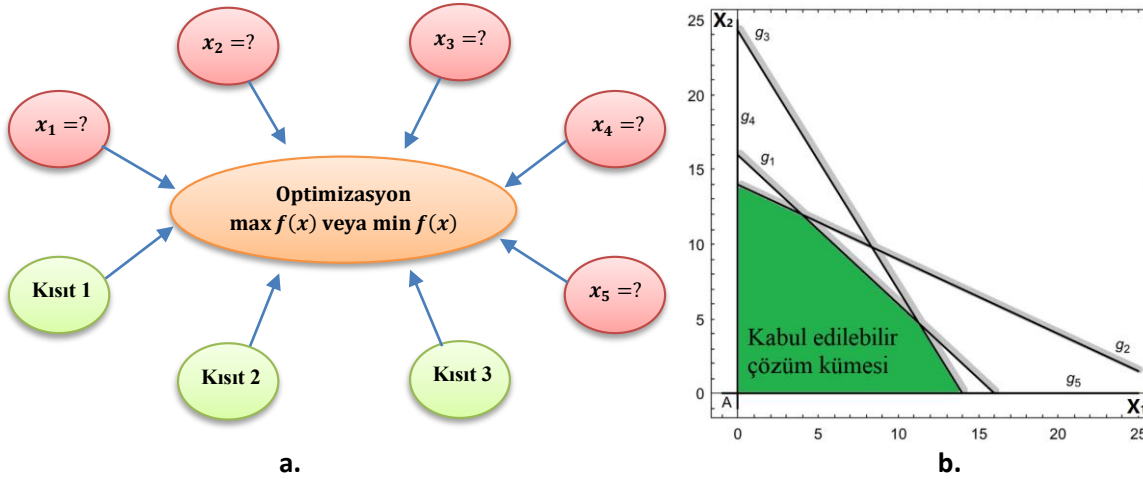
Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M.K. Derdiman, 0000-0003-2359-3120	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.06.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date	13.01.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	07.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Optimizasyon, her türlü üretim, mühendislik tasarımı, bilgisayar bilimi, ekonomi, yönetim vb. gibi çeşitli alanlarda uygulanabilir. İnşaat mühendisliğindeki optimizasyon problemleri betonarme, ahşap ve çelik yapıların tasarımı, yol ve köprü tasarımı, su yapılarının tasarımı, istinat duvarlarının tasarımı vb. gibi bir çok konuyu kapsamaktadır.

Optimizasyonun amacı, kalite, kar ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak ve/veya maliyeti, kullanılan kaynakları en aza indirmek olabilir. Tüm optimizasyon problemleri mümkün olan en iyi çıktıyı elde etmek için belirlenmesi gereken değişkenlere sahiptir. Doğada çözülmesi gereken sorunlar genellikle karmaşıktır ve optimizasyon probleminin değişkenleri birçok çelişkili gereksinim ve ilişkilere sahiptir (Vasuki, 2020). Bu çelişkili duruma deprem mühendisliğinde sıkça karşılaşılan artan rijitliğin daha fazla deprem kuvveti talebi ile karşılaşması veya betonarme yapıların yapısal çözümlemesinde artan kesit boyutlarının yapı ağırlığını artırarak daha fazla dayanım talebinin ortaya çıkması gibi örnekler verilebilir.

Optimizasyon problemi, en uygun çözümün elde edilmesi için sağlanması gereken kısıtlamalara sahip olabilir. Kısıtlamalar şunlar olabilir: a. İlgili değişkenin tamsayı olma zorunluluğu (örneğin optimum 13.75 cm döşeme kalınlığı pratikte uygulanamaz 14 cm olmalıdır, veya donatı aralığı cm cinsinden tamsayı olmalıdır vb. gibi), b. Başka bir değişken ile orantılı olma zorunluluğu (örneğin donatı kesit alanı ile döşeme kalınlığı arasındaki koşullar), c. Üretilen ürün standardının minimum maksimum gereklilikleri (alt ve üst sınırlar), d. Tüketilen güç sınırlaması, e. Maliyet sınırlaması, f. Ağırlık sınırlaması vs. gibi olabilir. Amaçları odaklayarak, birbiri ile çelişkili de olabilen bu kısıtlar altında optimizasyon tekniğinin tasarlanması gerekir.



Şekil 1. a. Genel optimizasyon problemi (Vasuki, 2020) **b.** İki boyutlu optimizasyon probleminde kısıtların sınırladığı, kabul edilebilir çözüm kümesi örneği (Arora, 2012) (a. General optimization problem b. An example of an acceptable set of solutions limited by constraints in a two-dimensional optimization problem)

Şekil 1’de beş boyutlu ve üç kısıta sahip genel optimizasyon problemini ve iki boyutlu örnek bir optimizasyon probleminde kısıtların sınırladığı kabul edilebilir çözüm uzayı gösterilmiştir. Optimizasyon problemlerinin çözümünde iki temel yöntem mevcuttur. Birisi genellikle gradyan (iki boyutlu problemlerde türev) ilişkilerine dayanan matematiksel optimizasyondur, bazı kaynaklarda deterministik optimizasyon olarak da adlandırılmaktadır. Diğeri ise sezgisel yöntemlere dayanan stokastik optimizasyon yöntemleridir. Bu yöntemler yaygın olarak metasezgisel yöntemler olarak adlandırılır.

Optimizasyon problemini çözerken matematiksel yöntemlerin kullanılması çeşitli zorluklarla birlikte gelir. Bu genellikle eldeki problemin doğasından kaynaklanır. Örneğin, çok sayıda yerel optimal çözüm içeren problemler, süreksiz problemler, doğrusal olmayan kısıtlamalara sahip problemler bu kapsam dahilindedir. Bu problemler genellikle büyük “dalgalı” bir arama alanına sahiptir. Bu nedenle, matematiksel optimizasyon teknikleri olası tüm aday çözümleri bulamayabilir (Okwu ve Tartibu, 2021).

Deneme yanılma, geçmişte çoğu problem çözme tekniğinde kullanılmıştır, bu genellikle sezgisel yöntem olarak kabul edilir. Metasezgisel yöntemler ise yeterince iyi bir çözüme ulaşabilen üst düzey bir sezgisel teknik olarak adlandırılır.

Evrimsel algoritmalar ve doğadan ilham alan metasezgisel algoritmalar hakkındaki literatür hızla genişlemektedir. Bu algoritmaların çoğu, biyolojik veya doğal sistemlerin evrimsel özelliklerinden ilham almıştır (Yang, 2019). Metasezgisel yöntemler bir takım doğa olaylarından esinlenerek geliştirilmiş olmasından dolayı "doğa esinli optimizasyon" teknikleri olarak da adlandırılır. Bu algoritmalar son derece etkilidir ve optimal tasarım için yüksek performansa sahiptirler. Bu yöntemler, herhangi bir problem çözüm uzayında global optimum çözümü bir hesap ile tespit edemez. Bunun nedeni, metasezgisel yöntemlerinin çoğunun stokastik çözüm üretmesidir, bu da elde edilen çözümün bir tür üretilen rastgele değişkenlere büyük ölçüde bağlı olduğu anlamına gelir. Bu yöntemler, kombinatoriyal optimizasyonda, çok az hesaplama yaparak veya hiç hesaplama yapmadan, geniş bir aralıktaki çözüm kümesindeki en iyileri bulabilirler (Okwu ve Tartibu, 2021). Örneğin tek bir değişken için çözümün virgülden sonra iki basamaklı hassasiyet ile arandığı bir durum da 8 cm ile 30 cm arasındaki döşeme kalınlığı için $(30-8)/0.01=2200$ çözüm mümkün iken, ayrık optimizasyonda cm olarak tam sayı ile çalışıldığında $30-8=22$ çözüm mevcuttur. Bu da yapılacak işlem hacmini azaltmaktadır.

1.1. Ayrık Optimizasyon (Discrete Optimization)

Optimizasyon algoritmaları, değişkenlerinin sürekli değerlerinde arama yapmak için tasarlanmışlardır. Bununla birlikte, süreksiz değişken değerleri ile çalışmak, problemi sürekli optimizasyon problemi olma durumundan çıkartır. Örneğin giriş içerisinde kullanılacak donatı çapının ancak belirli değerlerde olması durumu, donatının değişken olarak dahil olduğu problemi ayrık optimizasyon problemine dönüştürür. Kullanılacak beton sınıfının hesaplarda ele alınacak dayanım değerleri için de aynı durum söz konusudur. Ve mühendislik tasarımlarının çoğunda problemler karşımıza ayrık optimizasyon problemi olarak çıkar. Ayrık optimizasyon durumunda çoğunlukla kombinatorik çözüm kümesi karşımıza çıkacaktır, örneğin etriye çapı için $\phi 8, \phi 10, \dots$ gibi. Bu da problem çözümünde algoritma değişikliğini gerektirmektedir.

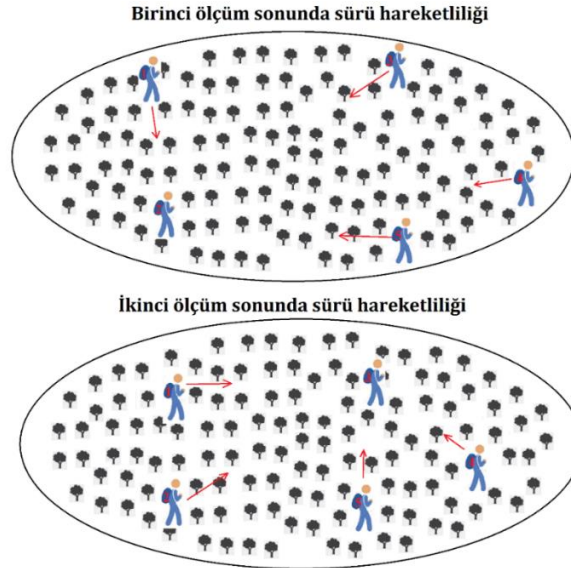
1.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Değişkenleri (Particle Swarm Optimization (PSO) and Variables)

PSO algoritmaları koloni sürüsü istihbarat paradigması üzerine kuruludur. Balık ve kuş sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek James Kennedy ve Russell Aberhart tarafından 1995 yılında tanıtıldı (Eberhart ve Kennedy, 1995). James Kennedy ve Russell Aberhart hayvanların sosyal davranışlarını tanımlamak için bir model geliştirmek için çalışıyorlardı, ancak geliştirdikleri modelin optimizasyon testleri yapabildiğini fark ettiler ve yeni bir optimizasyon tekniğini önerdiler. PSO'daki sürünün operasyonel arama yapan akıllı bir optimizasyon sürüsü olduğu söylenebilir. PSO bilim ve mühendisliğin çeşitli alanlarında başarıyla uygulanarak çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek için en kullanışlı ve en popüler algoritmalarından biri haline gelmiştir.

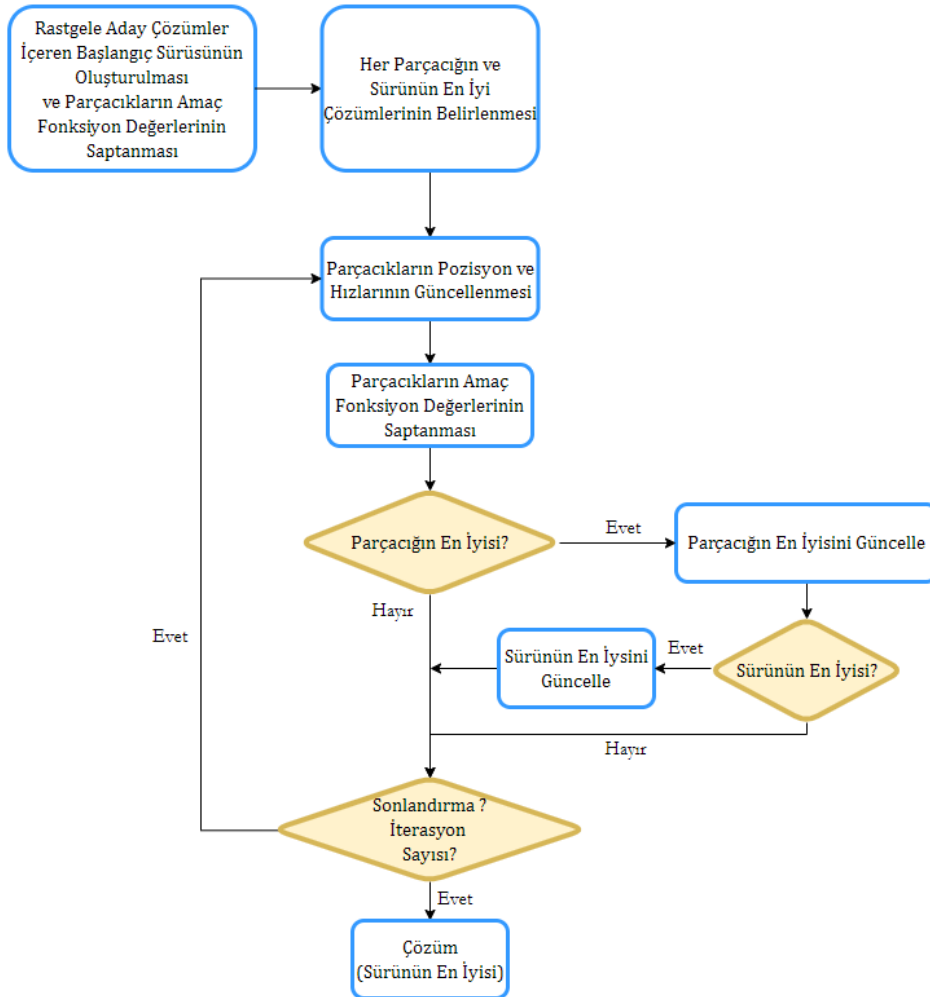
Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), sürekli ve ayrık optimizasyon problemlerini çözmek için popülasyona dayalı stokastik bir yaklaşımdır. Parçacık sürüsü optimizasyonunda, parçacıklar olarak adlandırılan ve yazılımda vektör ile gösterilen aday çözüm değerleri, bir optimizasyon probleminin arama alanı içinde değişir. Her parçacık, kuş akısının davranışsal modellerinden esinlenen kurallara göre hızını değiştirerek arama alanında daha iyi pozisyonlar arar (Dorigo vd., 2008).

PSO çok basit ancak güçlü bir algoritmadır. PSO'da çözümü bulmak adına arama yapan her bir bireye parçacık, parçacıkların bulunduğu popülasyona ise sürü adı verilir. Bireylerin çözümleri amaç fonksiyonu ile belirlenir. Amaç (uygunluk) fonksiyon değeri en uygun olan sürünün en iyisi olarak adlandırılır. Parçacıkların her konum için amaç fonksiyonu hesaplanırken en uygun değeri de parçacık bilgisi içinde saklanır ve bu da parçacığın en iyisi olarak adlandırılır. Parçacıklar yeni yön ve hızlarını bu bilgileri kullanarak belirler.

Şekil 2'de sürü ve parçacık hareketliliğini gösteren örnek, Şekil 3'de de PSO algoritmasının akış şeması verilmiştir. Parçacık hareketliliği bir orman analogisi ile anlatılabilir. Bu örnekte bir orman bölgesine yayılmış araştırmacılar tarafından orman içindeki en yaşlı ağaç saptanmaya çalışılıyor olsun. Eğer orman yüzeyinde bir nokta orijin kabul edilerek üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi (x ve y doğrultusu pozisyonu, z doğrultusu ağaç yaşını ifade ediyor) tanımlanırsa, ormandaki her bir ağaç çözüm kümesini, aranan en yaşlı ağaç ise maksimumun olduğu noktayı ifade edecektir. Orman yüzeyinde bu araştırmayı yapan rastgele dağılmış birey_1, birey_2, birey_3, birey_4 ve birey_5 adlı araştırmacıların (parçacıkların), devamlı ölçüm kaydı aldıklarını varsayalım. Birinci ölçüm sonunda en iyi değeri birey_2 tarafından alınmış ise diğer parçacıklar yön ve hızlarını birey_2'ye yönlendirecek ve en iyi değerden uzaklığı oranında iyiye yaklaşma hızına sahip olacaktır.



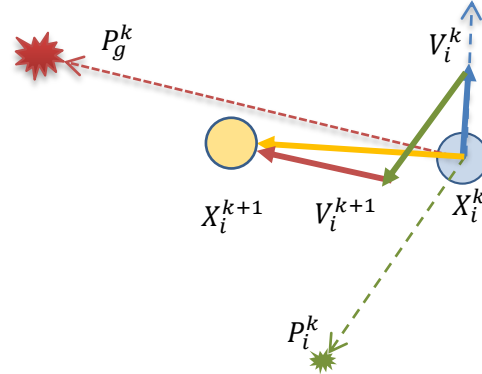
Şekil 2. Sürü-Parçacık hareketliliğine örnek (Example of swarm-particle mobility)



Şekil 3. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması akış şeması (Flowchart of particle swarm optimization algorithm)

Bu hareketlilik sonrası yeni pozisyondaki parçacıklar yeni ölçümler ile kendi en iyi değerini ve sürünün en iyi değerini değerlendirerek yeni yön ve hızlara sahip olacaklardır. Bu dögüsel olarak devam ettiğinde ve yeter sayıda parçacık mevcut ise çözüm uzayını temsil eden tüm orman yüzeyi araştırılmış olacaktır. Burada araştırmacı sayısı algortmada popülasyon sayısını (nüfusu), her bir araştırmacı parçacığı, her ölçüm ve değerlendirme iterasyon içi işlemleri, ormandaki ağaçlar çözüm uzayını ve en yaşlı ağaç ise aranan çözümü ifade etmektedir.

Parçacıklar arama alanı boyunca hareket eder ve konumları, her yinelemede tek tek parçacıkların en iyi konumlarına göre güncellenir. Şekil 4’de gösterilen konum ve hız güncellemesinin hesabı Denklem (1),(2)’de verilmiştir (Li ve Liu, 2011). Belirli bir sayıda (100-1000) döngü sonrası artık en iyi parçacık vektörünün (çözüm kümesi) değişmemesi döngünün durdurulmasını gerektirir. Prathabrao vd. (2017) yaptıkları araştırmada bu döngü sayısının 100-1000 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Sheikhalishahi vd. (2013) de yaptıkları araştırmada değişen parçacık sayısının, döngü (iterasyon) sayısını etkilediğini vurgulamaktadırlar.



Şekil 4. Parçacığın k ve k+1’nci döngüdeki pozisyon ve hızının vektörel olarak hesaplanması ve güncellenmesi (Calculation and update of the position and velocity of the particle in the k and k+1st cycle)

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 r_1 (P_i^k - X_i^k) + c_2 r_2 (P_g^k - X_i^k) \quad (1)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (2)$$

Burada X_i^k ve V_i^k parçacığın geçerli pozisyon ve hızını, X_i^{k+1} ve V_i^{k+1} parçacığın güncellenmiş pozisyon ve hızını, ω atalet katsayısını, c_1 ve c_2 parçacığın kendi en iyisine sürünün en iyisine doğru ivme değerini, r_1 ve r_2 birden küçük sıfırdan büyük rastgele sayı değerini, P_i^k ve P_g^k ise parçacık ve sürüye ait en iyi pozisyon değerlerini ifade etmektedir. Algoritma döngüsü içinde atalet katsayısı ω , bir sönüm katsayısı ω_{damp} ile azaltılmaktadır.

PSO algoritması ω atalet katsayısı, ω_{damp} sönüm katsayısı, c_1 ve c_2 ivme değerleri, r_1 ve r_2 rastgele sayı değerleri, popülasyon sayısı ve iterasyon sayısı olmak üzere çok sayıda parametreye sahiptir.

Doğadan ilham alan algoritmaların başarısına ve popüleritesine rağmen, hala daha fazla araştırma gerektiren bazı sorunlar mevcuttur. Bu tür algoritmaları analiz etmek için titiz bir matematiksel çerçevenin bulunmamasına ek olarak, önemli bir araştırma alanı parametre ayarlama ve parametre kontrolüdür. Hemen hemen tüm algoritmalar algoritmaya bağlı parametrelere sahip olduğundan, ayarları söz konusu algoritmanın performansını büyük ölçüde etkileyecektir. Bununla birlikte, bir algoritmanın verimli bir şekilde nasıl ayarlanacağı ve parametrelerinin nasıl değiştirileceği/kontrol edileceği hala çözülmemiştir (Yang, 2018).

1.3. Güvenilirlik Tabanlı Optimizasyon (Reliability-Based Optimization)

Mekanik sistemlerde güvenilirlik, otomobil, havacılık, uzay, inşaat mühendisliği ve savunma endüstrilerinde rekabetin merkezindedir (El Hami ve Radi, 2013).

Bir yapıda aranan en önemli özellik, yapının öngörülen yüklerin olası en elverişsiz etkiye durumunda geçmeden ayakta kalabilmesi ve servis yükleri altında yapı elemanlarında aşırı deformasyon, çatlama ve titreşim oluşmamasıdır (Ersoy vd., 2019). Bu temel güvenilirlik ilkesi olarak adlandırılabilir. Bu ilke çerçevesinde dayanımın en az yük etkisi eşit, sehim miktarının ve çatlak genişliğinin ise yapı kullanım amacı doğrultusunda belirlenecek kısıtlar içinde kalması şartının sağlanmasını gerektirir. Dayanım hesaplamasındaki en önemli değişkenler malzemelere ait mekanik özellikler olup özellikle betonarmede zamana bağlı değişkenliği veya üretim aşamasındaki belirsizlikler nedeni ile deterministik olarak kesin bir değer belirlemek mümkün değildir. Yük etkisinin belirlenmesinde kullanılacak olan yüklerin de, sabit tek bir değer alınmasının olanaksızdır. Dolayısıyla hem malzeme özelliklerine hem yük değerlerine ilişkin saptamalar ancak olasılıksal yaklaşımlarla sağlanabilir.

TS498 (TSE, 1997) geçmiş 50 yıllık veri birikimi ile istatistiksel değerlendirmeler yaparak yük değerler için sınır şartlarını ve TS500 (TSE, 2000) de dayanım ve malzeme şartları ve bunlara ait güvenlik katsayılarını vermiştir.

Denklem (3)’de TS500’deki “taşıma gücü sınır durumu” şartı verilmiştir. Yapı elemanlarının her birinin Denklem (4)’de belirtilen biçimde, azaltılmış malzeme dayanımları (tasarım dayanımları) kullanılarak hesaplanan taşıma

gücü değerlerinin, artırılmış tasarım yükü ile hesaplanan iç kuvvet değerlerinden hiçbir zaman küçük olmadığı kanıtlanacaktır.

$$R_d \geq Fd \quad (3)$$

Buradaki R_d : dayanım değerini ve Fd : yük etkisini göstermek üzere Denklem (4)'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} R_d &= R_k/\gamma_m \\ F_d &= \gamma_Q F_Q + \gamma_G F_G \end{aligned} \quad (4)$$

Buradaki γ_m : malzeme katsayısını, γ_Q , γ_G : yük katsayılarını, R_k : karakteristik dayanımı ve F_Q , F_G : karakteristik yük etkisini ifade etmektedir.

Optimizasyonda bu şartlar bir belirleyici bir kısıt olarak tanımlanması durumunda güvenilirlik esaslı bir optimal tasarım gerçekleştirilmiş olacaktır. Güvenilirlik esaslı bir optimizasyon için bu Denklem (5)'deki şekilde matematiksel olarak ifade edilebilir.

$$\text{Güvenilirlik Kısıtları: } \begin{cases} (g_R)_i(x) \leq (g_F^*)_i \\ i = 1, 2, \dots, j \end{cases} \quad (5)$$

Kullanım yükü etkisindeki yapıda aşırı yer değiştirme veya sehim olmamalıdır. Kullanım yükü, servis yükü veya işletme yükü şeklinde adlandırılan yükler sabit ve hareketli yüklerdir. Deprem ve rüzgar yükleri kullanım yükü değildir.

Çünkü deprem ve rüzgar yükü yapının kullanım amacı dışındadır, deprem sırasında yapı zaten kullanılamaz. Aşırı sehim taşıyıcı olmayan elemanlarda hasara neden olur ve eğer varsa, hassas makinelerin işlevini bozar.

Taşıma gücü ilkelerine göre tasarlanmış, yani dayanım açısından güvenli donatılmış bir kirişin veya döşemenin ne kadar sehim yapacağı belirlenmesi ve izin verilen sınırı aşmış aşmadığının kontrol edilmesi gerekir. Son yıllarda, artan beton kalitesi ve dayanımı (C30/37, C40/50 gibi) sonucu mühendisler kiriş, döşeme ve kolonların kesitlerini küçültme eğilimindedirler. Bunun sonucu olarak aşırı sehim oluşmaktadır. Sehim hesabı yaklaşıktır, kesin değeri hesaplamak imkansızdır (Topçu, 2019).

Kullanım yükleri altında çelik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır fakat beton için aynı durum geçerli değildir. Çünkü betonun elastisite modülü gerilme düzeyine ve zamana bağlı olarak değişir. Fakat çatlamamış betonun, gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin doğrusal davranışa çok yakın olduğu varsayılabilir. Sehim hesaplarında çeliğin doğrusal davrandığı betonun ise çatlama durumu dikkate alınarak hesaplanan etkili atalet momenti ile doğrusal davrandığı kabulü ile hesap yapılır. Sehim ve çatlak hesapları için daha doğru ve daha basit bir hesap yolu yoktur.

Konsol döşemeler genellikle bir doğrultuda çalışan döşemeler türündedir. Bunlar statik bakımdan belirli olduklarından mesnet kesitlerinde yapılacak bir yanlışlık hemen büyük çatlaklar veya göçme olarak ortaya çıkar (Celep, 2020).

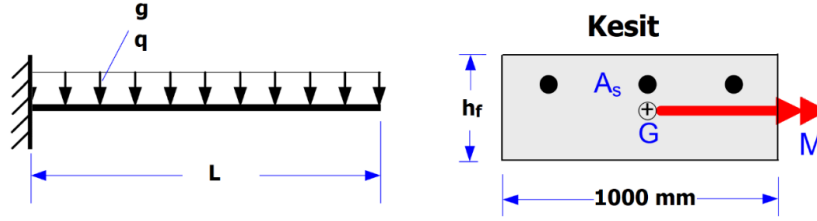
Bu çalışmada sıklıkla sehim sorunları yaşanan konsol döşemelerin güvenilirlik tabanlı ayırık optimizasyonu yapılarak konsol açıklığına, yüküne ve beton sınıfına bağlı optimal kesit yüksekliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Metasezgisel algoritmaların bir çoğu konsol döşemelerin optimizasyonu problemine uygulanabilir. Fakat PSO'nun yaygınlığı (Li vd., 2019; Yang ve Karamanoglu, 2020), geleneksel arama algoritmalarından daha iyi olduğu ve birçok problem türü için genetik algoritmalarından daha verimli (Yang, 2014) olması nedeniyle bu çalışmada da, PSO algoritması modifiye edilerek ayırık parçacık sürü optimizasyon algoritması tasarlanmış, TS500 sınır şartları ile TS500 taşıma gücü yöntemi ve deplasman kriterleri dikkate alınarak farklı beton dayanımları altında kombinatorik çözüm uzayı içinden optimal çözüm kümesi (kesit değerleri) araştırılmıştır. Farklı beton sınıfları için konsol boylarına bağlı olarak çok sayıdan çözümlenmeden elde edilen polinom tabanlı regresyon ile optimum kesit yüksekliğini hesaplayan bağıntılar geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

Şekil 5'de optimizasyonu çalışılan konsol döşeme sisteminin yükleme durumu ve kesiti gösterilmiştir.

Optimizasyona ait PSO dahil edilerek hazırlanan tüm algoritmik kodlamalar (PSO'ya ilave olarak döşemeye ait moment ve kesme kuvveti tasarım yükü etkisi, eğilme ve kesme taşıma gücü betonarme hesabı, sehim hesabı, donatı oranı hesabı ve yönetmelikteki tüm kısıtların ceza (penaltı) fonksiyonuna dönüştürme işlemleri ve amaç fonksiyonun kodlanması) Python 3.8 programlama dili (Python Software Foundation, 2021) ve NumPy ve Pandas modülleri (NumFOCUS, 2021) kullanılarak yazılmıştır.



Şekil 5. Konsol döşeme ve bir metre genişlik için kesiti (Cantilever slab and cross section for one meter width)

Optimizasyon 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Dolayısıyla değişken sayısı $n = 3$ 'dür ve bu değişkenler, döşeme kalınlığı x_1 , mesnetteki donatı çapı x_2 ve mesnetteki donatı aralığı x_3 şeklinde alınmıştır. Ayrıca tüm döşemelerde dağıtma donatısı $\phi 8/300$ bulunduğu ve optimizasyonu etkilemediği için değişken olarak tanımlanmamıştır.

Algoritma, parçacıkların her biri, döşeme kalınlığı x_1 , mesnetteki donatı çapı x_2 ve mesnetteki donatı aralığı x_3 değişken bilgilerini rastgele değerler olarak başlamakta, devamında döngü içerisinde her parçacık için moment ve kesme tasarım kuvvetleri, moment ve kesme taşıma gücü, konsol deplasmanı ve sınır deplasman değeri, kısıtların karşılaştırması ve buna bağlı ceza fonksiyonunun belirlenmesi sonucunda amaç fonksiyon hesaplanmaktadır. Devamında parçacıkların ve yürütülen tüm döngülerin en iyi değerleri belirlenmekte ve tüm sürünün bu değerlere yaklaşacak şekilde içerikleri değiştirilmektedir. Sürü her döngüde hareket ettikçe parçacıkların değerleri Şekil 3'de verilen algoritma akış şeması ve Denklem (1) ve (2) ye göre değişecek ve döngüler tamamlandığında optimal değerlere ulaşılacaktır.

Çeşitli çalışmalarda popülasyondaki parçacık sayısının 20 ile 60 arasında olması optimal çözüm için uygun olduğu gösterilmiştir (Karaboğa, 2014; Shi ve Eberhart, 1998) fakat Piotrowski vd. (2020) araştırmalarında gerçek dünya problemlerinde elde edilen sonuçlar için sürünün 300-1000 parçacıktan oluştuğunda en iyi sonuçların elde edildiğini araştırmalarında vurgulamaktadırlar. Bu çalışmada ise, çok sayıda deneme çözümü sonucunda düşük (<100) popülasyon boyutu seçilmesi durumunda bazen yerel çözümlere takıldığı görülmüş dolayısıyla popülasyon boyutu 200 alınmıştır.

Döngü (iterasyon) sayısı 400 seçilmiş ve döngüyü durdurma kriteri eklenmemiştir. Atalet katsayısının ve sönüm katsayısı için Karaboğa (2014), çalışmasında 0.9 dan 0.4 e doğru doğrusal azalmanın algoritma performansını iyileştirdiğini belirtmektedir (Karaboğa, 2014; Shi ve Eberhart, 1998) dolayısıyla ω atalet katsayısı 0.9, ω_{damp} sönüm katsayısı 0.998 seçilmiştir. Böylece atalet katsayısı her döngüde azalarak döngü sonunda 0.4 civarlarına gelmektedir. Aynı çalışmada c_1 ve c_2 ivme değerlerinin 1.494 alınmasının uygun olduğundan da bahsedilmektedir (Karaboğa, 2014), dolayısıyla bu çalışmada c_1 ve c_2 ivme değerleri 1.494 alınmıştır, r_1 ve r_2 rastgele sayı değerleri ise 0-1 arası üniform dağılımla seçilmiştir.

Program bir konsol açıklığı ve bir beton sınıfı için $400 \times 200 + 200$ (başlangıç pop) = 80200 kez, farklı konsol boyu ve beton sınıfı dahil $26 \times 6 \times 80200 = 12\,511\,200$ kez döşemeye ait moment ve kesme kuvveti tasarım yükü etkisi, eğilme ve kesme taşıma gücü betonarme hesabı, sehim hesabı, donatı oranı hesabı, yönetmelikteki tüm kısıtların ceza (penaltı) fonksiyonuna dönüştürme işlemleri ve amaç fonksiyonunun hesabı yapılmaktadır.

Modelde beton sınıfı C25/30 'dan C50/60 'a kadar olanlar alınmıştır. Betonarme çeliği ise hesaplarda sabit $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$ ve betonarme çeliği için malzeme katsayısı $\gamma_{ms} = 1.15$ alınmıştır. Betonun denetimli olduğu varsayımı ile malzeme katsayısı $\gamma_{mc} = 1.5$ ile hesap yapılmıştır. Paspayı tüm modellerde $c_o = (15 + \phi/2)$ mm alınmıştır.

Hareketli yük değeri 5 kN/m^2 (TSE, 1997) ve ölü yük değeri döşeme plağı, 5 cm tesviye, 2 cm seramik kaplama ve 2 cm sıva yükünden oluşmaktadır. Tasarım yükü P_d , yük birleşimleri dikkate alınarak $1.4g + 1.6q$ şeklinde, sehim hesabındaki servis yükü P ise, $1.0g + 1.0q$ şeklinde hesaplanmıştır.

Konsol boyu L ise 0.5 m den başlayıp 0.1 m artım ile 3 m'ye kadar değişen değerler ile ve altı farklı beton sınıfı için toplam 156 modelin analizi gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyona ait değişkenlerin alt ve üst sınırları Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Optimizasyona ait değişkenlerin alt ve üst sınırları (Lower and upper limits of optimization variables)

Değişkenler	Alt Sınır	Üst Sınır	Değişim Aralığı
Döşeme Kalınlığı (h_f) : x_1 (mm)	80	400	10
Mesnetteki donatı aralığı: x_2 (mm)	50	200	10
Mesnetteki donatı çapı: x_3 (mm)	8	16	2

Parçacıkların elde ettiği kesit tasarım bilgilerinden sehim, moment ve kesme taşıma gücü hesabı TS500 'ün (TSE, 2000) taşıma gücü yöntem ve varsayımları ile yapılmıştır. Bu varsayımlar şunlardır:

- Donatı beton ile tam kenetlenmiştir,
- Betonun çekme dayanımı sıfır alınmaktadır.
- Birim şekil değiştirme dağılımı doğrusaldır.
- Betonarme çeliğinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi elasto-plastiktir ve Hooke kanununun geçerli olduğu bölgede elastisite modülü $E_s=200$ GPa'dır.
- Taşıma gücüne erişildiğinde basınç bölgesinin en çok zorlanan beton lifindeki maksimum birim kısalma 0.003 dür.
- Beton basınç bloğundaki gerilme dağılımı TS500:2000 Madde 7.1 de tanımlanan eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu modelindeki gibidir.

İlgili kısıtlar ve deplasmanlar da yine TS500'de verilen koşullar çerçevesinde tanımlanmıştır. Örneğin konsol döşemede mesnet donatısı aralığı 200 mm'yi geçemez (Adem Doğan, 2018; Celep, 2020; TSE, 2000) kuralındaki 200 mm burada üst sınır olarak uygulanmıştır.

$$Optimizasyon: \begin{cases} \min_{x_i \in [x_i^l, x_i^u]} f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \text{Güvenlilik Kısıtları: } \begin{cases} (g_R)_m(x) \leq (g_F^*)_m \\ m = 1, 2, \dots, l \end{cases} \\ \text{Diğer Kısıtlar: } \begin{cases} g_j(x) \leq g_j^* \\ j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

Optimizasyon probleminin genel matematiksel ifadesi Denklem (6)'da verilmiştir.

Minimum olması istenen amaç fonksiyonunun ($f(x_1, x_2, \dots, x_n)$) doğru ifade edilmesi, uygunluk düzeyi yüksek çözümlerin verimli bir şekilde seçilmesini sağlayacaktır. Amaç fonksiyonunun doğru şekilde ifade edilmemesi, yanlış veya anlamsız çözümlere neden olabilir (Yang, 2014). Bu çalışmada amaç fonksiyonu ağırlığı değil, fiyatı minimize edecek şekilde tasarlanmıştır. Tablo 2'de beton ve betonarme çeliğinin 2021 yılına ait fabrika çıkış birim fiyatları verilmiştir. Beton ve betonarme çeliğinin ikisi de m^3 birim fiyatı dikkate alınarak, döşemenin birim genişlik için amaç fonksiyonu Denklem (7)'deki gibidir.

$$f(x_1, \dots, x_5) = \left(\text{Çel. Fiyat} * \left(\frac{1}{x_3} * \frac{x_2^2 \pi}{4} \right) * 10^{-3} \right) + \left(\text{Bet. Fiyatı} * \frac{x_1}{10^6} \right) + \text{pen_func}(x, g(x)) \quad (7)$$

Amaç fonksiyonunun değişkenleri, kısıtlara uymaması durumunda ceza fonksiyonu (penalty fonksiyonu: $\text{pen_func}(x, g(x))$) uygulaması yapılmıştır. Ceza fonksiyonu içinde kısıtları aşan değerler, aştıkları farkın 10 katı (eğer oran veya sehim ise 1000 katı) alınarak ceza puanına dönüştürülmüş ve toplam ceza amaç fonksiyonuna eklenmiştir.

Tablo 2. 2021 yılına ait birim fiyatlar (Unit prices for the year 2021) (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, n.d.).

C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	B420C	B420C
₺/m ³	₺/m ³	₺/m ³	₺/m ³	₺/m ³	₺/m ³	₺/kg	₺/m ³
205	213	228	241	246	253	4.79	37601.5

Toplam 9 kısıt tanımlanmıştır, bunlar sırasıyla minimum döşeme kalınlığı kısıtlaması, maksimum ve minimum donatı oranı kısıtlamaları, kesme kapasitesinin tasarım kesme kuvvetinden büyük eşit olma kısıtlaması, minimum dağıtma donatısı aralığı kısıtlaması, deplasman miktarı kısıtlaması ve taşıma gücünün yük etkisinden büyük eşit olma kısıtlamasıdır ve bunlar Denklem (8)-(13), **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**(20)'de verilmiştir.

$$g_1(x) = h_{fmin} - x_1 \leq 0 \quad (8)$$

$$g_2(x) = \frac{\left(\frac{1000}{x_3} * \frac{x_2^2 \pi}{4}\right)}{1000 (x_1 - c_o)} - 0.85 \rho_b (f_{ck}) \leq 0 \quad (9)$$

$$g_3(x) = \frac{\left(\frac{1000}{x_3} * \frac{x_2^2 \pi}{4}\right)}{1000 (x_1 - c_o)} - 0.02 \leq 0 \quad (10)$$

$$g_4(x) = \rho_{min} - \frac{\left(\frac{1000}{x_3} * \frac{x_2^2 \pi}{4}\right)}{1000 (x_1 - c_o)} \leq 0 \quad (11)$$

$$g_5(x) = P_d L - 0.65 f_{ctd} 1000 (x_1 - c_o) \leq 0 \quad (12)$$

$$g_6(x) = x_3 - 200 \leq 0 \quad (13)$$

Deplasman hesabında tüm kullanım yüklerinden ($g + q$) oluşan ani sehime değeri (δ_i), Denklem (14) kullanılarak hesaplanmıştır. Ani sehime bağlı olarak da zamana bağlı sehime ($\delta_{ig}\lambda$), hesaplanmıştır (TSE, 2000).

$$\delta_i = \frac{(g + q)L^4}{8E_c I_{ef}} \quad (14)$$

$$I_{ef} = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3\right] I_{cr} \quad (15)$$

$$M_{cr} = 2.5 f_{ctd} \frac{I_c}{y} \quad (16)$$

$$\delta_t = \delta_i + \delta_{ig}\lambda \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{\gamma_t}{1 + 50\rho'} \quad (18)$$

$$\delta_{ig} = \delta_i \frac{\sum \text{KalıcıYükler}}{\sum \text{TümYükler}} \quad (19)$$

Denklem (14) de ani sehime değeri, Denklem (15)'de efektif atalet momenti ve Denklem (16)'da kesitin çatlama momenti verilmiştir. Betonarme yapılarda sünme ve büzülme etkisi ile oluşan zamana bağlı ek sehimlerin hesabı, genel olarak TS500-Madde 3.3.4 de verilen değişkenlere göre hesaplanmalıdır, zamana bağlı sehimleri de içeren toplam sehime ise Denklem (17)'ten hesaplanır (TSE, 2000). Denklem (17) ile λ değeri yine TS500-Çizelge 13.2'den alınan kalıcı yük süre katsayısı, $\gamma_t = 2$ alınarak hesaplanmıştır. Kısıtlamadaki sınır değer ise $L/240$, TS500-Çizelge 13.3 alınmıştır. Deplasman kısıtı Denklem (20)'de verilmiştir.

$$g_7(x) = \delta_{ig}(x) - L/240 \leq 0 \quad (20)$$

Taşıma gücü kısıtlaması Denklem (21),(22)'deki gibidir.

$$M_r(x_1, x_2, x_3, f_{ck}, f_{yk}) = 0.85 f_{cd} \left(\frac{1000}{x_3} * \frac{x_2^2 \pi}{4}\right) c(x) k_1 \left(x_1 - c_o - \frac{c(x) k_1}{2}\right) \quad (21)$$

$$g_8(x) = M_d - M_r(x_1, x_2, x_3, x_4, f_{ck}, f_{yk}) \leq 0 \quad (22)$$

3. Bulgular (Research Findings)

Optimizasyon modellerinin analizi sonucunda elde edilen bulgulardan konsol boyu 1000 mm'den başlayan ve 500 mm artış ile 3000 mm'ye kadar olanlar Tablo 3.'de verilmiştir. Toplam 156 modelin yalnızca 30 adedine ait değerlendirmeye esas bulgular verilmiştir. Tablonun son sütununda da tasarım kriteri niteliğinde konsol boyunun optimal döşeme kalınlığına oranı verilmiştir.

Burada konsol boyu ile beton dayanımındaki ilişki açıkça görülmektedir. Örneğin 2500 mm konsol boyu için C25 ile tasarlanırsa deplasman kısıtlamasını da sağlayacak optimal döşeme kalınlığı 250 mm iken C45 ile 220 mm bulunmuştur.

Konsol boyunun optimal döşeme kalınlığına oranı (L/h_f), $L = 2500 \text{ mm}$ 'ye kadar tüm beton sınıfları için 10'dan büyük bulunmuştur.

Tablo 3. Çalışma kapsamında elde edilen optimizasyon sonuçları*. (Optimization results obtained in the study).

Model No	Konsol Açık: L (mm)	f_{ck} (MPa)	Optimum h_f (mm)	Minimum h_f (mm)	Toplam Deplasman (mm)	Deplasman Sınırı: L/240 (mm)	Donatı Aralığı (mm)	Donatı Çapı	Donatı Oranı	L/ h_f
6	1000	25	90	83.3	2.41	4.17	170	8	0.0042	11.1
11	1500	25	140	125.0	4.38	6.25	180	10	0.0036	10.7
16	2000	25	190	166.7	7.80	8.33	130	10	0.0036	10.5
21	2500	25	250	208.3	10.19	10.42	100	10	0.0034	10.0
26	3000	25	320	250.0	11.58	12.50	80	10	0.0033	9.4
32	1000	30	100	83.3	1.11	4.17	200	8	0.0031	10.0
37	1500	30	130	125.0	5.50	6.25	110	8	0.0042	11.5
42	2000	30	190	166.7	5.86	8.33	130	10	0.0036	10.5
47	2500	30	240	208.3	9.96	10.42	100	10	0.0036	10.4
52	3000	30	320	250.0	8.61	12.50	120	12	0.0031	9.4
58	1000	35	90	83.3	1.42	4.17	170	8	0.0042	11.1
63	1500	35	130	125.0	4.32	6.25	170	10	0.0042	11.5
68	2000	35	180	166.7	6.60	8.33	120	10	0.0041	11.1
73	2500	35	230	208.3	10.28	10.42	140	12	0.0038	10.9
78	3000	35	310	250.0	8.18	12.50	160	14	0.0033	9.7
84	1000	40	90	83.3	1.36	4.17	180	8	0.0040	11.1
89	1500	40	130	125.0	3.48	6.25	110	8	0.0042	11.5
94	2000	40	170	166.7	7.86	8.33	120	10	0.0044	11.8
99	2500	40	230	208.3	8.27	10.42	140	12	0.0038	10.9
104	3000	40	290	250.0	10.10	12.50	200	16	0.0037	10.3
110	1000	45	90	83.3	1.31	4.17	180	8	0.0040	11.1
115	1500	45	130	125.0	2.86	6.25	170	10	0.0042	11.5
120	2000	45	170	166.7	6.49	8.33	80	8	0.0042	11.8
125	2500	45	220	208.3	9.17	10.42	180	14	0.0043	11.4
130	3000	45	280	250.0	10.44	12.50	150	14	0.0039	10.7
136	1000	50	90	83.3	1.27	4.17	180	8	0.0040	11.1
141	1500	50	130	125.0	2.42	6.25	170	10	0.0042	11.5
146	2000	50	170	166.7	5.45	8.33	80	8	0.0042	11.8
151	2500	50	220	208.3	7.69	10.42	130	12	0.0043	11.4
156	3000	50	280	250.0	8.73	12.50	150	14	0.0039	10.7

*156 modelden, konsol boyu 1000 mm den itibaren 500 ün katları tabloda verilmiştir.

Konsol boyunun optimal döşeme kalınlığına oranı (L/h_f), $L = 2500 - 3000$ mm'ye kadar olanlar ise C35 ve üzeri beton sınıfları için 10'dan büyük bulunmuştur.

Şekil 1'da "konsol boyu (L)" ile "optimum döşeme kalınlığı (h_f)" arasındaki ilişki eğrileri ve polinom tabanlı regresyon eğrileri beton sınıflarına göre ayrı ayrı verilmiştir.

$$C25/30: \quad y = 2x^2 \cdot 10^{-5} + 0.0262x + 50.016 \quad R^2 = 0.9963 \quad (23)$$

$$C30/37: \quad y = 2x^2 \cdot 10^{-5} + 0.0130x + 58.742 \quad R^2 = 0.9952 \quad (24)$$

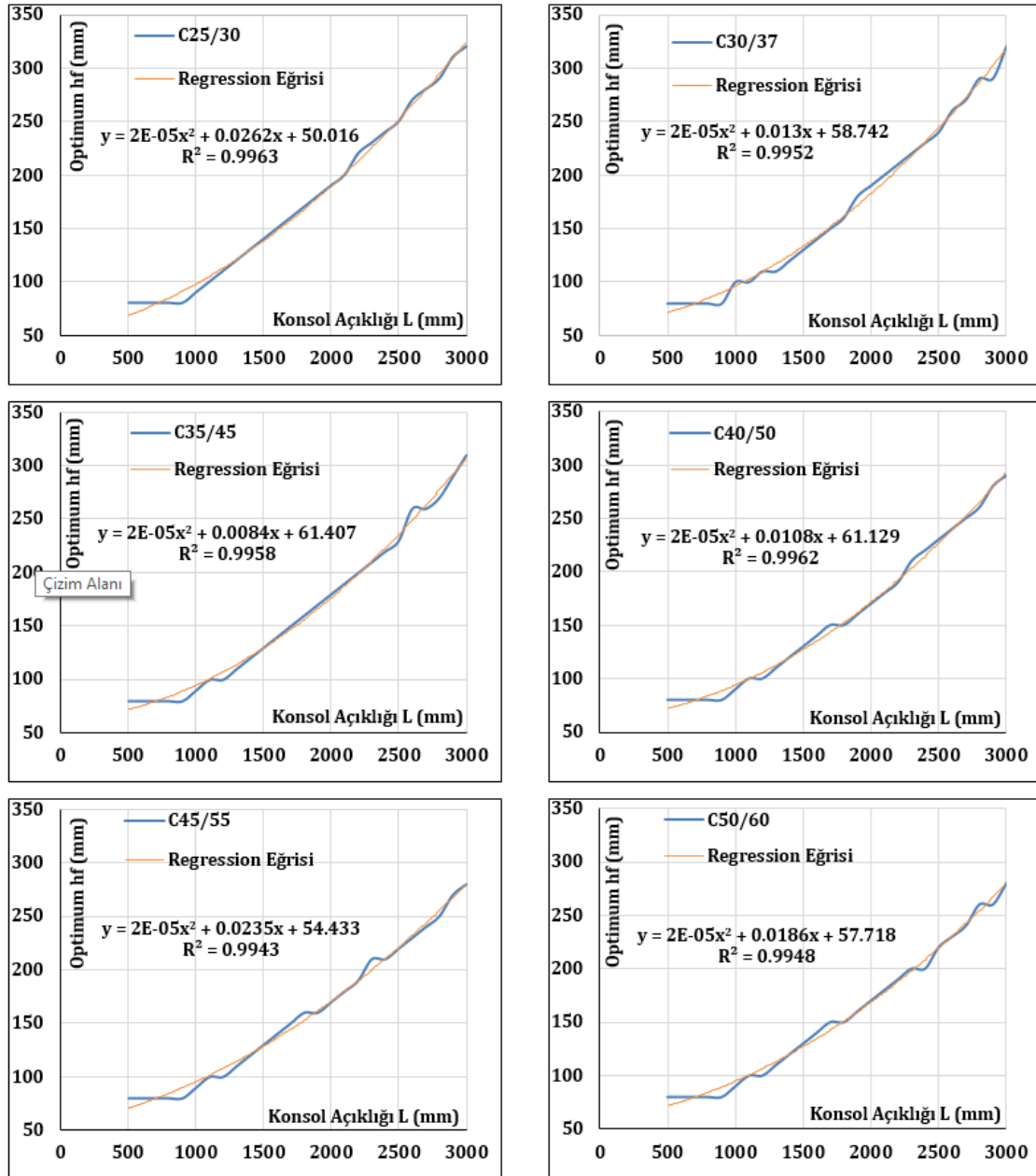
$$C35/45: \quad y = 2x^2 \cdot 10^{-5} + 0.0084x + 61.407 \quad R^2 = 0.9958 \quad (25)$$

$$C40/50: \quad y = 2x^2 \cdot 10^{-5} + 0.0108x + 61.129 \quad R^2 = 0.9962 \quad (26)$$

$$C45/55: \quad y = 2x^2 \cdot 10^{-5} + 0.0235x + 54.433 \quad R^2 = 0.9943 \quad (27)$$

$$C50/60: \quad y = 2x^2 \cdot 10^{-5} + 0.0186x + 57.718 \quad R^2 = 0.9948 \quad (28)$$

Denklem (23)-(28)'de beton sınıflarına göre polinom regresyon ile elde edilen ve optimum döşeme kalınlığını hesaplayan bağıntılar ($x = L$ ve $y = \text{optimum } h_f$) verilmiştir. Polinom regresyonu, bağımsız değişken x ile bağımlı değişken y arasındaki ilişkinin n . derece polinom olarak modellendiği bir regresyon analizidir. Tüm regresyon analizlerinde "belirleme katsayısı: R^2 " değeri tüm beton sınıflarında 0.99'dan büyük çıkmıştır.



Şekil 1. Beton sınıflarına göre “konsol boyu (L)” ile “optimum döşeme kalınlığı (h_f)” arasındaki ilişki ve polinom tabanlı regresyon eğrileri (Relationship between “cantilever length (L)” and “optimum slab thickness (h_f)” according to concrete classes and polynomial-based regression curves)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada sıklıkla sehim sorunları yaşanan konsol döşemelerin güvenilirlik tabanlı ayırık optimizasyonu yapılarak konsol boyuna, yüküne ve beton sınıfına bağlı optimal kesit yüksekliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla PSO algoritması modifiye edilerek ayırık parçacık sürü optimizasyon algoritması tasarlanmış, TS500 sınır şartları ile TS500 taşıma gücü yöntemi ve deplasman kriterleri dikkate alınarak farklı beton dayanımları altında kombinatorik çözüm uzayı içinden optimal çözüm kümesi (kesit değerleri) araştırılmıştır.

Farklı konsol boyu ve beton sınıfları için polinom tabanlı regresyon ile optimal kesit yüksekliğini hesaplayan bağıntılar elde edilmiştir.

Günümüzde kolaylıkla elde edilebilen C50/60 betonu ve 2500 mm konsol boyu için deplasman ve güvenilirlik kısıtlarını sağlayacak optimal döşeme kalınlığının 220 mm olduğu tespit edilmiştir.

Önemli bir tasarım ipucu olabilecek konsol açıklığının döşeme kalınlığına oranı (L/h_f) beton sınıflarına göre şu şekilde elde edilmiştir.

- C30/37 beton sınıfı ve yaygın konsol boyu ($L \leq 2500 \text{ mm}$) için $L/10.4$,
- C35/45 ve C40/50 beton sınıfları ve yaygın konsol boyu ($L \leq 2500 \text{ mm}$) için $L/10.9$,
- C45/55 ve C50/60 beton sınıfları ve yaygın konsol boyu ($L \leq 2500 \text{ mm}$) için $L/11.4$ değerleri bulunmuştur.

Bu güvenilirlik ve deplasman kısıtlamalarını sağlayabilecek optimal döşeme kalınlığını veren bir orandır.

5. Semboller (Symbols)

$f(x)$: Minimum olması istenen amaç fonksiyonu veya fitness fonksiyonu (burada x birden fazla değişkeni olan bir vektördür)

$g(x)$: Kısıtlara ait fonksiyonlar

ρ, ρ_b : Çekme donatısı oranı ve dengeli donatı oranı

x_i^L, x_i^U : Değişkenler için alt ve üst sınırlar

$x_1 = h$: Döşeme kalınlığı

x_2, x_3 : Konsol doğrultusundaki donatı çapı ve konsol doğrultusundaki donatı aralığı

x_4, x_5 : Konsol doğrultusuna dik doğrultudaki donatı çapı ve konsol doğrultusuna dik doğrultudaki donatı aralığı

L : Konsol açıklığı

q, g : Karakteristik hareketli ve ölü yük

P_d, P : Tasarım yükü ve servis yükü

M_d, M_r : Tasarım eğilme momenti ve taşıma gücü moment kapasitesi

BF, CF : Betonun birim metreküp fiyatı ($\text{₺}/\text{m}^3$) ve çeliğin birim metreküp fiyatı ($\text{₺}/\text{m}^3$)

h, d : Döşeme kalınlığı ve faydalı yükseklik

f_{yk} : Donatının karakteristik akma dayanımı

f_{yd} : Donatının tasarım akma dayanımı

E_s : Betonarme çeliğinin elastisite modülü

ε'_s : Basınç donatısındaki birim boy kısalması

σ' : Basınç donatısının akma öncesi gerilme dayanımı

f_{cd}, f_{ctd} : Beton tasarım basınç dayanımı ve tasarım çekme dayanımı

γ_{mc}, γ_{ms} : Beton ve çelik için malzeme katsayısı

k_1 : Dikdörtgen beton basınç blok derinliğinin tarafsız eksen derinliğine oranı

$c(x)$: Tarafsız eksen derinliği

c_o : Donatının ağırlık merkezinden beton yüzeyine mesafe (paspayı)

I_c, I_{cr}, I_{ef} : Donatılı kesitin normal, çatlama ve efektif atalet momentleri

M_{cr}, M_{max} : Donatısız kesiti çatlatacak moment ve kesite etkiyen maksimum moment

$\delta_i, \delta_{ig\lambda}, \delta_t$: Ani sehim, zamana bağlı sehim ve toplam sehim

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Adem Doğançün, 2018. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Lord Matbaacılık ve Kağıtçılık, İstanbul.
- Arora, J.S., 2012. Introduction to Optimum Design, 4th ed, Introduction to Optimum Design. Elsevier Inc., Oxford.
- Celep, Z., 2020. Betonarme Yapılar, 11th ed. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021. İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayıç Listeleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Dorigo, M., Oca, M.A.M., Engelbrecht, A., 2008. Particle swarm optimization. Scholarpedia, 3, 1486.

- Eberhart, R., Kennedy, J., 1995. New optimizer using particle swarm theory. Proceedings of the International Symposium on Micro Machine and Human Science, 39–43.
- El Hami, A., Radi, B., 2013. Uncertainty and optimization in structural mechanics, Uncertainty and Optimization in Structural Mechanics. John Wiley & Sons, Inc., London.
- Ersoy, U., Özcebe, G., Canbay, E., 2019. Betonarme : Davranış ve Hesap İlkeleri, 9th ed. İstanbul.
- Karaboğa, D., 2014. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, 3rd ed. Nobel, Ankara.
- Li, L., Liu, F., 2011. Group Search Optimization for Applications in Structural Design. Springer International Publishing, Berlin.
- Li, X.-L., Serra, R., Olivier, J., 2019. Effects of Particle Swarm Optimization Algorithm Parameters for Structural Dynamic Monitoring of Cantilever Beam. Surveillance, Vishno and AVE conferences, 1–7.
- NumFOCUS, 2021. Numpy & Pandas [WWW Document]. URL <https://pandas.pydata.org> (accessed 5.1.21).
- Okwu, M.O., Tartibu, L.K., 2021. Metaheuristic Optimization : Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence , Theory and Applications. Springe Na, Cham, Switzerland.
- Piotrowski, A.P., Napiorkowski, J.J., Piotrowska, A.E., 2020. Population size in Particle Swarm Optimization. Swarm and Evolutionary Computation, 58, 100718.
- Prathab Rao, M., Nawawi, A., Sidek, N.A., 2017. Swarm size and iteration number effects to the performance of PSO algorithm in RFID tag coverage optimization. AIP Conference Proceedings 1831, 020051-1–020051-6.
- Python Software Foundation, 2021. Python [WWW Document]. URL <http://www.python.org> (accessed 5.1.21).
- Sheikhalishahi, M., Ebrahimipour, V., Shiri, H., Zaman, H., Jeihoonian, M., 2013. A hybrid GA-PSO approach for reliability optimization in redundancy allocation problem. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68, 317–338.
- Shi, Y., Eberhart, R.C., 1998. Parameter selection in particle swarm optimization. Evolutionary Programming VII, 591–600.
- Topçu, A., 2019. Betonarme II. Eskişehir.
- TSE, 2000. TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 1997. TS 498 Yapi Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vasuki, A., 2020. Nature-Inspired Optimization Algorithms. Taylor & Francis, Oxford.
- Yang, X.S., 2019. Introduction to Algorithms for Data Mining and Machine Learning. Elsevier Inc., Oxford.
- Yang, X.S., 2018. Mathematical Analysis of Nature-Inspired Algorithms, X.S. Yang (Edt.), Nature-Inspired Algorithms and Applied Optimization, içinde (s. 1–27). Springer, Switzerland.
- Yang, X.S., 2014. Nature-Inspired Optimization Algorithms, First. ed. Elsevier, London.
- Yang, X.S., Karamanoglu, M., 2020. Nature-inspired computation and swarm intelligence: a state-of-the-art overview, X.S. Yang, (Edt.), Nature-Inspired Swarm Intelligence Computation and Algorithms, Theory and Applications, içinde (s. 3–18). Elsevier Inc., Oxford .



ANALYSIS OF DATA SECURITY AND CYBER-ATTACK METHODS IN DIGITAL CURRENCY

İsa AVCI*

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

Keywords

*Data Security,
Cybersecurity,
Cyber-Attack Methods,
Digital Currency.*

Abstract

With the rapid development of technology in recent years, digital data in information technology has become an indispensable area of life. The use of digital data services in our daily lives has become inevitable. Money transactions, purchases, and money transfers are made by banks and users every day. With the transition from paper systems to digital systems, the number of users is increasing day by day, but there are security concerns about these systems. In modern technologies, the possibility of information theft, the risk of cyber-attack, and the fear of breaches are constantly being worried about financial losses. Since such digital currency transactions carry the personal data and privacy of users, everyone needs to complete the correct transactions reliably. Due to the great importance of financial transactions and digital currencies in daily life, this article explains the features of digital currency and how to prevent counterfeiting. It will also analyze what tools are safe to use in a cryptocurrency. The risks that the algorithm mechanisms used in these processes can handle are examined and security problems are explained. In addition, security methods, algorithms, digital currency cyber-attack methods, and security measures of crypto money are examined.

DİJİTAL PARA BİRİMLERİNDE VERİ GÜVENLİĞİ VE SİBER SALDIRI YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

*Veri Güvenliği,
Siber Güvenlik,
Siber Saldırı
Yöntemleri,
Dijital Para.*

Öz

Teknolojinin son yıllarda hızla gelişmesiyle birlikte bilgi teknolojisindeki dijital veriler hayatın vazgeçilmez bir alanı haline gelmiştir. Dijital veri servislerinin günlük yaşamımızda kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Her gün bankalar ve kullanıcılar tarafından para işlemleri, satın almalar ve para havaleleri yapılmaktadır. Kağıt sistemlerden dijital sistemlere geçişle birlikte kullanıcı sayısı her geçen gün artmaktadır ancak bu sistemlerle ilgili güvenlik endişeleri bulunmaktadır. Modern teknolojilerde bilgi hırsızlığı olasılığı, siber saldırı riski ve ihlal korkusu finansal kayıplara yol açabileceği endişesi sürekli yaşanmaktadır. Bu tür dijital para işlemleri, kullanıcıların kişisel verilerini ve gizliliğini taşıdığı için herkesin doğru işlemleri güvenilir bir şekilde tamamlaması gerekmektedir. Finansal işlemlerin ve dijital para birimlerinin günlük yaşamdaki büyük önemi nedeniyle, bu makalede dijital para biriminin özelliklerini ve sahteciliğe nasıl önlem alınması gerektiği açıklanmaktadır. Ayrıca bir kripto para birimini kullanmak için güvenli olan araçların neler olduğunu analiz edilecektir. Bu işlemlerde kullanılan algoritma mekanizmalarının ele alabileceği riskler incelenerek güvenlik sorunları anlatılmaktadır. Ayrıca kripto paranın güvenlik yöntemleri, algoritmaları, dijital para siber saldırı yöntemleri ve güvenlik önlemleri incelenmiştir.

Alıntı / Cite

Avci, İ., (2022). Analysis of Data Security and Cyber-Attack Methods in Digital Currency, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 1000-1013.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Avci, 0000-0001-7032-8018

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.08.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.11.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.03.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Introduction

* İlgili yazar / Corresponding author: isaavci@karabuk.edu.tr, +90-533-425-6111

With the developing technologies, order taking from commercial transactions, confirmation of delivery, transactions, and commercial communications are made over the internet. Tremendous development and continuous advancement in banking technology have enabled many banks to offer easy-to-use money transfers over the Internet through secure techniques, known as electronic transactions.

Much of the early blockchain work focused on Bitcoin's success. Having a real, tangible blockchain application accessible to virtually anybody was a surprise discovery for financial speculators and academics alike. Following the Bitcoin trend, in turn, has demonstrated the upward scalability and stability of blockchain-based applications. This successful use case has led to an ideal situation for researchers seeking funding to expand and explore larger and more complex blockchain applications. While many have found beneficial applications and improvements, there have also been cases and experiments reporting various negative and undesirable effects of blockchain.

Today, most people do banking transactions such as cash withdrawals, money transfers, payphones, electricity bills, and shop online after official business hours using the internet without physical interaction with bank employees. Bank, deposit, transfer, balance inquiry, mini statement, withdrawal, express cash, etc. influenced its customers by performing banking transactions in various ways. As we deal with digital data, the rate of cybercrime is increasing day by day. Crime and criminal attacks target cybersecurity and cyber information also by attacking the electronic banking system and illegally stealing basic personal information for customers (account details, card details, user ID, password, etc.).

In this study, we found it necessary to do an article and scientific research on digital currencies, the data used in them, and how to deal with them. First of all, the studies will be examined, digital currencies, security of digital currencies, cyber events, and cyber attacks will be examined. Thus, cyber security and security measures will be evaluated specifically for digital currencies.

2. Literature Survey

Cryptocurrencies and their data are vulnerable to theft and attempted attack and the user account becomes vulnerable to attack. Not only is it a threat to the user, but it is also a threat to the bank. The research in this article will include identifying the most important digital currencies included in Bitcoin and their counterparts, as well as the method of electronic dealing with digital financial data and the risks that may face its users and the services that can be obtained. We intend to provide a full description as a general reference for dealing with digital financial data. Many scientific research and articles have been presented regarding digital currency data, and the following is a set of research and what it included regarding digital currencies and the study in their fields, in which we can benefit from the experiences provided in them to provide a comprehensive description and sufficient information regarding digital currencies, the risks of digital data, how to protect them and the best use of them.

Table 1. Literature review for related research

No	Researchers	Research	Secured
1	Guglielmo Maria Caporale, Woo-Young Kang, Fabio Spagnolo , Nicola Spagnolo (Caporale et al., 2021)	Cyber-attacks, spillovers, and contagion in the cryptocurrency markets	Effects and fluctuations between (Bitcoin, Litecoin, and Ethereum) and cyberattacks. They found that cyber-attacks strengthen connections across markets, which reduces opportunities for portfolio diversification for cryptocurrency investors.
2	Guglielmo Maria, Woo-YoungKanga, Fabio Spagnoloa, Nicola Spagnolo (Caporale et al., 2020)	Non-linearities, cyber-attacks, and cryptocurrencies	Analyzing the effects of cyber-attacks on (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Stellar) from 8/8/2015 to 2/28/2019, after examining the results, Significant they concluded that there are negative effects of cyber-attacks on the likelihood of cryptocurrencies remaining in the system of low volatility.
3	Guglielmo Maria Caporalea, Woo-Young Kang, Fabio Spagnolo and Nicola Spagnolo (Caporale et al., 2020)	Cyber-attacks and Cryptocurrencies	Looking at the effects of cyberattacks on their revenues, volatility, and trading volume in 99 developed countries (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, XRP, and Steller), crypto investors, exhibits risk-loving behavior when hash rate and cryptocurrency returns increase and are risk-averse when economic uncertainty is high when cyberattacks target financial and industrial sectors.

After studying the research presented in digital currencies, we will get to know these digital currencies by choosing

some of them to talk about them in detail and how to deal with those currencies and carry out sales, purchase, and deposit operations, then identify the risks of using them by studying the events and electronic attacks that happened previously, then we move on to know those attacks and how to protect and safety From them, and we also learn about some of the algorithms that are used in data security, to reach a comprehensive guide for dealing with digital currencies.

3. Digital Currencies

Digital currency is all the money, currencies and financial transactions that can be performed using digital computers, the digital currency could be stored and exchanged, as well as sending and receiving it or performing the operations of buying and selling using it and one of the important advantages of digital currencies is that they, like codes or data or bytes, cannot be touched and also cannot be possessed or dealt with except with the presence of computers or mobile devices and the need to connect to the Internet and servers for the electronic wallet, not like paper or metal currencies that can be touched and possessed. Despite these differences, but digital currencies can also purchase goods and services online, digital currencies possess the essential characteristics of paper currencies, which are the possibility of conducting financial transactions and correspondence smoothly and immediately and not restricted by traditional financial transactions procedures (Al-Laham et al., 2009). It is possible to conduct a process of buying and selling between two different countries at a lower cost than the cost of a regular way and without being subject to the commission calculated by the authorities, but the limits should not be exceeded allowed for transactions. Despite the great similarity in the advantages that can be used in all types of paper and digital currencies, there is a difference in many variables. When digital currencies are a group of cryptocurrencies virtual currencies, the issuance of digital currencies by a country's central bank takes place in an organized manner, it is called a "central bank digital currency (CBDC)" and resides in a digital currency. and conceptual form (Bank of England, 2021). It should be noted that the UK, Sweden, and Uruguay are among the countries that are considering launching a digital version of their original paper currency, provided that it is a controlled currency, and an unregulated digital currency can be issued in addition to the regular CBDC. It differs from the first type in that it qualifies as a virtual currency and can be regulated by a defined network protocol rather than currency creators, founders, or a central regulator (Bank for International Settlements, 2021). This virtual currency is an example of cryptocurrency and coupons, or cash rewards associated with systems are included.

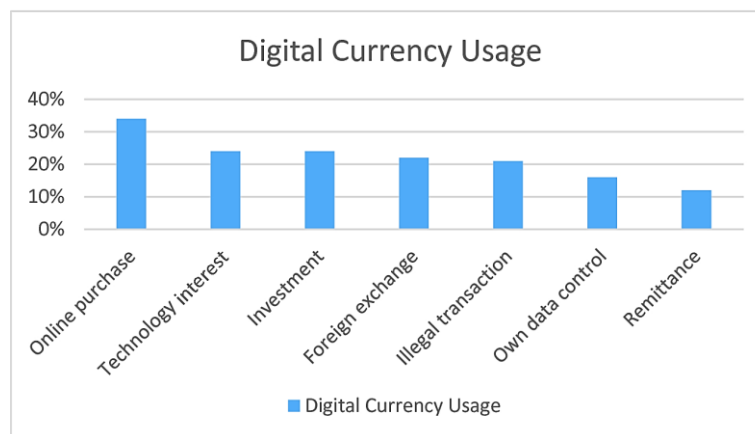


Figure 1. Digital currencies usage (De Silva et al, 2021)

Considering the use of digital currencies, online purchase is around 35% and ranks first. Looking at the next uses, investment and technology interest is around 25%. It is seen that digital currencies are mostly used in the field of online internet shopping.

3.1. Alternate Cryptocurrencies

There are many currencies in circulation at present, some of which are widely known and some that are not traded and used, and we will highlight the most important of these currencies.

3.1.1. Bitcoin

Bitcoin is a cryptocurrency that was created in 2008 by a group of people using the name Satoshi Nakamoto and started working on it in 2009 and is considered a decentralized digital currency. It is the sole authority and does not need intermediaries to complete the sending process between itself. The sending process takes place on a

private network and the process is verification, encryption, and registration under a private distributor called blockchain (Artisantechgroup, 2021).

3.1.2. Ethereum

It is an open-source, decentralized blockchain and is the second-largest cryptocurrency by market capitalization after Bitcoin and the most used. This currency was created in 2013 by Programmer Vitalik Buterin. In 2015, it started with the ability to run decentralized applications and script programs by the Ethereum virtual machine and began implementing a series of upgrades called Ethereum 2.0 (Nytimes, 2021).

3.1.3. Litecoin

It is one of the most important digital currencies launched in the world in 2011. It was developed by Charlie Lee, a graduate of the Massachusetts Institute of Technology and a former engineer at Google, and can be described as one of the world's largest cryptocurrencies (Newreleases, 2021). Litecoin is based on a global network of open sources is not subject to any authority or centralization. As proof of action that can be decrypted by consumer-grade CPUs. Litecoin, compared to Bitcoin has more rewards faster-rendering speed per the blocks and blocks.

3.1.4. Cardano

It is also one of the most important cryptocurrencies, having been developed by engineers, mathematicians, and cryptologists utilizing a research-based methodology. Charles Hoskinson, one of Ethereum's initial five founding members (Investopedia, 2021), was a co-founder of the project. Because it seeks to build decentralized financial products and give solutions for serial interoperability, Cardano has emerged as a leader among its peers in demonstrating the stake in addition to other big cryptocurrencies.

3.1.5. Stellar

It is also an open blockchain network that is meant to deliver business solutions by linking financial institutions to execute huge transactions between them and banks and enterprises very immediately, without the need of middlemen, and at a low or no cost to the parties involved (Thenextweb, 2021). The Lumens is Stellar's first currency (XLM). Users must have Lumens to make transactions and remittances on the network.

3.2. Cryptocurrencies Prices

The table below, based on digital data, displays the market value of the most major digital currencies in the market, and because these values fluctuate based on transactions, they are continuously moving up and down. The figures in the table are intended to illustrate an approximate value for those currencies (Coinmarketcap, 2021).

Table 2. Cryptocurrencies prices.

#	Name	Price	Circulating Supply	#	Name	Price	Circulating Supply
1	Bitcoin	\$53,800.20	18,691,981 BTC	10	Litecoin	\$244.86	66,752,415 LTC
2	Ethereum	\$2,487.33	115,630,493 ETH	11	BitCash	\$835.14	18,719,544 BCH
3	Binance Coin	\$536.58	153,432,897 BNB	12	Chainlink	\$34.53	419,009,556 LINK
4	XRP	\$1.33	45,404,028,640 XRP	13	Solana	\$45.64	269,856,623 SOL
5	Tether	\$0.9999	50,006,254,439 USDT	14	VeChain	\$0.1879	64,315,576,989 VET
6	Cardano	\$1.23	31,948,309,441 ADA	15	USD Coin	\$1.00	11,243,286,480 USDC
7	Dogecoin	\$0.267	129,348,760,640 DOGE	16	Stellar	\$0.4775	22,917,382,485 XLM
8	Polkadot	\$32.89	933,058,442 DOT	17	THETA	\$10.74	1,000,000,000 THETA
9	Uniswap	\$36.13	523,384,244 UNI	18	Filecoin	\$150.62	68,327,015 FIL

Through the amount of digital currency, if the value storing means of a currency we can see that it is available, or relative value over time and can be trusted to malfunction protection and contemporary era coins often takes the money form. Fiat currency does not have the same intrinsic value as precious metal coins. Individuals can and certainly do use electronic cash and payment systems. Some kind of money, "representative" is based on that. This

means that each commodity can be directly replaced with a certain amount of coins or banknotes. So the numbers and the values of the digital currencies are relatively variable in time (CRS, 2021). The changing value of the digital currency has added positive and negative aspects to it, and because of that change, the stock exchange has become effective and mostly used, but the negative effect is the loss of the ability to rely on digital currencies with a fixed value in business and transactions. For example, if we know that the value of 100 pounds is equivalent to a certain amount of Bitcoin at present, then that value may increase or decrease over time, and on the next day, we may not get that value again.

3.3. Advantages and Disadvantages of Cryptocurrency

Cryptocurrencies, customers, and direct money transfers between users are some of the easiest ways to bank or credit card and there is no need for a public institution like the company. Transfers and deposits, public and private keys are secured using a variety of authentication and security steps and share business proof or evidence, such as various incentive systems. What distinguishes modern digital currency systems is that for every user or client there is an electronic wallet that contains a public key, and this owner also has a private key for completing operations and signing transactions, and the operations are carried out with very little financial fees compared to the traditional money transfer and remittance operations. Besides these advantages, some of the cryptocurrencies are considered suitable for illegal business because some of their types are not subject to a central authority and their semi-anonymous nature, but privacy and security are very high in some of their types. Online, given that forensic analysis of the Bitcoin blockchain helps authorities arrest and prosecute criminals. However, some currencies such as Dash, Monero, or ZCash are very difficult to monitor because they are built and built to protect privacy and not share their networks to protect and secure the privacy of customers and user information (JPMorgan Chase, 2021).

One of the benefits of digital currencies is also the provision of highly efficient government payments, and if the government develops a digital currency, then financial payments such as tax amounts, bills, and all financial instruments can be sent to people immediately, instead of trying to mail them a check or discover prepaid debit cards. The existence of a very large number of digital currencies at present. Negatively affects the identification of digital currencies that may be suitable for specific use cases, including whether some of them are designed to expand the scope of adoption and they also need a high effort on how to use them, acquire them and learn how to perform the basic functions with them, also Blockchain transactions can be expensive and fluctuate Continuous price changes and a lot of change may be negative, especially if it is requested to use it completely in all financial transactions (Livetechit, 2021). After studying the strengths and weaknesses of digital currencies, we can make a comparison between the pros and cons of dealing with digital currencies.

Table 3. Advantages and disadvantages of cryptocurrency

Advantages	Disadvantages
1- Easiest ways to transfer money. 2- Transfers and deposits are secured by using public and private keys. 3- Operations are carried out with very few financial fees. 4- Provision of highly efficient government payments. 5- Easy way to be used widely in different applications.	1- Not subject to a central authority. 2- Semi-anonymous nature. 3- The existence of a very large number of digital currencies at present. 4- Need a high effort on how to use them. 5- Transactions can be expensive and fluctuate through continuous price changes.

4. Digital Currencies Transaction and Security

Digital money is exchanged using technologies such as smartphones, credit cards, and digital currency exchanges over the Internet. In some cases, it can be converted into physical cash, for example by withdrawing cash from an ATM, and because we are dealing here with money sums and private accounts, one of the most important things that must be pointed out is how to secure these operations and accounts. Blockchain technology is commonly used to create cryptocurrencies. The method transactions are recorded in "blocks" and time-stamped is described by blockchain (Andola et al., 2021). It's a lengthy, complicated procedure, but the result is a secure digital ledger of bitcoin transactions that hackers can't alter. For making transactions on financial and account transfers, a two-factor authentication process is required to ensure high security of information, such as entering a username and a passcode, and it may require entering an authentication code that reaches the user's phone or e-mail, and these steps may help to add high security for transactions with digital currencies, but this does not mean that cryptocurrencies are not Permeable. Several breakthroughs have already occurred, and this has cost many breaches and high financial losses for startups in the field of digital currencies in a big way.

4.1. Blockchain Technologies

The initial concept of blockchain was created by Satoshi Nakamoto in 2008, and a year later it became a fundamental component of the cryptocurrency. Then it developed quickly, and its technology was developed, but it did not acquire the final form, and we can say that the rules and standards for it are not yet complete (Zhang et al., 2020). Bitcoin is the first identifier system for electronic cash, written by Nakamoto and created between spouses, the system includes the blocks and chains that are interconnected, and Bitcoin transaction accounts are formed as a data structure that records data specified. A timestamp server receives a block or group of items with a timestamp and stamps, and then hash it publishes on a large scale. This includes a distributed database, with Internet book value for a peer-to-peer network is called the blockchain (Abdi et al., 2020).

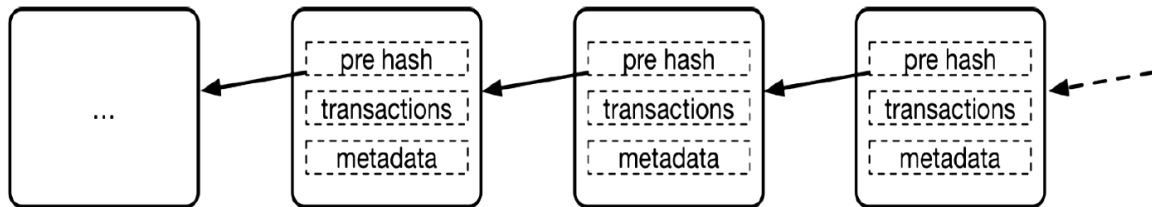


Figure 2. Blockchain structure as in blockchain security analysis overview research (Wang et al., 2018)

4.1.1. Blockchain Classification

Blockchains can be divided into three categories depending on the people who join and interact with them: public consortium and special blockchains are chains based on their relationship with the main chain and side chains. Furthermore, many blockchains may be linked to form a network. The Interchain is created by connecting the chains in the network (Fang et al., 2018). A public blockchain is a consensus blockchain that anybody in the blockchain topology may access and transmit transactions and validations to, and they are typically regarded to be decentralized. A common example is the Bitcoin blockchain, which stores information that is fully disclosed (Casino et al., 2019).

The private blockchain is the final authority. Private blockchains work by limiting who may join the network through access controls. The ability to read might be granted to the general population or restricted to a certain extent. Because the network is controlled by one or more organizations, transactions must be carried out by third parties. There are other choices inside a corporation, such as database administration, auditing, and so on. In many situations, public access is not required. Between the public chain and the private chain, the consortium blockchain refers to a blockchain whose consensus process is controlled by pre-selected nodes (Polge et al., 2021). The ability to view the blockchain might be public, participant-restricted, or mixed.' These networks are referred to as "partially decentralized."

4.1.2. Blockchain Applications

The system of digital currency, the expansion cannot be obtained in a conventional system because it is supported by reliable procedures for financial transactions. This case confirms the importance of blockchain applications in the future, as all financial work will be done with high efficiency and reliability, and the signed contracts will follow the agreement strictly as the cost of the business system will be greatly reduced and by adding to the improvement of social media efficiency, we may argue that, like the internet, the blockchain has the potential to spark a new industrial revolution (Lee et al., 2018).

Consumer blockchain applications must be wide open, transparent, and auditable to work properly. They can be implemented on an open-ended public chain or on a blockchain that is typically owned by multi-center nodes. The most important use of blockchain right now is in financial services, and blockchain can be used to handle ownership, copyright, and traceability. It covers transactions involving assets like automobiles, houses, and artwork, as well as recognizable digital publications and resources, in addition to establishing a transparent and traceable cross-border food supply chain. This new supply chain will enhance food traceability and logistics while also making the global food market safer (De Haro-Olmo et al., 2020).

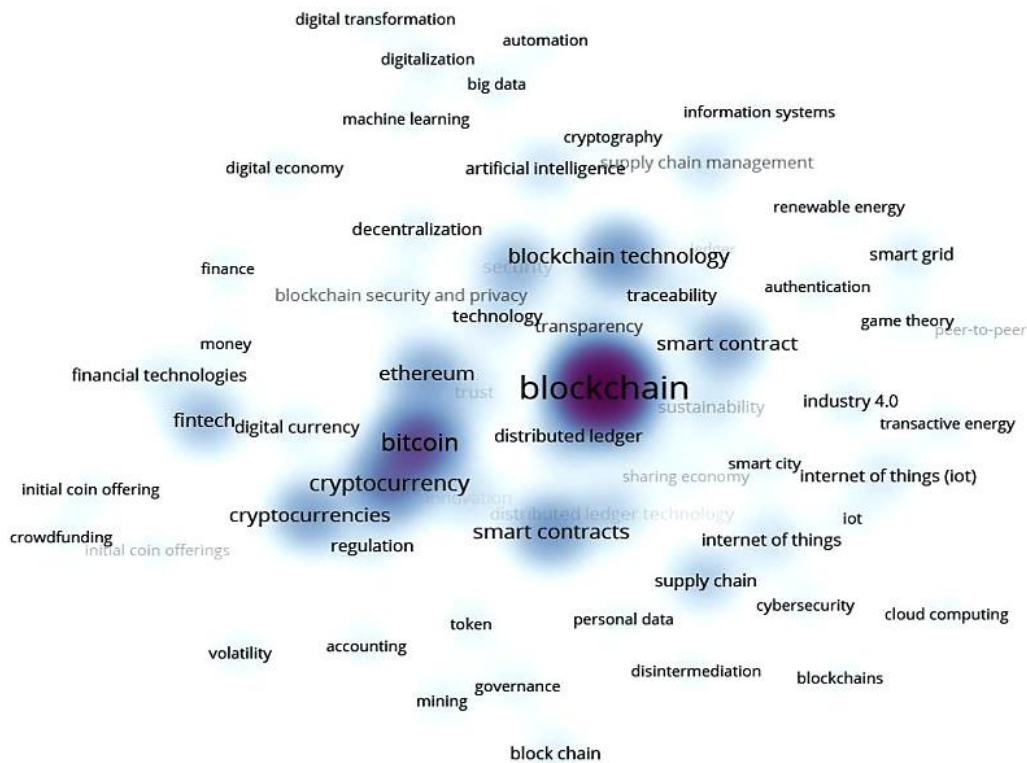


Figure 3. Blockchain applications (Tandon et al., 2021)

4.1.3. Blockchain Security Analysis

With the use of blockchain technology on a large scale, many and many different types of attacks appeared, as in some of those attacks, many digital currencies were stolen and added to the fake accounts machine in the stock exchange, and according to statistics in this field, economic losses with nearly two billion dollars are due to security incidents in information and blockchain data in 2018. This is only a small fraction of what is currently available, and the number of attacks will increase as the value of the blockchain increases (BCSEC, 2021).

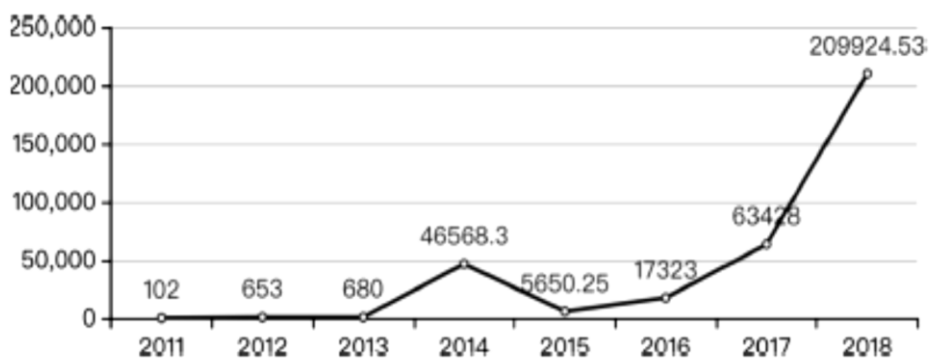


Figure 4. Economic losses caused by blockchain security incidents (ten thousand dollars) as in an overview of blockchain security analysis research (Wang et al., 2018)

Blockchain technology still lags far behind in the early stages of development and security development needs. To keep pace with the development and avoid attacks and internal and external risks, and avoid the need to deal with frequent authentication, more security, protection, and privacy in the storage, transfer, and processing of data can be exposed, protect the privacy and develop security solutions to improve the performance of the security system of the blockchain. Application layer, layer intelligent contracts, incentives layer, consensus layer, network layer, and data layer architecture create the current block and chain security analysis shall be performed separately for each layer (Wang et al., 2018). Application layer security largely addresses security concerns for centralized nodes, such as bitcoin exchanges and financial institutions that handle significant sums of money. The attackers, all blocks chain network at any point of failure because they were lovers targeting these nodes, attack efficiency is huge and costs to a minimum. Access to the Exchange Server without authorization. Stocks frequently deposit significant

sums of money and are hence easy to target (Heilman et al., 2015). An attacker could steal the money of the key after you change the amount may change or have seized control of the exchange server and basic knowledge of the process may leave critical information released, which in turn damages the economy and reputation of the stock market. The smart contract is more than just a computer program that can be run automatically; It is also a system participant. Responds to incoming messages, you can take, and store values, knowledge, and values can be transferred. The following attacks are summarized in terms of smart contract security threats.

The essence of a reentry attack is to block the nodes' flow of control and destroy the offspring of the process, which could be seen as a logical problem in a race situation. The purpose of the incentive level is to provide special incentives to encourage nodes to participate in blockchain security audits. Blockchain security depends on the interaction of many nodes. Blockchain information transfer is mainly based on a peer-to-peer network. A P2P network relies on neighbors to transmit information to reveal each other's IP addresses. It is very easy for an attacker on the network to spread security threats to other hosts (Matzutt et al., 2018). Block Data, harmful information assault, and malicious information writing in the blockchain, such as malware signatures, politically sensitive issues, and so on. Information cannot be deleted after it is written to the blockchain because of the data recovery functionality. If malicious data is found on the blockchain, it will cause a slew of issues.

4.2. Digital Currencies Security Risk

Digital currencies rise and the development of technology for use with application usage increases, the occurrence of certain risks is the inevitable line. we present some of the risks that digital currencies can be exposed to in Table 4.

Table 4. Cryptocurrency security risks

#	Security Risk
1	Risk comes from the difficulty in finding hash group junctions and that is a task that miners do.
2	The risk that cases represent "51%" of the more likely cases in both network attacks that could control the global blockchain ledger and create an alternative blockchain is limited to what the attacker can do even at this stage.
3	The risk of an attacker canceling their transactions or blocking other transactions.

The seizure by law enforcement also cryptocurrency such as PayPal or prohibiting its use by the receiver is less likely. All cryptocurrencies are anonymous, and some additional features allow complete anonymity (Greeshma, 2015).

4.2.1. Cyber-Attacks and Cybercrime

It's vital to recognize that the technology that underpins Bitcoin's functioning is not inherently illegal and that people seeking anonymity in a modern world of intrusive, ubiquitous monitoring are not either. Incidents continue to occur, indicating evident problems with transaction malleability and secure Bitcoin storage, but this is sometimes ascribed to a lack of knowledge of security needs (Caporale et al., 2020).

Cybercrime is defined as a fault that a computer is used as an object or tool for processing the main components of the crime; cyber espionage, from individuals to profit from illegal exploitation, groups and to obtain information without permission from the government hacker techniques and malicious software (such as Trojan horses and spyware) is defined as the use of (Caporale et al., 2021). One of the most common crypto theft attacks can be defined as the unauthorized use of another person's computer to mine cryptocurrencies, as the encryption code runs here in the background and victims often use their computers as usual. The only sign they might notice is poorer performance or performance lag. There are two main ways hackers can secretly search for cryptocurrency on a victim's computer. One is to trick victims into downloading an encryption code to their computer or injecting a script into an advertisement on one or more websites (Eskandari et al., 2018). The code runs complex math problems on victims' computers and sends the results to a server controlled by hackers. The reason for the popularity of this attack is that it brings a lot of money and in turn reduces the risk because unlike the ransomware and the code here, the encryption code works because the hacker is not identified or identified. It may remain deceptive and unknown for a long time and may not be discovered and will be very difficult if found. Follow him back to the source as his illegal activities are hard to trace (Nadeau, 2018).

Include the dangers of crypto theft security training, install a plugin to prevent crypto theft protection, use definitions that can provide endpoint protection from known crypto miners, and protect your web filtering tool (Caporale et al., 2021). If you specify a web page giving Cryptojacking scripts, make sure your users' access is denied again. Browser extensions must be protected. Mobile device management to better control what's going on in your users' devices (MDM) solution use. However, none of the above fail-safes is the recommended method. In

response to this and the growing number of cryptocurrency theft protection cases, The Coalition, a provider of cyber risk solutions, has launched service fraud insurance (Saad et al., 2018).

4.2.2. Algorithms for Security

Many types of cryptocurrencies and protection in the way we deal with these digital currencies, as cryptocurrencies carry many options and information technology activities as they carry accurate and private data and are handled with the presence of high-precision servers to execute transactions, and it is necessary to protect this data and prevent breaches. algorithms should be used. Cryptocurrencies are created based on hashing algorithms to perform hash data. Two of the algorithms for the protection and security of information and data will be highlighted as the mode and mechanism of operation.

A) AES Algorithm

It is a form of encryption that protects data and data transmission over the internet, and it is one of the finest encryption protocols available. Data is asymmetric encryption types that use the same key to encrypt and decrypt code. It encrypts data using a replacement permutation network method with several rounds (Cybernews, 2021). AES encryption keys come in three different lengths: 128-bit keys, 192-bit keys, and 256-bit keys. This encryption method's key length fluctuates but remains constant, and much other encryption as well as to use less memory according to the format, easy to understand, implement, offers advantages such as simple and extremely fast encryption and decryption speeds.

The working steps of the algorithms are as follows:

1. Splitting data into blocks: This algorithm encrypts data in blocks of bits, not bytes so that each of its blocks contains a column of 16 bytes in a four-by-four pattern. Since a byte contains 8 bits, we get a block size of 128 bits ($16 \times 8 = 128$).
2. Key expansion: Generates new 128-bit round keys using the Rijndael key program.
3. Adding the round key: the algorithm adds the first key to our expression, which was previously converted to a 4×4 block.
4. Byte replacement: the algorithm replaces each byte with a code according to a pre-generated table called Rijndael S-box (Gaspar et al., 2009).
5. Line wrapping: replaces the lines of the received block during a byte replacement operation. The first row remains in place. However, the second line moves one byte left, the third line moves two bytes left, and the last line moves three bytes left:
6. The columns are shuffled: each column is multiplied by a predefined matrix, resulting in a new code block.
7. Using the Round Key: Now it's time to use the round key we got in the Key Expansion section.
8. Flush and repeat: Depending on the length of the AES key, the algorithm goes through many more cycles such as changing bytes, moving rows, shuffling columns, and adding keys: 9 cycles for a 128-bit key, 11 cycles for a 192-bit key, and 13 cycles for a 256-bit round key: 13 turns (Kumar et al., 2016).

Finally, after the indicated 9, 11, or 13 rounds of encryption, another round follows. In this extra loop, the method only performs byte replacement, line wrapping, and padding around the key. Skips concatenating columns. As a result, at the end of the encryption process, the data will go through the following number of rounds: 10 rounds with a 128-bit key, 12 rounds with a 192-bit key, and 14 rounds with a 256-bit key (Cybernews, 2021).

B) SHA Algorithm

One of the most prominent hashing algorithms, SHA (Secure Hash Algorithm), is recognized for its security and speed. When no keys are created, such as when mining Bitcoin, a quick hash method like SHA-2 is typically used. The family of cryptographic hash functions is divided into versions by numbers following the name, with SHA-0 being the initial version of the 160-bit hash function and SHA-1 resembling the previous MD5 method. After then, SHA-2 was followed by SHA-256 and SHA-512, a family of two identical hash algorithms with differing block sizes. Then SHA-3, originally known as Keccak, was released as a hash algorithm, chosen in 2012 after a public competition among non-NSA designers (Gupta and Kumar, 2014). It uses the same hash lengths as SHA-2 and has a different internal structure than the rest of the SHA family (Guesmi et al., 2016).

As an example, we will study SHA 256 steps of working for encryption;

1. Pre-Processing: converting the input string to binary and appending 64 bits to the end
2. Create Hash Values (h): the algorithm generates eight hash values. The first 32 bits of the fractional portions of the square roots of the first 8 primes are represented by these hard-coded constants: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19

3. Initialize Round Constants (k): the method generates some constants this time, 64 in all. The first 32 bits of the fractional portions of the cube roots of the first 64 primes make up each value (0-63)
4. Chunk Loop: For each 512-bit "chunk" of data from the input data, the procedures below will be performed.
5. Create Message Schedule (w): takes the string from the previous step and adds extra zero-valued words, modifying them to make a paragraph (Bayat-Sarmadi et al., 2014).
6. Compression: assign variables a, b, c, d, e, f, g, and h to the current hash values. The compression loop should be executed after h0, h1, h2, h3, h4, h5, h6, h7. The values of a will be changed by the compression loop... h
7. Edit Final Values: We modify the hash values by adding their corresponding variables to them, a-h, after the compression loop, but still within the chunk loop. All addition is modulo 232 as is customary.
8. Concatenate the Final Hash: Finally, slap them all together; a simple string concatenation will be enough to produce a hashed string (Zhu et al., 2018).

4.3. Digital Currencies Experienced Cyber Attack Incidents

Cryptocurrencies are generally safe, but Exchanges are always vulnerable to assault, particularly when they are busy. Cryptocurrency exchanges must take security seriously and implement security measures to prevent security breaches (Caporale et al., 2020). As long as crypto exchanges are profitable, hackers will continue to target them. A reputable cryptocurrency exchange, on the other hand, would have many security measures in place. The following is a list of attempted assaults that resulted in millions of dollars in losses:

Table 5. Cryptocurrency attacks that made money-losing according to finyear.com (Finyear, 2021)

Date	The Project	Stolen Crypto	Stolen USD	Date	The Project	Stolen Crypto	Stolen USD
Feb 2017	Bithumb	-	7 mln \$	Jan 2018	Bitstamp	18000 BTC	5 mln \$
Apr 2017	YouBit	-	5.6 mln\$	Jan 2018	Coincheck	523mln NEM	534 mln \$
Apr 2017	Yapizon	3816 BTC	5.3 mln\$	Feb 2018	Bitgrail	17mln NANO	170mln \$
Apr 2017	EtherDelta	-	266 K\$	Jun 2018	Bithumb	-	32 mln \$
Aug 2017	OKEx	-	3 mln \$	Jun 2018	Coinrail	-	37 mln \$
Sept 2017	Coinis	-	-	Jun 2018	Bancor	-	23 mln \$
Dec 2017	YouBit	17% BCEX	-	Sept 2018	Zaif	-	60 mln \$

From February 2017 until September 2018 the amount of stolen money was 882 million and the number didn't stop there so the selected currency and the way to deal with are very important to avoid being the victim.

4.4 Digital Currencies Cyber-Attack Methods

It's crucial to understand that cyber-attacks infect businesses and their data daily. Former Cisco CEO John Chambers famously remarked, "There are two sorts of companies: those that have been hacked and those that you don't yet know has been hacked"(CISCO, 2021), according to the Cisco Annual Cybersecurity Report. Every year, cybercrime rises as people try to exploit flaws in corporate systems. Attackers frequently seek ransom, and cyber-threats can be conducted for a variety of reasons. Some attackers view system and data suppression as a form of "hacking". Many cyber-attack methods are related to cryptocurrencies that we should study.

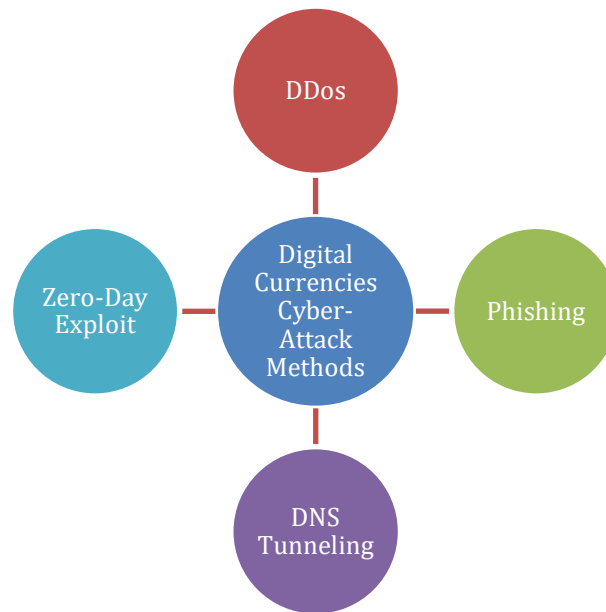


Figure 5. Digital currencies cyber-attack methods

4.4.1 DDoS Attack

DDoS attacks, multiple computer systems, or connected devices such as IoT devices are used as a source of attack traffic. During the attack, computers or other resources possibly exposed to a Trojan target a single system and are forced to flood a server with data until it becomes unusable. Therefore, both the targeted system and all systems used by the hacker for malicious purposes are victims of a DDoS attack.

DDoS attacks can be carried out by various actors, such as individual hackers, organized crime gangs, or government agencies. The motivation behind a DDoS attack can be a childish joke, revenge, or political activism. While attacks sometimes cause only a minor annoyance to the target system, sometimes they can lead to a long-term crash in the system. In some cases, bad coding, incomplete updates, unstable systems, or even legitimate requests to target systems can result in DDoS-like results.

4.4.2 Phishing

Phishing attacks are usually attacking to access sensitive and confidential information such as usernames, passwords, credit card information, network credentials. Cyber attackers use social engineering to masquerade as a normal individual or organization over the phone or email, manipulating victims to perform certain actions – such as clicking on a harmful link or attachment – or willingly revealing confidential information.

The purpose here is; is to convince the person receiving the e-mail that there is something in the message that they want or need – such as a request from a customer bank or an e-mail from a colleague at his company. Apart from email, phishing scams can also use phone calls, text messages, and social media tools to trick victims into providing sensitive information.

4.4.3 DNS Tunneling

The process of moving data belonging to another protocol within a protocol is called protocol tunneling. Any TCP/UDP packet (HTTP, FTP, ssh, etc.) among DNS packets ... Authorized DNS server from the queried domain name responds for the relevant DNS record, and the DNS server forwards this response to the client.

4.4.4 Zero-Day Exploit

Zero-day is a recently discovered broad term that describes vulnerabilities that hackers can use to attack systems. The term “zero-day” means that the supplier or developer has just learned of the problem and has “zero days” to fix the problem. A zero-day attack occurs when hackers exploit this bug before software developers have had a chance to fix the vulnerability.

4.5 Measures Against Cyber Attacks in Digital Currencies

Cyber attacks on digital currencies are increasing more and more today. How these attacks occur and the precautions that can be taken against these attacks are given in Table 6.

Table 6. Measures against cyberattacks in digital currencies.

Methods	Simple Definition	Measures
DDoS	This traffic, due to which the systems, servers, or networks lack the resources and capacity. As a result, the system cannot perform the actual requests. This attack can also be launched using multiple compromised devices.	SIEM, Network Segmentation
Phishing	Phishing is the practice of sending fraudulent e-mails that appear to come from a legitimate source. Objective, credit card and login information or steal sensitive data such as malware to infect the victim's computer. Phishing is a cyber threat increasingly widespread.	Update programs and systems regularly, Monitor for intrusion
DNS Tunneling	DNS tunneling communicates non-DNS traffic across port 53 using the DNS protocol. It uses DNS to transport HTTP and other protocol traffic. Data is transferred from the compromised system to the attacker's infrastructure by manipulating DNS requests. It can also be used for command-and-control callbacks from the attacker's infrastructure to the compromised system.	Network Segmentation, Control access
Zero-day exploit	It occurs after a network vulnerability has been publicly disclosed but before a patch or remedy has been applied. During this period, attackers will focus on the publicly reported vulnerability. The identification of zero-day vulnerabilities necessitates continual monitoring.	SIEM, Network Segmentation

The important thing that needs to be done to deal with the increase in cybercrime should be known as awareness and know-how worldwide for individuals in general and companies. In addition, among the other major obstacles is probably the legal perspective, meaning that despite the existence of special laws in each country or region which Violating data privacy and theft are prevented, so the Internet is identified as an international tool for those who carry out electronic attacks, and the only way to defeat cybercrime is for decision-makers to think to act on the global level and support the rights and safety of citizens in the whole world (Bendovschi, 2015).

5. Conclusion

Cryptocurrencies are quickly becoming a reality, gaining significant momentum in a brief period, and developing rapidly. Studying the behavior of digital currencies and the way to deal with them in the event of a shift from the traditional method to digital currencies reveals that there are many crimes and attacks in them. As they are only composed of data in the space of the internet servers, this does not prevent the existence of many applications that can help in the completion of many operations in record times. To switch to digital currencies, one should wait to reach major digital currencies or choose currencies according to the characteristics that distinguish them because they are all subject to encryption and protection algorithms.

Continuous development creates continuous challenges for responsible users of technology and regulators alike. For the future, defensive programs must be developed against digital currencies' attacks by using data security and forecasting theories and algorithms to protect private information. If the traditional physical method and quantity processes are abandoned and used in many areas, it should ensure that safe and should solve security problems. In terms of safety, they should handle cyber-attacks, secure applications should use against them, and secure encryption algorithms should be preferred.

In this article, we were able to shed light on the important aspects in dealing with digital currencies for the general user or those who are interested in knowing how these currencies work by studying their types and algorithms used in them, as well as the security of their data, events, and attacks that took place. In the future, these algorithms can be applied and compared with each other to obtain different results and choose the most appropriate data encryption to help protect it.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Abdi, A. I., Eassa, F. E., Jambi K., Almarhabi, K., Al-Ghamdi, A. S. A., 2020. Blockchain Platforms and Access Control Classification for IoT Systems, *Symmetry*, 12(10), 1663.
- AL-LAHAM, M., AL-TARAWNEH, H., ABDALLAT, N., 2009. "Development of Electronic Money and Its Impact on the Central Bank Role and Monetary Policy", *Issues in Informing Science and Information Technology*, 6: 339–349. doi:10.28945/1063.
- Andola, N. et al., 2021. "Anonymity on blockchain-based e-cash protocols—A survey.", *Computer Science Review* 40 (2021): 100394.
- Artisantechgroup, 2021. What is a blockchain, anyway?, <https://artisantechgroup.com/what-is-a-blockchain/>, (Accessed Date: 29.06.2021).
- Bank of England, 2021. "Central Bank Digital Currency: Opportunities, Challenges and Design.", (Accessed Date: 10.06.2021).
- Bank for International Settlements. (2021), "Impending Arrival – A Sequel to the Survey on Central Bank Digital Currency," Page 10, (Accessed Date: 15.06.2021).
- BCSEC Security Trend Analysis, 2021. <https://bcsec.org/analyse>, (Accessed Date: 22.06.2021).
- Bayat-Sarmadi, S., Mozaffari-Kermani, M., and Reyhani-Masoleh, A., 2014. "Efficient and concurrent reliable realization of the secure cryptographic SHA-3 algorithm.", *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems* 33.7, (2014): 1105-1109.
- Caporale, G. M. et al., 2020. "Non-linearities, cyber-attacks and cryptocurrencies.", *Finance Research Letters* 32, (2020): 101297.
- Bendovschi, A., 2015. "Cyber-attacks—trends, patterns and security countermeasures.", *Procedia Economics and Finance* 28, (2015): 24-31.
- Caporale, G. M., et al., 2021. "Cyber-attacks, spillovers and contagion in the cryptocurrency markets.", *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, (2021): 101298.
- Caporale, G. M. et al., 2020. Cyber-attacks and cryptocurrencies. No. 8124, CESifo Working Paper.
- Caporale, G. M., Kang, W.-Y., SpagnoloPAGNOLO, F., SPAGNOLO, N., 2021. Cyber-attacks and cryptocurrencies (No. 8124), CESifo Working Paper.
- Casino, F., DASAKLIS, T. K., PATSAKIS, C., 2019. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues, *Telematics and informatics*, 36, 55-81.
- Cisco, 2021. https://www.cisco.com/c/m/en_uk/campaigns/security/cyber-threats-and-protection-2018-report/index.html, (Accessed Date: 03.06.2021).
- Congressional Research Service, 2021. "Cryptocurrency: The Economics of Money and Selected Policy Issues", (Accessed Date: 29.06.2021).
- Coinmarketcap, 2021. "<https://coinmarketcap.com/>" data taken on 26-04-2021 10:45 PM for top 18 coins, (Accessed Date: 29.06.2021).
- Cybernews, 2021. <https://cybernews.com/resources/what-is-aes-encryption/>, Accessed May 13, (2021).
- De Haro-Olmo, F. J., ÁNGEL JESÚS, V.-V., and JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ-BERMEJO, J.A., 2020. "Blockchain from the perspective of privacy and anonymisation: a systematic literature review.", *Sensors*, 20.24 (2020): 7171.
- De Silva, S., Goyal, S.B., Bedi, P., 2021. Security Challenges of Digital Currency System. In: Abraham A., Sasaki H., Rios R., Gandhi N., Singh U., Ma K. (eds) *Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*. IBICA 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1372. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73603-3_51
- Eskandari, S. et al., 2018. "A first look at browser-based cryptojacking.", 2018 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW). IEEE.
- Fang, W. et al., 2018. Cybersecurity in the blockchain: threats and countermeasures, *J. Cyber Security*, 3(2), 87–104.
- Finyear, 2021. https://www.finyear.com/14-cyber-attacks-on-crypto-exchanges-resulted-in-a-loss-of-882-million_a40041.html, (Accessed Date: 23.06.2021).
- Gaspar, L. et al., 2009. "Efficient AES s-boxes implementation for non-volatile FPGAs.", 2009 International Conference on Field Programmable Logic and Applications, IEEE, (2009).
- Guesmi, R. et al. (2016), "A novel chaos-based image encryption using DNA sequence operation and Secure Hash Algorithm SHA-2.", *Nonlinear Dynamics*, 83.3, (2016): 1123-1136.
- Gupta, P., Kumar, S., 2014. A comparative analysis of SHA and MD5 algorithm, *Architecture*, 1, 5.
- Greeshma, K. V. (2015), *Crypto Currencies and Cybercrime*, *International Journal of Engineering and Technical Research*, <https://www.ijert.org/research/crypto-currencies>, (Accessed Date: 23.06.2021).
- Heilmen, E. et al. (2015), "Eclipse attacks on bitcoin's peer-to-peer network.", 24th {USENIX} Security Symposium ({USENIX} Security 15).
- Investopedia, 2021. <https://www.investopedia.com/news/introduction-cardano/>, (Accessed Date: 21.06.2021).
- JPMorgan Chase, 2021. "Could Blockchain Have as Great an Impact as the Internet?", (Accessed Date: 27.06.2021).
- Kumar, P., Rana S. B., 2016. Development of modified AES algorithm for data security, *Optik*, 127(4), 2341-2345.
- Lee Lai, R., Kuo, L.E.E., Chuen, D., 2018. *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion*; Singapore University of Social Sciences: Singapore.
- Livetechit. (2021), <https://www.livetechit.com/hackers-have-looted-more-bitcoin-than-satoshis-entire-stash/>, (Accessed Date: 22.06.2021).
- Mazzutt, R. et al., 2018. "A quantitative analysis of the impact of arbitrary blockchain content on bitcoin.", *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Nadeau, M., 2018. "What is cryptojacking? How to prevent, detect, and recover from it.", CSO Online.
- Newreleases, 2021. <https://newreleases.io/project/github/litecoinproject/litecoin/release/v0.18.1>, (Accessed Date: 10.06.2021).

- Nytimes, 2021. Ethereum-bitcoin-digital, <https://www.nytimes.com/2017/06/19/business/dealbook/ethereum-bitcoin-digital-currency.html>, (Erişim Tarihi: 09.06.2021).
- Polge, J., Robert, J., Le Traon, Y., 2021. Permissioned blockchain frameworks in the industry: A comparison, *Ict. Express*, 7(2), 229-233.
- Saad, M., Aminollah K., and Mohaisen A., 2018, "End-to-end analysis of in-browser cryptojacking.", arXiv preprint arXiv:1809.02152, (2018).
- Tandon, A., Kaur, P., Mäntymäki, M., Dhir, A., 2021. Blockchain applications in management: A bibliometric analysis and literature review, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 166, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120649>.
- Thenextweb, 2021. <https://thenextweb.com/news/can-blockchain-democratize-education-this-startup-seems-to-think-so>, (Accessed Date: 11.06.2021).
- Wang, H. et al., 2018. "An overview of blockchain security analysis.", *China Cyber Security Annual Conference*, Springer, Singapore.
- Zhang, J., Zhong, S., Wang, T., Chao, H. C., Wang, J., 2020. Blockchain-based systems and applications: a survey, *Journal of Internet Technology*, 21(1), 1-14.
- Zhu, S., Zhu, C., and Wang, W., 2018. "A new image encryption algorithm based on chaos and secure hash SHA-256.", *Entropy* 20.9, (2018): 716.



DETECTION OF STANDARD PLANE FROM ULTRASOUND SCANS BY DEEP LEARNING METHODS FOR THE DIAGNOSIS OF DEVELOPMENTAL HIP DYSPLASIA

Kerim Kürşat ÇEVİK^{1*}, Şeyda ANDAÇ²

¹ Akdeniz University, Faculty of Applied Sciences, Management Information Systems, Antalya, Türkiye

² Bağcılar Training and Research Hospital, Radiology Department, Istanbul, Türkiye

Keywords

DDH,
Standard Plane,
Deep Learning,
Transfer Learning,
YOLO.

Abstract

The term developmental dysplasia of the hip (DDH) describes a range of hip abnormalities affecting newborns where the femoral head and acetabulum are in improper alignment or grow abnormally, or both. The ultrasonographic evaluation technique rely on the capability of the ultrasonographer to pick up the accurate frame used for exact calculations. In our study we developed a new computer aided system that determines the exact frame from real time 2D ultrasound images and calculates the accuracy rate for each result. The deep learning architectures recently used in literature were utilized for these processes. In addition, transfer learning was carried out to increase the performance of the system using pretrained networks (SqueezeNet, VGG16, VGG19, ResNet50 and ResNet101). One of the best methods of object detection, You Only Look Once (YOLO) model, was used with pre-trained networks to determine DDH location. As a result of the study, the performance of the deep neural network model proposed with the help of these pre-trained networks was evaluated. When the obtained results were compared with expert opinions, frames (standard planes) in 605 of 676 (89.05%) test images were correctly detected. The accuracy rates for the used pre-trained networks were obtained as SqueezeNet 0.79, VGG16 0.95, VGG19 0.96, ResNet50 0.88 and ResNet101 0.93.

GELİŞİMSSEL KALÇA DİSPLAZİSİ TANISINDA DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİYLE ULTRASON TARAMALARINDAN STANDART DÜZLEM TESPİTİ

Anahtar Kelimeler

GKD,
Standart Düzlem,
Derin Öğrenme,
Transfer Öğrenme,
YOLO.

Öz

Gelişimsel kalça displazisi (GKD) terimi, femur başı ve asetabulumun yanlış hizada olduğu, anormal şekilde büyüdüğü veya her ikisinin birden olduğu yeni doğanları etkileyen bir dizi kalça anormalliği olarak tanımlanır. Ultrasonografik değerlendirme tekniği, ultrasonografi uzmanının kesin hesaplamalar için kullanılan doğru çerçeveyi (standart düzlem) seçme yeteneğine dayanır. Çalışmamızda, gerçek zamanlı 2B ultrason görüntülerinden standart düzlemi belirleyen ve her bir sonuç için doğruluk oranını hesaplayan yeni bir bilgisayar destekli sistemi geliştirilmiştir. Bu işlemler için literatürde son zamanlarda kullanılan derin öğrenme mimarilerinden yararlanılmıştır. Ayrıca önceden eğitilmiş ağlar (SqueezeNet, VGG16, VGG19, ResNet50 ve ResNet101) kullanılarak, sistemin performansını artırmak için transfer öğrenmesi gerçekleştirilmiştir. Nesne algılamının en iyi yöntemlerinden biri olan You Only Look Once (YOLO) modeli, DDH konumunu belirlemek için önceden eğitilmiş ağlarla birlikte kullanılmıştır. Çalışma sonucunda önceden eğitilmiş bu ağlar yardımıyla önerilen derin sinir ağı modelinin performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar uzman görüşleri ile karşılaştırıldığında 676 test görüntüsünün 605 (%89,05) 'inde doğru kareler (standart düzlemler) doğru olarak tespit edilmiştir. Kullanılan önceden eğitilmiş ağlar için doğruluk oranları SqueezeNet 0.79, VGG16 0.95, VGG19 0.96, ResNet50 0.88 ve ResNet101 0.93 olarak elde edilmiştir.

* İlgili yazar / Corresponding author: kcevik@akdeniz.edu.tr, +90-242-310-6369

Alıntı / Cite

Çevik, K.K., Andaç, Ş., (2022). Detection of Standard Plane From Ultrasound Scans by Deep Learning Methods for the Diagnosis of Developmental Hip Dysplasia, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 10(3), 1014-1026.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K.K. Çevik, 0000-0002-2921-506X

Ş. Andaç, 0000-0003-3133-7717

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 29.01.2022

Revizyon Tarihi / Revision Date 08.04.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date 19.04.2022

Yayın Tarihi / Published Date 30.09.2022

1. Introduction

Developmental dysplasia of the hip (DDH) describes a wide spectrum of abnormal hip development that takes place during infancy and early development, and has an important share in childhood disabilities. In the definition of DDH, a wide range of severity conditions that range from mild acetabular dysplasia without hip dislocation to detect hip dislocation are encompassed (Yang, Zusman, Lieberman, & Goldstein, 2019), 29% of primary hip replacements in people aged under 60 years are reported to be caused by DDH (Dezateux & Rosendahl, 2007). In addition, in women under 40, DDH is reported to be the most common cause of hip arthritis, and it has been also reported that 5% to 10% of all total hip replacements in the United States occurred because of DDH (Shaw & Segal, 2016). Clinical hip imbalance occurs in 1% to 2% in infants who were born on time, and can be detected from imaging studies of hip imbalance or hip maturation at rates up to 15%. Universal clinical screening should be conducted as a part of the physical examination of the newborn.

Although clinical examination continues to be the mainstay in the process of diagnosing the DDH in the newborns, it is not possible to detect DDH in all cases by physical examination. Imaging by ultrasonography or radiography is one of the methods widely used for screening or confirmation of the diagnosis as well as for the classification of the severity of the dysplasia.

The ultrasound hip screening method invented by Graf in 1980 is used for assessing the appropriate maturation of the hip joints of infants (Schams, Labruyère, Zuse, & Walensi, 2017). With this method, ultrasound assessment of the hip is performed by quantifying the maturity of the cartilaginous and bony acetabular roof and the position of the femoral head based on sonographic structures (Graf, 2006). The hip types, as shown in Figure 1, are assessed based on the Graf method range between type I and IV. Type I is related to a normal hip that has a good bony modeling (large arrow in Figure 1), a sharp bony rim (arrowhead) and a narrow, covering cartilage roof triangle (small arrow). Type II embraces physiologically immature hips with rounded rim and cartilage roof triangle (Type 2a) and encompasses hips with delayed pathological ossification cations (Type 2a-c). In addition, it encompasses hips with deficient bony modeling, rounded/flattened bony rim and displaced cartilage roof (Type D). Types 3 and 4 include non-concentric hips with a weak bone model, a flattened bony rim, and a displaced cartilage triangular roof (Dezateux & Rosendahl, 2007).

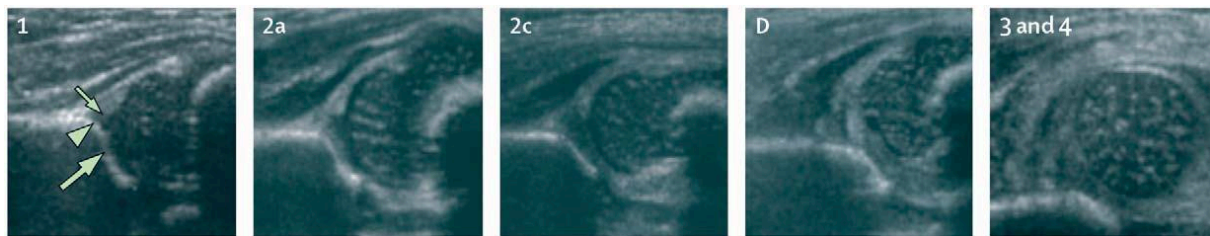


Figure 1. Hip types (1–4) in Graf method (Dezateux & Rosendahl, 2007)

When the same sonographic section passing through the hip joint is used in the same plane, the Graff method can be reproducible. For hip ultrasound, these sections are as follows: The lower limb of the bony ilium in the depth of the acetabular fossa, mid-section of the bony acetabular roof and the acetabular labrum. A sonogram will not be helpful and thus it cannot be used for diagnosis of the condition when one of these points is either missing or unclear. For ultrasound purposes, the lower limb of the os ilium is the center of the acetabulum. In addition, it becomes impossible for the sectional plane to pass through the center of the acetabulum if this landmark is not seen on ultrasound images. Even if the acetabular labrum and the sectional plane are correctly shown, diagnosis may not be made in a centered hip joint (Graf, 2006).

When the Graf method is examined, it is understood that the acquisition of the standard plane angle is required for the diagnosis, which is primarily proportional to placing the patient at the right angle and using the correct ultrasound probe angle. In addition, the skill and knowledge of the expert is very important for this process. The

development of a computer-aided and automated standard plane image detection system may reduce the influence of variables on DDH diagnosis.

2. Literature Survey

In the current study, a software based on deep learning methods (DLM) was developed to capture standard plane frames in ultrasound images. The system aims to help the expert by capturing the standard plane frame from real-time ultrasound images. This study aims to help the diagnosis of DDH by determining the correct diagnostic image using DLMs over real-time 2D ultrasound images. It is seen that DLMs have been used frequently by researchers in the diagnosis, treatment planning or visualization stages of DDH.

Golan et al. conducted a study in 2016 that aimed to provide the fully automating of Graf's Method using deep convolutional neural network (CNN). The angle values of the Graf method were determined by segmenting the ilium and acetabular roof areas in the two-dimensional images. It was reported that there was less than 5% discrepancy between 77% of the test results obtained with the proposed deep architecture and the estimates made by the expert (Golan, Donner, Mansi, Jaremko, & Ramachandran, 2016).

In the study conducted by Paserin et al. in 2017, the researchers proposed near real-time classification process for 3D scans using CNN. It was aimed to determine whether the scans obtained based on the classification process were adequate or inadequate for DDH diagnosis. In their study, they designed a 12-layer CNN architecture using a ReLu activation function with 3 convolutions and 3 fully connected layers. They stated that the fact that the application was not full real-time was a limitation in their study and clinical studies were to be conducted in their subsequent studies. They also indicated that the study had limitations since it was not a real time application, and further stated that they would conduct tests in their follow-up clinical study (Paserin, Mulpuri, Cooper, Hodgson, & Abugharbieh, 2017).

Hareendranathan et al. proposed a method to automatically segment the acetabular bone based on training a CNN network using multi-scale super-pixels. They tested this method on 2D ultrasound images of 50 infant hips and the root mean square error was obtained as 1.8 ± 0.7 mm when compared to manual segmentation. They argued that the proposed method could be used for accurately classifying normal vs. dysplastic hips and automatic diagnosis of hip dysplasia in infants (Hareendranathan et al., 2017).

In another study conducted by Paserin et al. in 2018, the researchers performed a near real-time classification of 3D ultrasound scans using transfer learning approach in CNN networks. They implemented Squeezenet in transfer learning and demonstrated that their approach achieved 93% classification rate on 40 datasets taken from 15 pediatric patients (Paserin, Mulpuri, Cooper, Abugharbieh, & Hodgson, 2018).

In a study conducted in 2018, Tang et al. aimed to classify images at a sufficient level for diagnosis of DDH using the Region Proposal Network (RPN) method. They used the VGG-16 model and 3D U-Net based architecture to learn convolutional features of the backbone. The average Intersection over union (IoU) was obtained as 0.709 (Tang, Zhang, Cobzas, Jagersand, & Jaremko, 2018).

In another study, Paserin et al. aimed to rapidly and automatically detect the accurate scan for DDH diagnosis using Long Short-Term Memory (LSTM) based CNN and Recurrent Neural Network (RNN) architectures. They reported to achieve 82% accuracy using 200 3D US volumes taken from 25 pediatric patients where each runtime was performed under 2 seconds (Paserin, Mulpuri, Cooper, Hodgson, & Garbi, 2018).

In 2020, Chen et al. compared two different methods proposed for femur and acetabular roof segmentation in 2D ultrasound images. In the first method, mean filtering, morphological processing and least squares operation were used while in the second method, a CNN named FNet was utilized. In conclusion, the proposed deep neural network architecture method was found to provide better segmentation than other methods (Chen et al., 2020).

When the literature is examined; Researchers have carried out many studies on ultrasound images for the diagnosis of DDH, using various segmentation methods. They also focused on Deep Neural Networks (DNN) methods for the classification of these images. However, no study has been found in the literature to capture the image that can make an accurate diagnosis from flowing ultrasound images. For this reason, this study will fill a large gap in the literature.

In this study, it was aimed to detect the standard plane to be used in DDH diagnosis from real-time ultrasound images. Pre-trained networks were also utilized in order to increase the classification success of the system in the application realized through the deep learning method and You Only Look Once (YOLO) object recognition

infrastructure. In addition, models created by combining SqueezeNet, VGG16, VGG19, ResNet50 and ResNet101 pre-trained CNN networks with YOLO were tested and their performance was discussed. The most important and first step to make the correct diagnosis of DDH is to capture the right frame. It is thought that the success of the diagnosis of DDH will be increased thanks to the study carried out.

3. Material and Method

Deep Neural Networks is an artificial neural network model with one or more layers and is applied extensively in image classification, segmentation and object detection studies (Qassim, Verma, & Feinzimer, 2018). It was introduced by (Fukushima, 1980) and improved by (LeCun, Bottou, Bengio, & Haffner, 1998) to be used in various fields and studies as summarized in (Ciresan, Meier, Gambardella, & Schmidhuber, 2011; Ciresan, Meier, Gambardella, & Schmidhuber, 2010) and is known to achieve higher success rates depending on the increased number of layers as structured into two modules. Feature extraction is performed first by detecting the distinguishable features across training images which is then followed by analysis of the extracted features for classification of images into an image category (Rhu, Gimelshein, Clemons, Zulfiqar, & Keckler, 2016).

The higher classification success rate achieved by Hinton's team in ImageNet competition in 2012 increased the interest in DNNs. 26.1% classification success of ImageNet, which is currently used with the name AlexNet, has been reduced to 15.3% by Hinton's team. The error rates have been further reduced (Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012) by the architectures developed in the following years (AlexNet-2012 (Krizhevsky et al., 2012), GoogleNet-2014 (Szegedy et al., 2015), VGGNet-2014 (Simonyan & Zisserman, 2014), ResNet-2015 (Szegedy, Ioffe, Vanhoucke, & Alemi, 2016), SqueezeNet-2016 (Iandola et al., 2016), NasNet-2017 (Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2017) etc.).

In traditional machine learning methodology, training data and testing data are taken from the same domain, and therefore input feature space and data distribution characteristic are the same, which directly affects the system performance. On the contrary, in some real-world machine learning scenarios where training data is expensive or difficult to obtain, this assumption does not hold. In addition, training processing times of these data are not at acceptable levels for normal users. Therefore, high-performance models (pre-trained networks) that are trained using more easily obtained data from different domains are required to be created. This methodology is called transfer learning (Weiss, Khoshgoftaar, & Wang, 2016). In order to use DNN networks with more effective performance, transfer learning approach is frequently employed using pre-trained networks, some of which are mentioned.

YOLO was presented by Redmon et al. as an approach different from other methods of object detection (Redmon, Divvala, Girshick, & Farhadi, 2016). The methods are used to detect a class for the objects and evaluate it at various locations and scales in the test image, and therefore to determine the class to which the object belongs. This method is complex and difficult to optimize. YOLO aims to detect the object from image pixels, to conduct all processes including bounding box coordinates and class probabilities using a single regression formula (Redmon et al., 2016). As single network architecture is used in YOLO to process the input image and generate the output results, RPNs are used for all object recognition predictions. This feature of the YOLO model significantly increases its operating speed (Wong et al., 2019). When using this system, by employing the YOLO process once, object detection is provided without continuously recalling the classifier to predict the objects that are present and their location. In YOLO, training is conducted on full images and detection performance is directly optimized. It has a simple and extremely fast running structure compared to other methods and thus performs faster object detection in real-time webcams (Redmon et al., 2016).

Additionally, the input image is divided into an $S \times S$ grid by YOLO. If an object's center falls into a grid cell, then the detection of that object is conducted by that grid cell. Bounding boxes and confidence scores of those boxes will be predicted by each grid cell. The higher confidence scores indicate higher classification accuracy for the system. The confidence score becomes zero when no object in that cell exists. There are five predictions in each box as x , y , w , h , and confidence predictions (cp). The x and y predictions represent the coordinates, w and h predictions represent the width and height relative to the whole image. The confidence prediction represents whether there is a relationship between the used box and the images to be classified. Each grid cell also predicts a probability, and these probabilities are conditioned for the object (Van Rijthoven, Swiderska-Chadaj, Seeliger, van der Laak, & Ciompi, 2018). YOLO Regression Formula is then $S \times S \times (B \times 5 + C)$, where $S \times S$ is the grid size, B is the bounding boxes, 5 is the prediction number and C is the class probability of the boxes, as depicted in Figure 2.

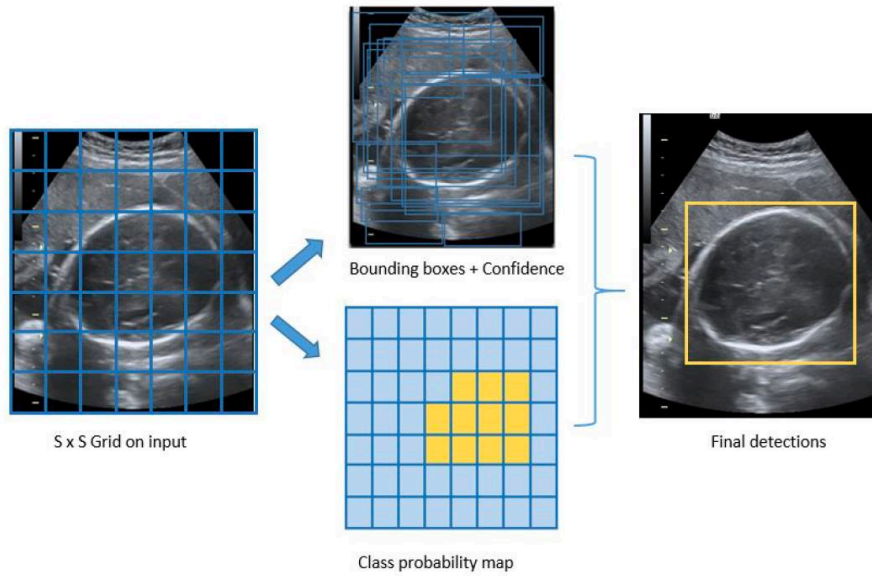


Figure 2. Sample grid and result with YOLO (Irene, Haidi, Faza, & Chandra, 2019)

1000-class ImageNet 2012 dataset is used to train YOLO network. YOLO training results are compared with other real-time detection systems on PASCAL VOC 2007 and VOC 2012. YOLO makes more localization errors when compared to Fast R-CNN, which is the most successful network of VOC 2007 (Redmon et al., 2016). Although Fast R-CNN makes less localization errors, it makes more background errors (Redmon & Farhadi, 2017). When compared to the models in VOC 2012, YOLO scores 8-10% lower than R-CNN and Feature Edit on categories like bottle, sheep, and tv/monitor. However, on other categories like cat and train, YOLO achieves higher performance. When YOLO was combined with R-CNN and, a higher performance was obtained. 2.3% improvement was provided with Fast R-CNN and YOLO combination, boosting it 5 spots up on the leaderboard (Redmon et al., 2016). YOLO architecture is presented in Figure 3.

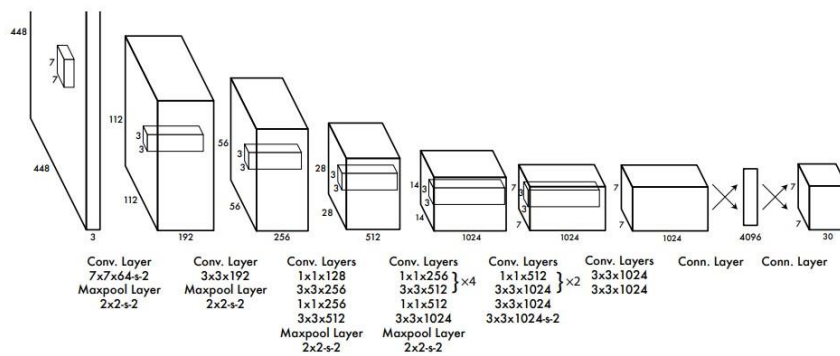


Figure 3. YOLO architecture (Redmon & Farhadi, 2017)

In addition, recall is relatively low in when compared to other RPN-based methods. YOLOV2 was created to improve these shortcomings by maintaining YOLO’s classification accuracy. It was obtained by adding a high resolution detector to the YOLO model. It was observed that the shortcomings of YOLO decreased and the success rate increased by 1.8% with the addition of a high resolution detector (Redmon & Farhadi, 2017).

3.1. Proposed Method

The flow chart of the method proposed in this study is shown in Figure 4. The main and most basic stage of the study is the acquisition of images used for diagnosis of DDH. At this stage, the patient records (retrospectively) obtained from Bagcilar Training and Research Hospital (Istanbul, Turkey) were used. For training phase of the system, 140 single-frame images in which the specialist physician performed the diagnosis were selected. For testing the system, 8 of the 5-10 second videos containing the recording made during the diagnosis process were obtained. An ultrasound system (Toshiba Aplio 400) was used to obtain single frame images and videos. All images had 800*600 resolution and were in RGB color mode. The single frame images were saved in JPEG format and the videos were stored in MP4 format. In Figure 5, sample images in the data set are given.

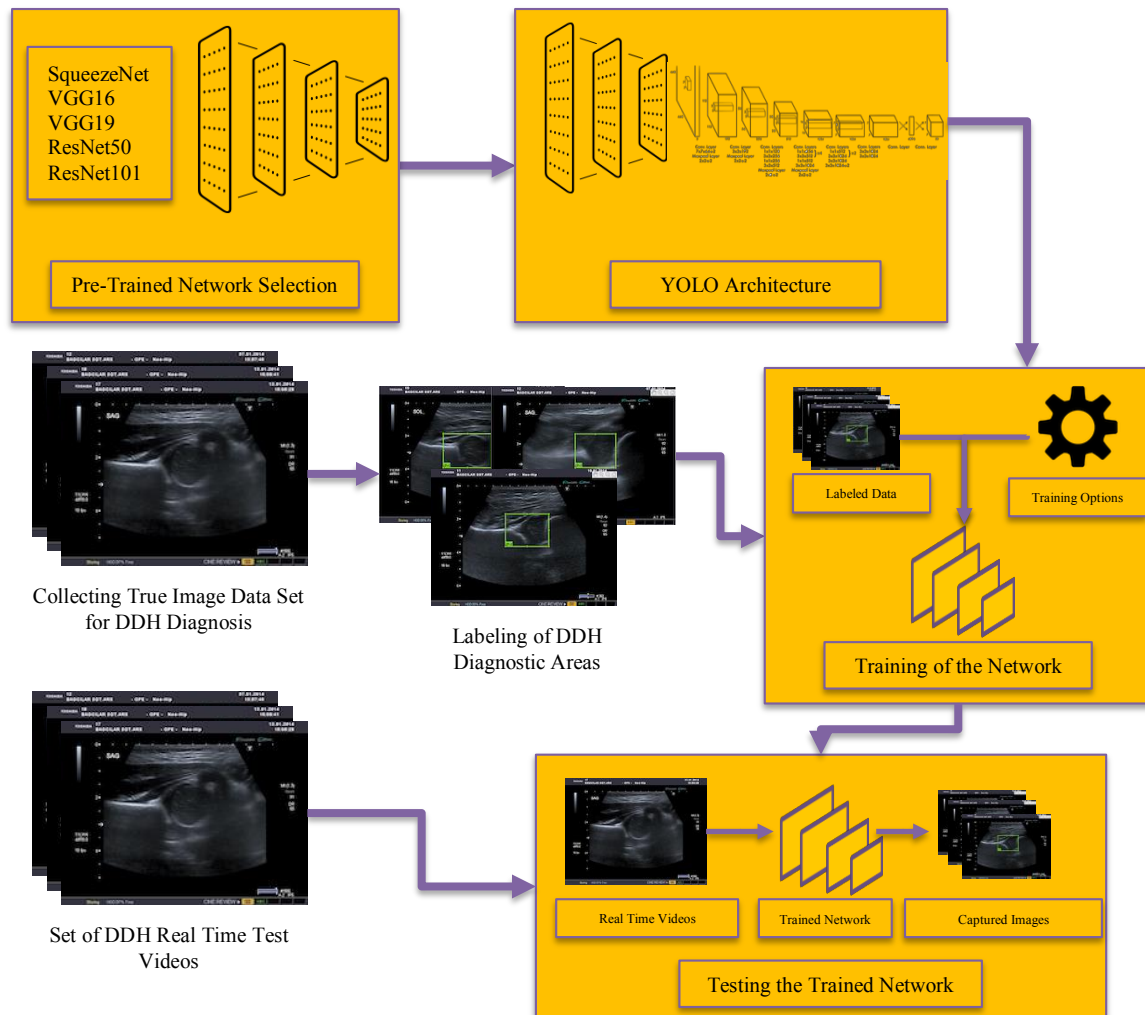


Figure 4. Flow chart of the designed system



Figure 5. Examples of the images used in study

In the second stage, the obtained data set was labeled. The sections used for diagnosis of the training images used for DDH were labeled and verified under the supervision of a specialist physician. During the test process, the similarity of these sections in the streaming image was used. An example labeling process that was performed with Matlab Image Labeler (Matlab, 2020) is shown in Figure 6.

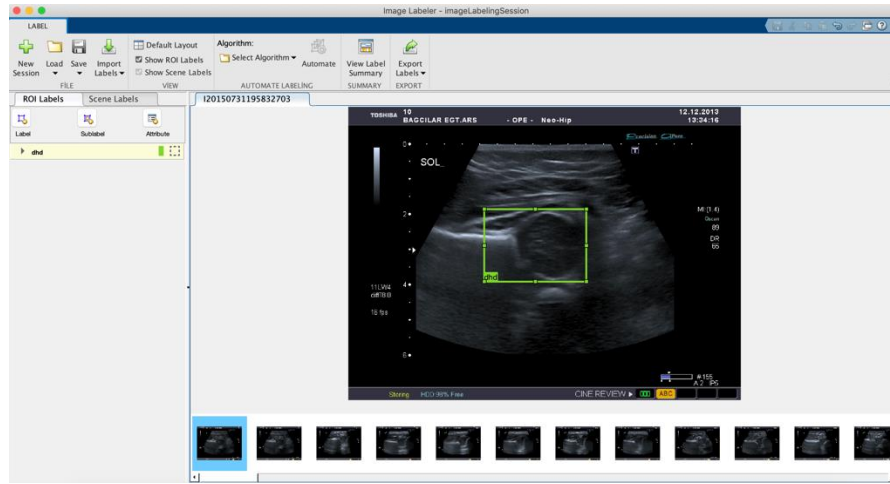


Figure 6. Image labeling process

After the data were labeled and prepared, the data were trained with DNN using the software developed within the scope of the study. Some pre-trained networks that have been previously tested and validated were used for DNN design. These are YOLO architecture based DNN networks such as SqueezeNet, VGG16, VGG19, ResNet50 and ResNet101 pre-trained networks.

The input data of all these networks were set to 224*224*3. For each image, the DDH value with a single class was given as the output data. The prepared deep networks were subjected to the training process with the same parameters. These settings are given in Table 1.

Table 1. Training parameters for the proposed methods

OPTION	VALUE
NUMBER OF EPOCHS	100
BATCH SIZE	16
LEARNING RATE	0.001
OPTIMIZER	SGDM
INPUT SIZE	224*224*3
OUTPUT SIZE	1 (DDH)
VERBOSE	True
VERBOSE FREQUENCY	1
SHUFFLE	Never

LOSS values of the model created during training are plotted in Figure 7, for different types backbone architectures. The change of LOSS values indicate how the model's estimate is different from the real value. In figure, the horizontal axis indicates the number of iterations and the vertical axis indicates the values.

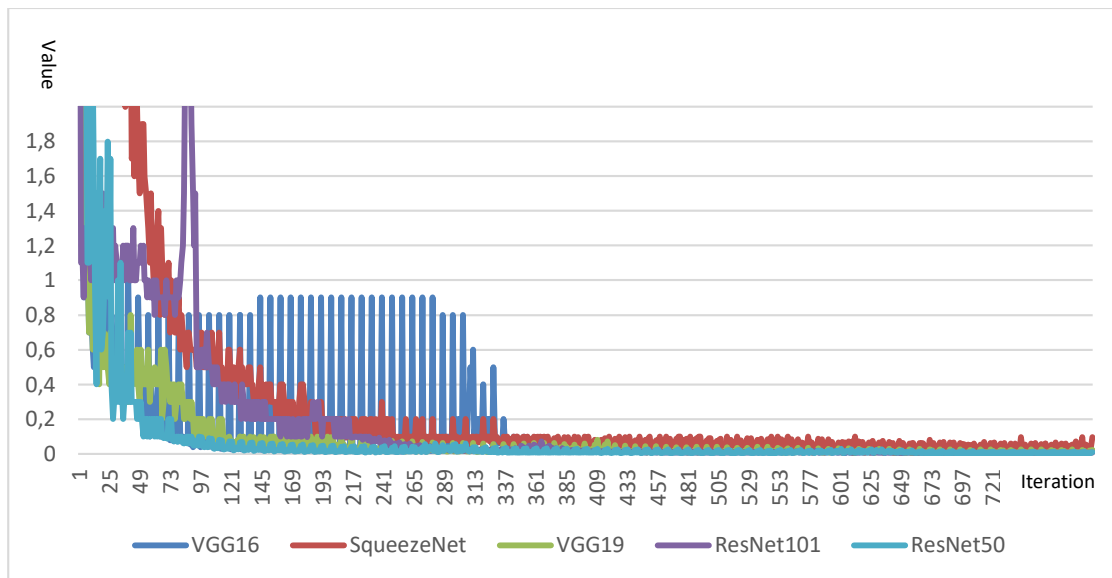


Figure 7. LOSS values of ResNet50, ResNet101, VGG16, VGG19 and SqueezeNet architectures during training

In addition, training processes were completed at different times depending on the structure of the network. Training times depending on the network structure and the minimum Root Mean Square Error (RMSE) and LOSS values obtained by each network are shown in Table 2.

Table 2. Training time for the proposed methods

BACKBONES	TRAINING TIME (HH:MM:SS)	MIN RMSE	MIN LOSS
RESNET50	02:15:03	0.06	0.0037
RESNET101	04:21:11	0.07	0.0056
VGG16	03:37:04	0.06	0.0036
VGG19	04:20:07	0.07	0.0044
SQUEEZENET	01:05:08	0.14	0.0190

In the last stage, the trained DNNs were tested with real-time videos that were in the data set but were not previously presented to the system. The single-frame images captured according to a certain DDH similarity ratio (for example, 0.9 and above threshold) of the trained network in the streaming image were re-evaluated by the expert and it was decided whether these images could be used for DDH diagnosis. In Figure 8, the images with a similarity value of over 0.9 obtained during the test process are given.

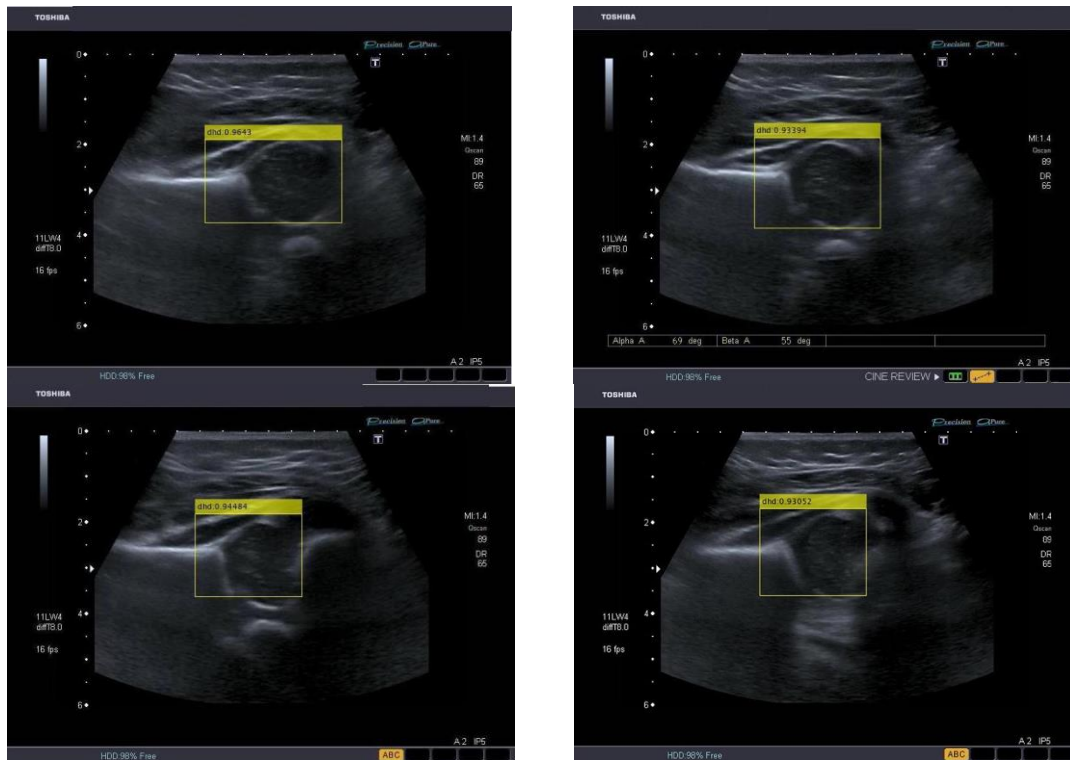


Figure 8. The frames determined as a result of the test process

4. Experimental Results

Video tests were conducted on YOLO architectures powered by pre-trained networks designed within the scope of the study. For testing with 8 videos containing the image sets previously used by the specialist physician for DDH diagnosis were selected. In these videos, there were frames that were appropriate for more than one diagnosis. The specialist doctor had performed the diagnosis from the frame that could be captured manually from the video. With the designed DNN model, the frames that could be used for DDH diagnosis in the video were determined. These obtained frames were then examined by the specialist physician and it was determined whether they could be used in the diagnosis of DDH.

Intersection over Union (IoU) evaluation metric is used to evaluate the results of models working on object detection from images. In this study, IoU metric was used to determine the correct image. A metric that helps measure whether the region proposition suggested by the model are acceptable for the location of the object in the image. The IoU evaluates the overlap between the predicted region and the actual reference value. It is formulated as shown in Equation 1 and Figure 9 (Gamage, Wijesinghe, & Perera, 2019)

$$IoU = \frac{area (reference\ value \cap predicted)}{area (reference\ value \cup predicted)} \quad (1)$$

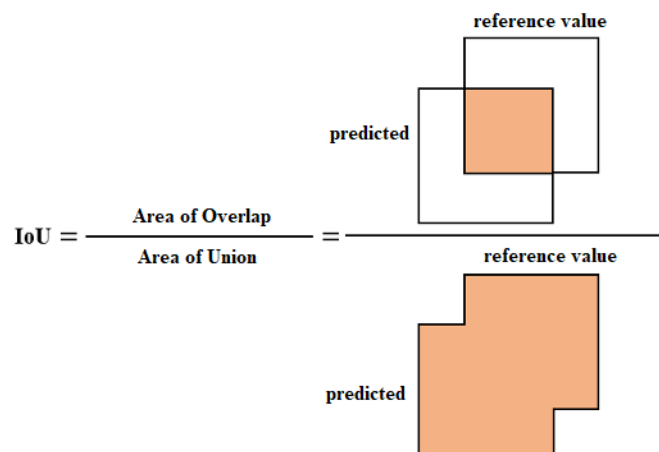


Figure 9. IoU formula

In determining the frames, the threshold rate for IoU was chosen as 0.9 and above. For each network, a set of frames with 0.9 or more threshold for IoU in DDH detection was extracted from each video. The obtained values and expert opinions are shown in Table 3.

Table 3. Test results in real-time videos for detection standard plane

VIDEO	TIME (MINUTE)	FRAME	BACKBONES	0.9 OR MORE IOU FRAMES	0.93 OR MORE IOU FRAMES	TOTAL TEST TIME (SECOND)
VIDEO (1).MP4	9	175	ResNet50	42	32	33.25
			Resnet101	18	4	44.28
			VGG16	35	21	42.82
			VGG19	40	4	51.39
			SqueezeNet	23	5	26.72
VIDEO (2).MP4	10	188	ResNet50	21	4	29.41
			Resnet101	58	17	44.7
			VGG16	21	6	41.18
			VGG19	38	10	48.88
			SqueezeNet	19	1	22.44
VIDEO (3).MP4	10	188	ResNet50	11	1	32.76
			Resnet101	61	18	44.88
			VGG16	22	5	42.71
			VGG19	56	4	47.93
			SqueezeNet	41	26	24.45
VIDEO (4).MP4	10	188	ResNet50	45	21	30.57
			Resnet101	2	1	45.83
			VGG16	55	30	42.42
			VGG19	35	15	48.4
			SqueezeNet	64	55	24.76
VIDEO (5).MP4	10	188	ResNet50	85	54	30.37
			Resnet101	31	4	45.83
			VGG16	64	34	42.65
			VGG19	90	45	48.94
			SqueezeNet	42	15	24.55
VIDEO (6).MP4	10	188	ResNet50	75	48	32.47
			Resnet101	57	4	44.92
			VGG16	92	41	45.05
			VGG19	96	38	51.55
			SqueezeNet	61	14	25.31
VIDEO (7).MP4	7	128	ResNet50	3	1	21.22
			Resnet101	12	1	30.4
			VGG16	27	11	29.71
			VGG19	17	1	33.65
			SqueezeNet	64	57	17.65
VIDEO (8).MP4	4	79	ResNet50	18	5	13.13
			Resnet101	23	8	19.04
			VGG16	12	1	18.11
			VGG19	28	13	20.84
			SqueezeNet	2	1	10.56

When Table 4 is examined, it is seen that the total number of frames of 8 videos is 1322, and the number of frames that can be used in DDH diagnosis from each treshold rate (0.9 and 0.93) is respectively 1606 and 676. When the test process durations were examined, it was found that the processing of a frame was 1.68 seconds for ResNet50, 2.41 seconds for Resnet101, 2.30 seconds for VGG16, 2.65 seconds for VGG19, and 1.33 seconds for SqueezeNet. Tests were performed on data sets with fewer number of frames having a value of 0.93. The results obtained as a result of examining the obtained DDH diagnosis frames (0.93 or More IoU Frames) are given in Table 4 and Table 5.

Table 4. Video based comparison of results for experts and proposed method

VIDEO	BACKBONES	0.93 OR MORE IOU FRAMES	EXPERT'S CORRECTED FRAME	ACCURACY	AVERAGE ACCURACY
VIDEO (1).MP4	ResNet50	32	31	0.97	0.9747
	Resnet101	4	4	1.00	
	VGG16	21	19	0.90	
	VGG19	4	4	1.00	
	SqueezeNet	5	5	1.00	
VIDEO (2).MP4	ResNet50	4	4	1.00	0.9482
	Resnet101	17	16	0.94	
	VGG16	6	6	1.00	
	VGG19	10	8	0.80	
	SqueezeNet	1	1	1.00	
VIDEO (3).MP4	ResNet50	1	1	1.00	0.8959
	Resnet101	18	15	0.83	
	VGG16	5	4	0.80	
	VGG19	4	4	1.00	
	SqueezeNet	26	22	0.85	
VIDEO (4).MP4	ResNet50	21	20	0.95	0.8911
	Resnet101	1	1	1.00	
	VGG16	30	28	0.93	
	VGG19	15	14	0.93	
	SqueezeNet	55	35	0.64	
VIDEO (5).MP4	ResNet50	54	40	0.74	0.8415
	Resnet101	4	4	1.00	
	VGG16	34	34	1.00	
	VGG19	45	45	1.00	
	SqueezeNet	15	7	0.47	
VIDEO (6).MP4	ResNet50	48	44	0.92	0.9492
	Resnet101	4	4	1.00	
	VGG16	41	38	0.93	
	VGG19	38	37	0.97	
	SqueezeNet	14	13	0.93	
VIDEO (7).MP4	ResNet50	1	1	1.00	0.986
	Resnet101	1	1	1.00	
	VGG16	11	11	1.00	
	VGG19	1	1	1.00	
	SqueezeNet	57	53	0.93	
VIDEO (8).MP4	ResNet50	5	5	1.00	0.9846
	Resnet101	8	8	1.00	
	VGG16	1	1	1.00	
	VGG19	13	12	0.92	
	SqueezeNet	1	1	1.00	

Table 5. Network based comparison of results for experts and proposed method (0.93 Threshold)

BACKBONES	DETECTED FRAME	EXPERT RESULT	ACCURACY
RESNET50	166	146	0.8795
RESNET101	57	53	0.9298
VGG16	149	141	0.9463
VGG19	130	125	0.9615
SQUEEZENET	174	137	0.7874
TOTAL	676	602	0.8905

5. Result and Discussion

In the study, a deep learning-based model is presented to capture the standard plane image from real-time ultrasound images to be used for applying Graf method in diagnosis of DDH. YOLO object recognition infrastructure was used to determine the standard plane within the image. In addition, pre-trained networks were utilized to increase the classification success of the system. The models created by combining SqueezeNet, VGG16, VGG19, ResNet50 and ResNet101 pre-trained CNN networks with YOLO were tested and their performance was discussed.

When the training and test durations of the designed models were examined, it was seen that the fastest system was the SqueezeNet model. When SqueezeNet was used in training, it was seen that the training phase was completed in at least half time shorter and in at most a quarter time shorter than the other networks. In addition, in the testing process, SqueezeNet was found to be much more successful than the other networks. When the training and test error rates were examined, it was determined that the architecture designed with VGG19 produced very little difference success rates compared to other models. However, there was not much difference in the system success. When the number of frames captured in the test process was examined, it was seen that the

VGG19 model captured the accurate frames more than the others.

When the results of the study were evaluated in general, it was observed that the proposed deep learning architectures used in obtaining the adequate and required standard plane for the experts to make the correct diagnosis were quite successful. In future studies, the design of these architectures for user application and the development of systems that assist experts can be handled.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Chen, L., Cui, Y., Song, H., Huang, B., Yang, J., Zhao, D., & Xia, B. (2020). Femoral head segmentation based on improved fully convolutional neural network for ultrasound images. *Signal, Image and Video Processing*, 1-9.
- Ciresan, D. C., Meier, U., Gambardella, L. M., & Schmidhuber, J. (2011). Convolutional neural network committees for handwritten character classification. Paper presented at the 2011 International Conference on Document Analysis and Recognition.
- Ciresan, D. C., Meier, U., Gambardella, L. M., & Schmidhuber, J. (2010). Deep, big, simple neural nets for handwritten digit recognition. *Neural computation*, 22(12), 3207-3220.
- Dezateux, C., & Rosendahl, K. (2007). Developmental dysplasia of the hip. *The Lancet*, 369(9572), 1541-1552.
- Fukushima, K. (1980). A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biol. Cybern.*, 36, 193-202.
- Gamage, H., Wijesinghe, W., & Perera, I. (2019). Instance-based segmentation for boundary detection of neuropathic ulcers through Mask-RCNN. Paper presented at the International Conference on Artificial Neural Networks.
- Golan, D., Donner, Y., Mansi, C., Jaremko, J., & Ramachandran, M. (2016). Fully automating Graf's method for DDH diagnosis using deep convolutional neural networks. In *Deep Learning and Data Labeling for Medical Applications* (pp. 130-141): Springer.
- Graf, R. (2006). *Hip sonography: diagnosis and management of infant hip dysplasia*: Springer Science & Business Media.
- Hareendranathan, A. R., Zonoobi, D., Mabee, M., Cobzas, D., Punithakumar, K., Noga, M., & Jaremko, J. L. (2017). Toward automatic diagnosis of hip dysplasia from 2D ultrasound. Paper presented at the 2017 IEEE 14th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2017).
- Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J., & Keutzer, K. J. a. p. a. (2016). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size.
- Irene, K., Haidi, H., Faza, N., & Chandra, W. (2019). Fetal Head and Abdomen Measurement Using Convolutional Neural Network, Hough Transform, and Difference of Gaussian Revolved along Elliptical Path (Dogell) Algorithm. *arXiv preprint arXiv:1911.06298*.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Paper presented at the Advances in neural information processing systems.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84-90.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
- Matlab. (2020). Image Labeler. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/get-started-with-the-image-labeler.html>
- Paserin, O., Mulpuri, K., Cooper, A., Abugharbieh, R., & Hodgson, A. J. (2018). Improving 3D ultrasound scan adequacy classification using a three-slice convolutional neural network architecture. *CAOS*, 2, 152-156.
- Paserin, O., Mulpuri, K., Cooper, A., Hodgson, A. J., & Abugharbieh, R. (2017). Automatic near real-time evaluation of 3D ultrasound scan adequacy for developmental dysplasia of the hip. In *Computer Assisted and Robotic Endoscopy and Clinical Image-Based Procedures* (pp. 124-132): Springer.
- Paserin, O., Mulpuri, K., Cooper, A., Hodgson, A. J., & Garbi, R. (2018). Real time RNN based 3D ultrasound scan adequacy for developmental dysplasia of the hip. Paper presented at the International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention.
- Qassim, H., Verma, A., & Feinzimer, D. (2018). Compressed residual-VGG16 CNN model for big data places image recognition. Paper presented at the 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC).
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). YOLO9000: better, faster, stronger. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Rhu, M., Gimelshein, N., Clemons, J., Zulfiqar, A., & Keckler, S. W. (2016). vDNN: Virtualized deep neural networks for scalable, memory-efficient neural network design. Paper presented at the 2016 49th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO).
- Schams, M., Labruyère, R., Zuse, A., & Walensi, M. (2017). Diagnosing developmental dysplasia of the hip using the Graf ultrasound method: risk and protective factor analysis in 11,820 universally screened newborns. *European Journal of Pediatrics*, 176(9), 1193-1200.
- Shaw, B. A., & Segal, L. S. (2016). Evaluation and referral for developmental dysplasia of the hip in infants. *Pediatrics*, 138(6).

- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556.
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. (2016). Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. arXiv preprint arXiv:1602.07261.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., . . . Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Tang, M., Zhang, Z., Cobzas, D., Jagersand, M., & Jaremko, J. L. (2018). Segmentation-by-detection: A cascade network for volumetric medical image segmentation. Paper presented at the 2018 IEEE 15th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2018).
- Van Rijthoven, M., Swiderska-Chadaj, Z., Seeliger, K., van der Laak, J., & Ciompi, F. (2018). You only look on lymphocytes once.
- Weiss, K., Khoshgoftaar, T. M., & Wang, D. (2016). A survey of transfer learning. *Journal of Big data*, 3(1), 9.
- Wong, A., Famuori, M., Shafiee, M. J., Li, F., Chwyl, B., & Chung, J. (2019). YOLO nano: A highly compact you only look once convolutional neural network for object detection. arXiv preprint arXiv:1910.01271.
- Yang, S., Zusman, N., Lieberman, E., & Goldstein, R. Y. (2019). Developmental dysplasia of the hip. *Pediatrics*, 143(1).



URGANLI (MANİSA) TRAVERTENLERİNİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE TEKTONİZMA İLE İLİŞKİSİ

Zülfü DEMİRKIRAN¹, Hakan ELÇİ^{2*}

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Sondaj Teknolojisi Programı, İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Traverten,
Traverten Tektoniği,
Jeotermal.*

Öz

Bu çalışmada Urganlı (Manisa) yöresinde çökelmeye devam eden termojen kökenli traverten çökelleri morfolojik özelliklerine göre ayrılmış ve tektonizma ile olan ilişkisi ortaya konulmuştur. Urganlı termojen kökenli traverten çökelleri morfolojik özellikleri dikkate alınarak; tabakalı, fay önü, damar tipi, tümsek-teraz tipi, sırt tipi ve kanal tipi travertenler olarak altı sınıfa ayrılmıştır. Bölgedeki tüm traverten morfolojileri fayların kontrolünde gelişmiştir. Saha gözlemlerinden elde edilen veriler sahanın traverten oluşum başlangıcında Kuzey-Güney yönlü bir genişlemenin varlığını ortaya koymaktadır. Sonraki dönemde bu genişleme Doğu-Batı yönlü gelişerek Kuzey-Güney doğrultulu traverten damarlarının çökelimine neden olmuştur. Yakın geçmişte ise Kuzey-Güney yönlü genişleme etkisini sürdürdüğünü Doğu-Batı doğrultulu sırt tipi travertenlerin gelişimiyle anlaşılmaktadır. Derin elektrik sondaj ve mekanik sondaj verileri ile temel (Paleozoyik-Mezozoyik) Paleo-morfolojisi incelendiğinde yine Kuzey-Güney ve Doğu-Batı faylarının etkisinde çalışma alanının kuzey batısına doğru yükseldiği, güneydoğusuna doğru düştüğü saptanmıştır.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE URGANLI (MANİSA) TRAVERTINES AND THEIR RELATIONSHIP WITH TECTONISM

Keywords

*Travertine,
Travertine Tectonics,
Geothermal.*

Abstract

In this study, thermogeneous travertines that continue to be deposited in the Urganlı (Manisa) region are distinguished according to their morphological features and their relationship with tectonism is revealed. Considering the morphological features of the thermogene travertine deposits in the Urganlı; It is divided into six classes as bedded, fault-sided, vein type, mound-terrace type, ridge type and channel type travertines. All travertine morphologies in the region developed under the control of faults. Data obtained from field observations reveal the existence of a North-South directional expansion at the beginning of the travertine formation of the field. In a later period, this expansion developed in East-West direction and caused the precipitation of travertine veins in North-South direction. In the recent past, it is understood with the development of East-West oriented ridge type travertines that North-South directional expansion continues. When the vertical electrical sounding and drilling data and the Paleo morphology of the foundation (Paleozoic-Mesozoic) were examined, it was determined that the study area rose towards the northwest and decreased towards the southeast under the influence of the North-South and East-West faults.

Alıntı / Cite

Demirkıran, Z., Elçi, H., (2022). Urganlı (Manisa) Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri ve Tektonizma ile ilişkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1027-1042.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Z. Demirkıran, 0000-0001-9507-2864
H. Elçi, 0000-0003-2945-2548

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.02.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.03.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.03.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: hakan.elci@deu.edu.tr +90-232-853-1828

1. Giriş (Introduction)

Traverten terimini genel olarak karasal alanların içinde ya da kenarlarında, nehirlerde, göllerde ve mağaralarda oluşmuş bütün denizel olmayan karbonat çökellerini ifade eder (Sanders ve Freidman, 1967). Daha detaylı tanımında ise termal sudan çökelmiş karbonatlar için "termojen kökenli travertenler", atmosferik koşullarda soğuk sulardan çökelen karbonatlar için "meteojen" ayrımı yapılmıştır (Pentacost, 1995). Bir başka ayrımında da, termal sudan çökelen karbonatlar için "traverten", soğuk sulardan mikrobiyal faaliyetle çökelen karbonatlar için ise "tufa" terimlerini kullanmışlardır (Ford ve Pedley, 1996; Yeşilova vd., 2019; Yeşilova vd., 2021). Travertenin oluşumu, karbonatı çökelten akışkanın sıcaklığı, rejimi, karbonatın çökeldeği ortamın morfolojik özellikleri, akışkanın kimyası gibi faktörlerin kontrolündedir (Pentacost; 1995, Ford ve Pedley, 1996) Travertenin oluşumundaki bu çeşitlilik, travertenin oluşum dönemleri ile ilgili birçok bilgiyi kayıt ederek günümüze ulaşmasını da çok önemli bir rol oynar. Mikrobiyal düzeydeki canlı yaşamı, kabuğun hareketi, jeotermal aktivite ve deprem gibi konularda birçok veri travertenden elde edilmiştir (Altunel ve Hancock, 1993). Traverten birikintileri genellikle normal veya transtansiyonel faylarla ilişkilidir (Hancock vd., 1999; Brogi ve Capezzuoli, 2009; Altunel ve Hancock, 1993; Altunel ve Uysal, 2005).

Termojen kökenli traverten oluşumu için tektonizmanın aktif olması aynı zamanda jeotermal aktivitenin var olması gerekmektedir (Demirkıran, 2000). Tektonik faaliyetlerin etkin olduğu Pamukkale, Urganlı gibi termal kaynakların olduğu bölgelerde kaynaklardan boşalan akışkanlar traverten tiplerinin gelişimine olanak tanır. Termodinamik ve morfolojik koşullar damar, sırt, fay önü, tabakalı, kanal gibi farklı niteliklerde traverten oluşumlarını kontrol eder. Bu çalışmada inceleme alanında gözlenen travertenler morfolojik özelliklerine göre tanımlanmış tektonizma ile ilgileri kurulmuş ve haritalanmıştır. Traverten tipleri yardımıyla sahanın tektonik modeli oluşturulmuştur.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Traverten bikarbonatça (HCO_3) doymuş suyun uygun termodinamik koşullarda kalsiyum karbonatı (CaCO_3) hızlı bir şekilde çökeltmesi ile oluşur (Demirkıran, 2000). Hızlı çökelim, termal suyun karbondioksitin kısmi basıncının (PCO_2) ani değişimi ile olur. Derinde yüksek olan PCO_2 kısmi basıncı, akışkan atmosferik koşullara eriştiğinde karbondioksit (CO_2) basıncı atmosferik koşullara eşitleninceye kadar CO_2 akışkandan hızlı bir şekilde ayrılır. Bu ayrılma suyun bazik özellik kazanmasına yol açar. Superature duruma ulaşan CaCO_3 hızlı bir şekilde çökerek travertenleri oluşturur. Bu tip traverten oluşumlarına literatürde termojen kökenli travertenler adı verilmiştir (Pentacost, 1995).

CO_2 ayrılması mikrobiyal faaliyet sonucu da olabilir. Mikrobiyal faaliyet sonucu CO_2 ortamdaki ayrılması ile de ortam bazikleşir, supersature duruma ulaşan CaCO_3 çökeler ve travertenleri oluşturur. Mikrobiyal faaliyet sonucu oluşan travertende CO_2 ayrılması diğerinden daha yavaş olduğundan traverten çökelim hızı daha yavaş gerçekleşecektir. Yavaş çökelim nedeniyle travertenlerin gözenekleri az ve laminalanma daha düzgün olur. Ayrıca bu tip travertenler daha homojendir (Demirkıran, 2000). Bu tip traverten oluşumlarına literatürde meteojen kökenli traverten adı verilmiştir (Pentacost, 1995). İnceleme alanındaki traverten oluşumları çoğunluğu termal sularla ilgili olması nedeniyle Termojen kökenli travertenlerdir. Ancak kaynaktan uzak kesimlerde suyun soğuması ile birlikte mikrobiyal faaliyetle birlikte meteojen kökenli oluşumlarda çökebilir.

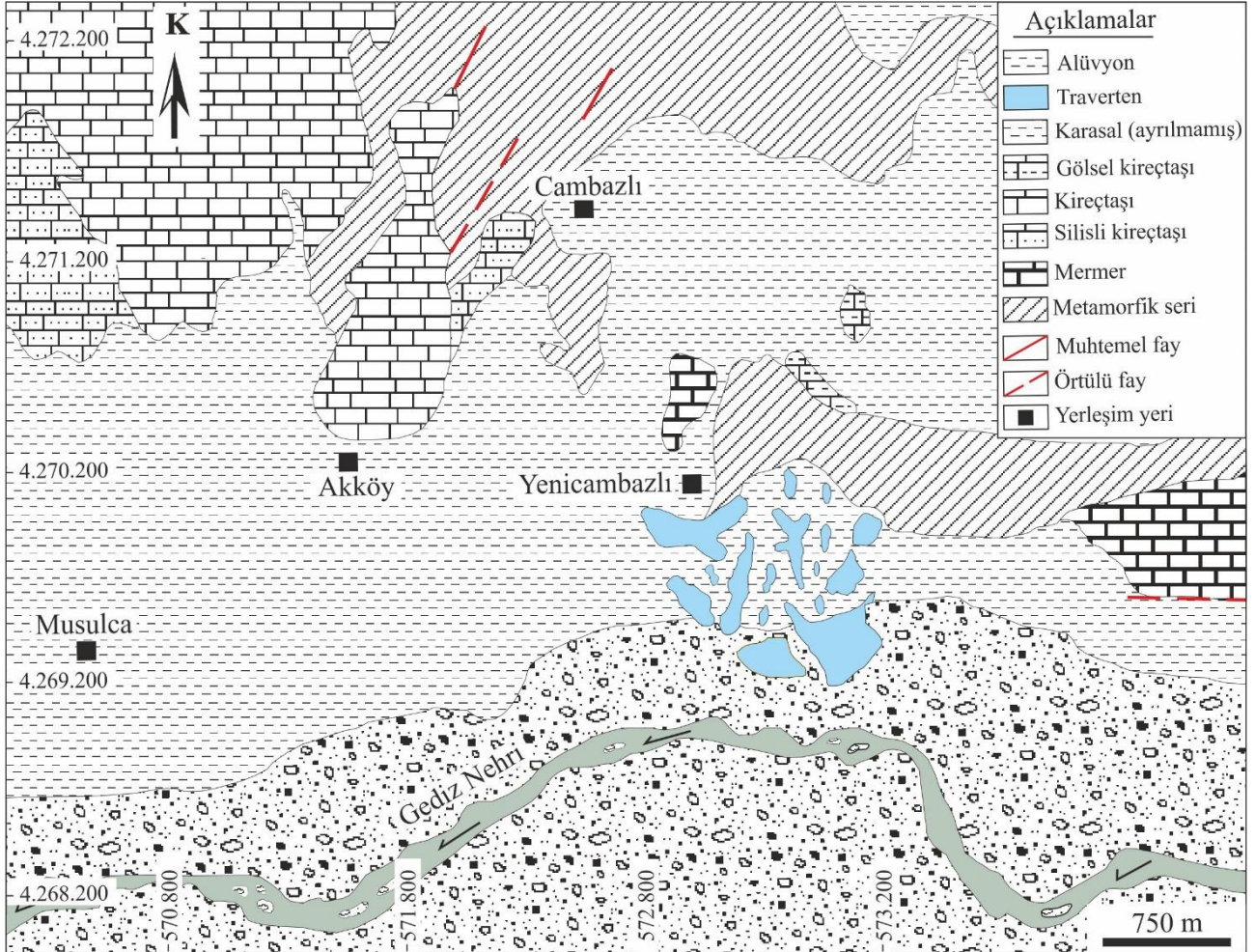
Manisa yöresi travertenlerin kökenine yönelik yapılmış detaylı çalışmalardan biri Salihli bölgesindeki meteojen traverten oluşumlarıdır. Yılmaz (2008), İşintek vd. (2009a), İşintek vd. (2010a) Salihli bölgesinde yer alan traverten istifinin alttan üste doğru gösterdiği karbonat yapı, doku ve karbonat bileşenler gibi kriterleri dikkate alarak, traverten istifinin genel olarak litoral ve sublitoral ortamlarda çökeldeğini, İşintek vd. (2009b), İşintek vd. (2010b) yine benzer şekilde yöredeki traverten çökellerinin sıcak sularla beslenme olasılığının oldukça düşük olduğunu, dolma-boşalma sistemi olmayan, daha geniş ve açık, sığ bir gölsel alanda ve yavaş çökelleme koşullarında oluştuğu belirtilmiştir.

Manisa, Urganlı traverten oluşumları sahip olduğu, litolojik hidrojeolojik ve tektonik özellikleri açısından farklı disiplinlerden birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve araştırılmıştır. Bu araştırmalar çoğunlukla Urganlı travertenlerinin çökeline neden olan jeotermal kaynakların hidrojeokimyasal özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Farklı araştırmacılar, Urganlı kaplıcaları ve çevresindeki jeotermal kaynaklarından çıkan suların sıcaklığının 42-80° C arasında, pH'larının 6,38-8,54 arasında ve radyoaktivite değerlerinin 0.61-5.1 eman arasında değiştiğini belirtmişlerdir (Çağlar, 1948; Avşaroğlu, 1968; Yenil vd., 1975; Vural, 2009; Büyükşahin, 2016).

Çağlar (1948) jeotermal suların 25-250 mg/l arasında değişen serbest CO_2 içerdiğini, Avşaroğlu (1968), Yenil (1970), Tarcan (1995), Tarcan ve Filiz (1998), Tarcan vd. (1998), Tarcan vd. (2005), Vural (2009), suların CO_2 beraber genelde Na-HCO_3 da içerdiğini belirtmişlerdir. Ercan vd. (1994) CO_2 organik kökenli olmadığını, Vural

(2009) ise CO₂ kökeninin daha çok denizel kökenli karbonatlardan ya da metamorfik CO₂'den kaynaklandığını belirtmiştir. Tarcan ve Filiz (1998) HCO₃ zenginleşmesine iyon takasının neden olduğunu belirtmişlerdir. Filiz (1982) ise suların meteorik kökenli olduğunu ve hazne kaya sıcaklığı bakımından elektrik üretimine uygun olmadığını, belirtmişlerdir. Büyüksahin (2016), Urganlı jeotermal alanındaki suların genel olarak Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak tanımlamış, bu suları Na+K>Ca>Mg baskın katyonlar ve baskın HCO₃>Cl>SO₄ anyonlar olarak sınıflandırmıştır. Ayrıca bu suların HCO₃ bakımından zengin olmasını, rezervuar kayaçlarının genellikle karbonat kökenli kayaçlar olmasına ve derin kökenli CO₂ gazının suda çözünmesi ile ilişkilendirmiştir.

Urganlı traverten oluşumlarını ve sıcak su çıkışlarını detaylı şekilde ilk haritalayan Ürgün (1966) olmuştur (Şekil 1 ve Şekil 2). Ceylan (1998) Urganlı traverten çökeline neden olan sıcak suların daha çok kaplıca tesislerinde kullanıldığını belirtmiştir. Yılmaz vd. (2008), 2005-2008 yılları arasında açılan sondaj verileri ışığında Urganlı jeotermal alanında Cambazlı fayı ile ilişkilendirmişlerdir.

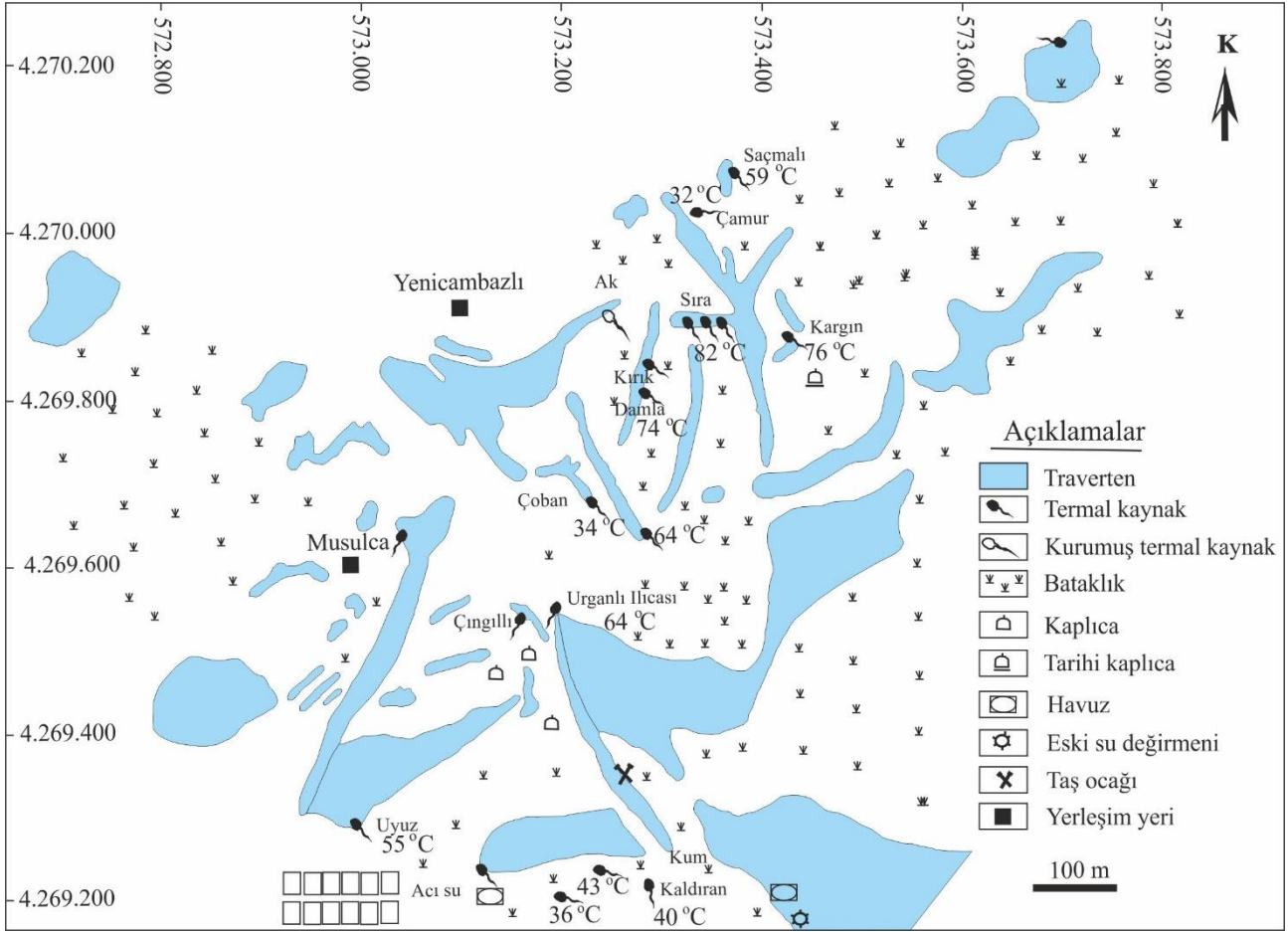


Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisi, Ürgün, 1966.
(Geology of the study area and its surroundings, Ürgün, 1966)

Selim ve Yanık (2005), Cambazlı köyündeki travertenleri, morfolojik özelliklerine göre sırt tipi traverten olarak tanımlamışlardır. Çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak suların, çatlakların her iki tarafında akararak çökmesiyle meydana gelen, 10-60 m arası kalınlıkta, masif, açık sarımsı, bej ve beyaz renkli travertenleri oluşturduğunu, çatlak boyunca çıkan sıcaklıklarının da 34-83°C arasında, pH'lerinin 6-8 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Ek olarak Urganlı travertenlerin, %5-20 boşluklu bir yapıya sahip olduklarını, %45-90 kalsit, %15-20 ikincil kalsit, %5-20 impürite, içerdiğini, kimyasal olarak da % 96,8-97,2 CaCO₃, %2,2-2,6 MgCO₃, %0,04-0,05 SiO₂, %0,4-0,6 asitte çözülmeyen madde içerdiklerini belirtmişlerdir. Urganlı travertenlerini aktif normal listrik bir faya bağlı çatlak sistemlerinden çıkan suların yüzeye bıraktığı çökelimler olarak açıklamışlardır.

Selim ve Yanık (2009), Turgutlu Neojen havzasını oluşturan Gediz Grabeni'nin batı ucunda yer alan Urganlı travertenlerini fiziksel, mineralojik ve petrografik özelliklerine göre iki ana gruba ayrılmış ve traverten çökeline Menderes Masifi'nin Paleozoik birimleri ile Pliyosen yaşlı Kanlıtepe Formasyonu arasındaki faylanmanın neden olduğunu belirtmişlerdir. I. grup travertenleri yatay ve Kuzey Doğu-Güney Batı ve Kuzey Batı-Güney Doğu yönlü,

II. grup travertenler oluşumları da Doğu-Batı yönlü traverten çökelleri olarak tanımlamışlardır. Urganlı traverten çökeliğini, bölgenin kuzeyinde gelişen aktif bir listrik normal fay ile ilişkilendirerek, kırık sistemlerden yükselen hidrotermal sular tarafından çökeltmiş fissür-sırt tipi travertenler olarak tanımlamışlardır.



Şekil 2. Urganlı traverten çökelleri ve kaplıcaları, Ürgün, 1966; Ceylan, 1998.
(Urganlı travertine deposits and thermal springs, Ürgün 1966; Ceylan, 1998)

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Traverten tipleri litolojik özellikleri, saha çalışmaları ile tanımlanmış, fotoğraflanmış ve haritalanmıştır. Jeotermal su arama amacı ile sahada gerçekleştirilen 35 adet derin elektrik sondaj ve üç adet mekanik sondaj verileri Micromine, (2022) programında değerlendirilerek bölgenin 3 boyutlu tektonik, litolojik ve stratigrafik modelleri oluşturulmuştur.

4. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

Çalışma alanı Manisa ili Turgutlu ilçesi Urganlı kasabasında, yaklaşık 2 kilometre karelik bir alanı kapsar. Çalışma alanı ve yakın çevresinde litolojik ve stratigrafik özelliklerine göre 8 farklı kaya birimi tanımlanmıştır. Bunlar yaşlıdan genç doğru sırasıyla, Menderes Masifine ait, Paleozoyik yaşlı şistler, mermerler, şist mermer fillit ardalanması ve dolomitik mermerler. Menderes Masifine ait bu kayaların üzerine bindirme ile gelen İzmir-Ankara zonuna ait Mesozoik ofiyolitik kayalar, Tüm bu birimlerin üzerine gelen, çakıltaş kumtaşı kiltası çamurtaşı marn ve gölsel kireçtaşlarından oluşan Neojen yaşlı karasal tortullar. Yine tüm birimleri uyumsuzlukla örten, Kuvaterner yaşlı alüvyon ile bu çalışmanın konusunu oluşturan travertenler yer almaktadır. Bu birimler aynı zamanda, yörenin en genç oluşuklarıdır (Karamanderesi, 1972; Akdeniz vd., 1986).

5. Tektonizma (Tectonism)

Batı Anadolu'da lokal olarak Orta Oligosen'in sonlarında, bölgesel olarak Erken-Geç Miyosende başlayan Neotektonik Dönem, açılma fayları ve yüksek açılı normal faylarla kontrollü kıtasal sedimanlar, sinsedimenter volkanizma, tansiyonal tektonik rejim altında gelişmiş sinekstensiyonal magmatizmle karakterize olunur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Sözbilir, 1989).

Anadolu levhasının batıya hareketinin, Ege ve Anadolu'da Kuzey-Güney yönlü bir gerilme ile karşılandığı görüşü birçok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir. Bu Kuzey-Güney yönlü gerilmenin sonucu olarak Doğu-Batı doğrultulu grabenlerin oluşumu ileri sürülmektedir. Grabeni sınırlayan faylar boyunca bölge sismikçe aktiftir. Faylar üzerinde birçok deprem kaydedilmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Sözbilir, 1989).

Bölgede genişleme tektoniğinin oluşum yaşı ile ilgili olarak farklı görüşler belirtilmektedir. Genişleme tektoniğinin Geç Miyosenden itibaren başladığı birçok araştırmacı tarafından kabul edilmekle birlikte (Mc Enzie, 1978; Seyitoğlu ve Scot 1991), Batı Anadolu'daki bu genişleme başlangıcını bazı bölgelerde Erken Miyosen'e kadar indirilmektedir (Mc Enzie 1978; Seyitoğlu ve Scot, 1991; Sözbilir, 1997). Neotektonik birimlerin en yaşlı üyesi olarak kabul edilen Geç Miyosen yaşlı Denizli Molası'nın Erken Miyosen yaşlı birimleri uyumsuzlukla örtmüş olması nedeniyle Genişleme tektoniğinin yaşını Geç Miyosen olarak kabul eder.

Yılmaz (2000), Batı Anadolu'nun doğu-batı yönlü genişmesini buna bağlı olarak kuzey-güney yönlü grabenlerin oluşumunu Erken-Geç Miyosen döneminde başlatır. Kuzey güney yönlü graben faylarının yatay ve düşey bileşeni olan oblik atımlı faylar olduğunu belirtir. İlk kuzey güney yönlü genişmenin Geç Miyosen döneminde başlatılmaktadır. Bu dönemde Bozdağ horst'unun buna bağlı olarak horstun kuzeyinde ve güneyinde düşük açılı sıyrılma faylarının bu dönemde geliştiğini belirtir. Geç Miyosen sonundan Erken Pliyosen'e kadar kuzey güney yönlü genişmenin duraksadığını belirtir. Bu dönemde Bozdağ yükselim horstu morfolojik varlığını önemli ölçüde yitirmiş olup bölgesel bir aşınım düzlüğü gelişmiştir. Ege'nin günümüzdeki egemen yapı unsurları olan doğu batı grabenleri ise Geç Miyosen'den sonra olasılıkla Pliyosen sonu- Pleyistosen'de başlatılmaktadır.

Batı Anadolu da Neotektonik dönemle başlayan grabenleşme bölgede jeotermal aktivitenin başlamasını sonuçlanmıştır. Batı Anadolu da başlayan jeotermal aktiviteyle bölgede kalın traverten tabakalarının oluşumu gerçekleşmiştir. Genişleme fayları genellikle yüksek açılı, normal faylar olup Kuzeydoğu-Güneybatı ve Kuzeybatı-güneydoğu doğrultuludurlar. Jeotermal sulara kanal görevi yapmaları nedeniyle traverten oluşumu ve traverten tiplerinin gelişimi açısından önemlidirler.

6. Çalışma Alanındaki Traverten Morfolojileri (Travertine Morphologies in the Study Area)

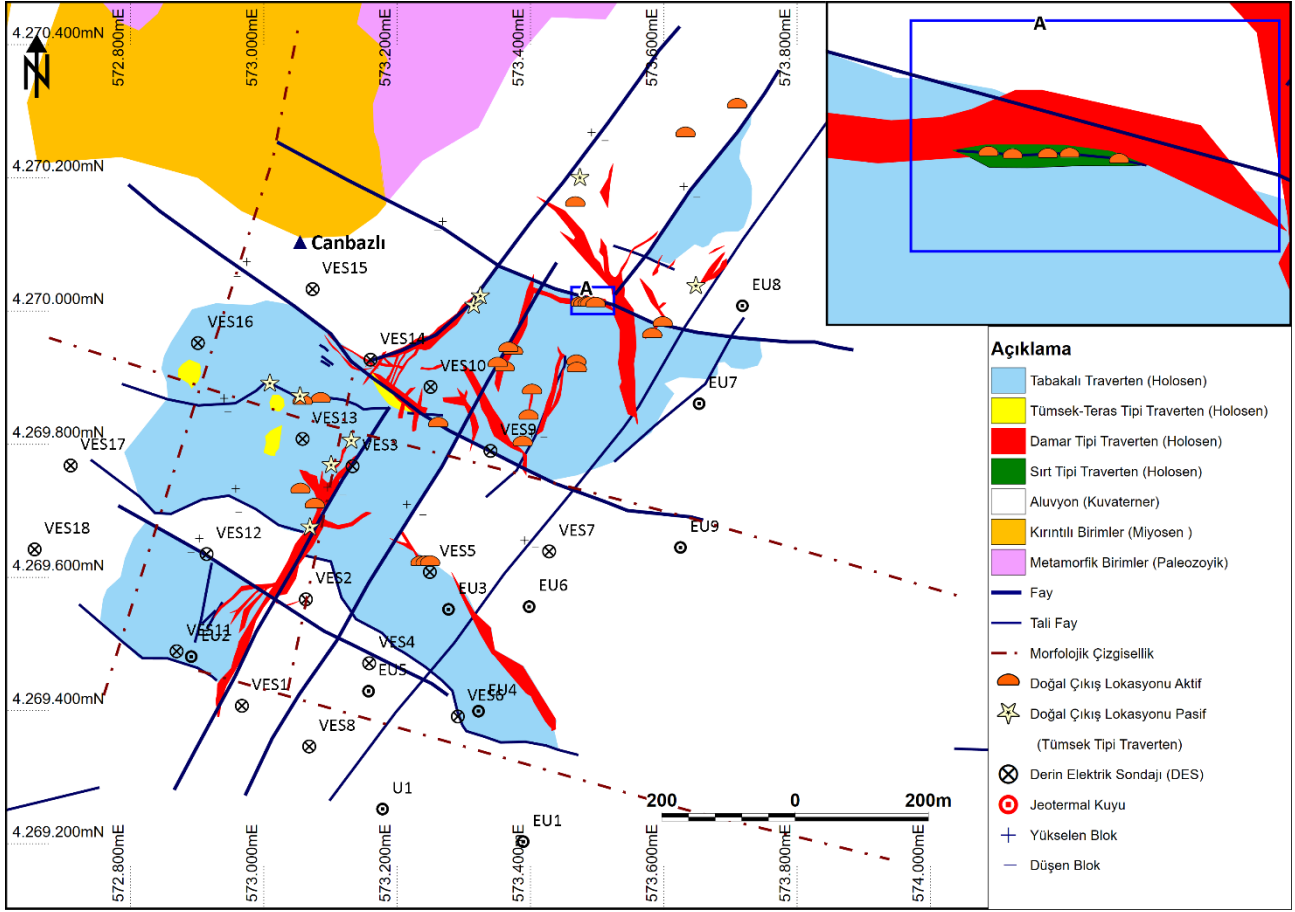
Depolanma alanlarında ortamların morfolojik özelliklerine göre farklı tiplerde traverten oluşumları çökelmiştir. Travertenin depolanma tiplerinde tektonizmanın etkin bir rolü vardır. Damar tipi travertenler bir fay, bir çatlak içerisinde çökelmiş travertenlerdir. Fay önü travertenleri normal fayların çöken bloğunun üzerinde, tabakalı travertenler ise eğimli bir düzlemde çökelmişlerdir. Sırt tipi travertenler bir çatlak üzerinde sırt şeklinde çökelmiş travertenlerdir (Bargar, 1978; Chafetz ve Folk 1984; Altunel ve Hancock, 1993). Kanal tipi travertenler kaynaktan çıkan termal suların cazibesi ile aktığı alanda kanal şeklinde çökelen travertenlerdir (Altunel ve Hancock, 1993). Teras (tümsek) tipi travertenler Eğimli bir alanda çökelmiş teras şeklinde travertenlerdir. İnceleme alanında Damar, fay önü, tabakalı, sırt, kanal, Teras ve tümsek tipi oluşumlar tanımlanmış ve haritalanmıştır (Şekil 3). Sırt ve Kanal tipi travertenler sınırlı alanlarda gelişmişlerdir. Fay önü ve tabakalı travertenler birbirleri ile iç içedir (Şekil 4). Fay önü travertenler, oluşumu itibari ile aktif bir fayın hareketini ifade etmektedir.

6.1. Tabakalı Travertenler (Bedded Type Travertine)

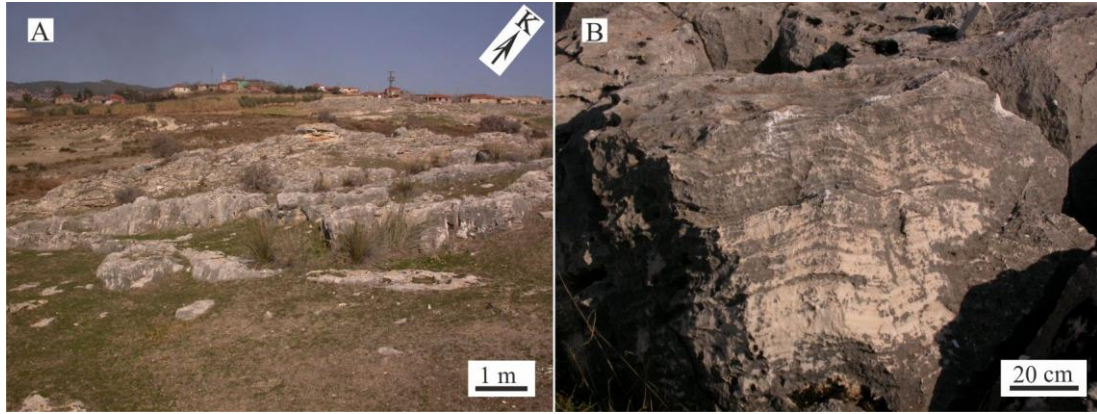
Tabakalı travertenler; çalışma alanında, suyun eğimli düzlem boyunca aktığı yerlerde çökelmiştir (Şekil 4A). Tabakalı travertenler HCO₃ zengin termal suyun eğimli bir düzlem boyunca akışı sırasında, bünyesindeki kalsiyum karbonatı çökeltmesiyle oluşmuşlardır (Demirkiran, 2000). Eğim aşağı akan suyun akım rejimi değişken olması nedeniyle çökeltim hızı da çok değişkendir. Bu nedenle çok düzgün tabakalanma sunmayan bu tip travertenlerde ondüleli bir laminalanma gözlenir (Şekil 4B). Çalışma alanının güneyine doğru kaynaklardan itibaren daha düşük kotlara doğru yersel düzlüklerde çökelmişlerdir. Jeofizik çalışmalarda güneyde ince alüvyon örtünün altında 20 m yer yer 40 m kalınlığa ulaştığı saptanmıştır. Yükselen ve düşen bloğun ya da paleomorfolojinin belirlenmesi açısından ilginçtirler.

6.2. Fay Önü Travertenleri (Range-Front Type Travertine)

Fay önü travertenleri; normal fayın doğrultusu boyunca fayın düşen bloğunun üzerinde gelişir fayın hareketine ve faydan boşalan HCO₃ ç zengin suyun miktarına bağlı olarak fayın düşen bloğunun üzerinde giderek kalınlaşır. Fay önü travertenlerin, tabakalı travertenlerle iç içe olması fayın hareketinin tanımlanması açısından oldukça önem arz etmektedir. Çalışma alanında K10°B ve K30°B konumlu fayların düşen bloklarının üzerinde gözlenmiş olup haritalanmışlardır (Şekil 3 ve Şekil 4A).



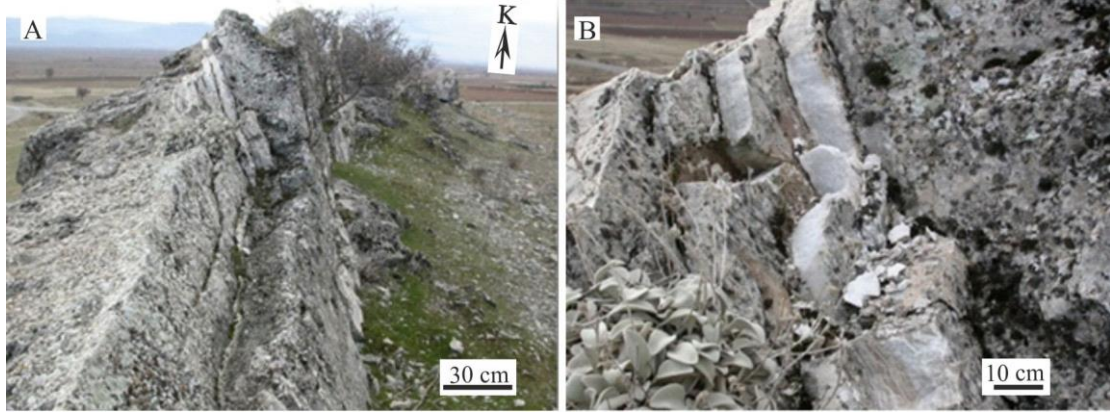
Şekil 3. Urganlı travertenleri ve tektonizma ile ilişkisi (Urganlı travertines and their relationship with tectonism)



Şekil 4. A: Fayönü tabakalı travertenler, B: Tabakalı traverten, ondüleli laminalanma (A:Range front bedded travertines, B: Layered travertine, corrugated lamination)

6.3. Damar Tipi Travertenler (Vein Type Travertines)

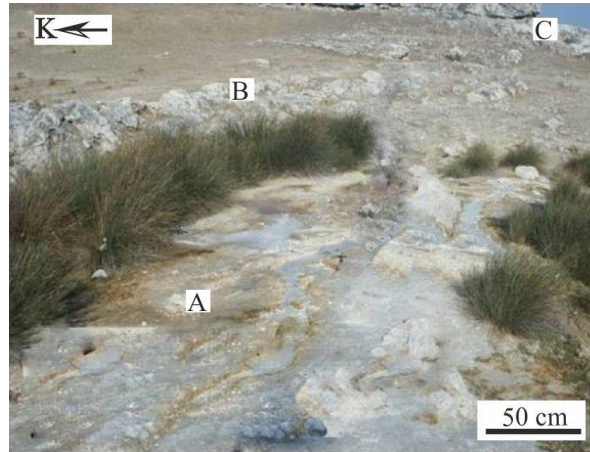
Damar tipi travertenler çalışma alanının hemen hemen her yerinde D-B (70° - 80°), KB-GD (120° - 130°) ve KD-GB (10° - 30°) konumdadır (Şekil 3 ve Şekil 5A). Damar tipi travertenler kırık ya da fay içinde gelişirler. Çoğunlukla aragonit mineralinden yapıdadırlar (Demirkıran, 2008). Çalışma alanında Kuzey 10° Doğu ve Kuzey 30° Batı konumlu 2-5 m kalınlığında ve 20-500 m uzunluğunda yaklaşık 20 adet damar tipi traverten ayrıtlanmış ve haritalanmıştır. Travertende laminalanma kırık düzlemine paralel bantlar şeklindedir (Şekil 5B). Kırığın ya da fayın konumunu ve geometrisini temsil eder.



Şekil 5. A:Damar tipi traverten, B: Damar tipi traverten bantları (A: Vein travertine, B: Vein type travertine bands)

6.4. Sırt Tipi Travertenler (Ridge Type Travertines)

Bir çatlağın doğrultusu boyunca akan termal suların çatlağın her iki tarafına çökeltiltiği traverten tipidir (Altunel, 1996). Sırt tipi travertenler çalışma alanının kuzeydoğusunda sınırlı alanlarda gözlenmiştir (Şekil 3, A). Termal su daha önce çökeltiltiği travertenler üzerinden akarak çatlak doğrultusu boyunca balina sırtı şeklinde sırt oluşturur. Bu tipin gelişebilmesi için çatlağın açılması ve düşeyde bir hareketin olmaması gerekir. Genleşme olmaz ise zamanla çökeltim traverten oluşturan kaynağı kapatır, eğer düşeyde bir hareket olursa fay önü traverten tipi gelişir. Altunel (1996) Denizli de travertenler üzerinde yapmış olduğu bir çalışmada kabuğun açılma hızını hesaplamıştır. Bu tip traverten oluşumu kabuğun gerilim yönlerini vermesi açısından önemlidir. Şekil 6'da çalışma alanında D-B doğrultulu güncel sırt tipi traverten görülür.



Şekil 6. A; Sırt tipi traverten, B; D-B doğrultulu damar tipi traverten, C; K-G doğrultulu damar tipi traverten, (A; Ridge type travertines, B; E-W directional vein type travertine, C; N-E directional vein type travertine)

6.5. Tümsek-Teras Tipi Travertenler (Terraced-Mound Type Travertines)

Tümsek tipi travertenler çalışma alanının kuzeybatısında sınırlı alanlarda oluşmuşlardır (Şekil 7, 8, 9, 10). Bu bölgede tümsek traverten yapıları yer yer teras tipi traverten oluşumu özelliklerini yansıtmaktadırlar (Şekil 9). Teras tipi travertenler eğimli alanlarda oluşurlar. Kaynaktan akan bikarbonatça zengin termal su eğimli alanlarda akarken bir engele çarptığında akım rejimi değişerek (türbülant akım) CO₂ kaçıışı hızlanır bu tip alanda hızlı traverten çökeltimi gerçekleşir zamanla bu traverten çökeltim alanında yay şeklinde set gelişir. Set gerisinde küçük gölsel bir alan oluşur (Şekil 9). Bu gölsel alanda akım rejimi laminar olup dolayısıyla CO₂ kaçıışı türbülant rejime göre daha düzenlidir. Bu düzenli kaçış set gerisinde yani havuz içinde düzgün yatay laminalanmalı traverten geliştirir. Set üzerinde su kalınlığı azaldığı için suyun akım hızı artar hız artınca türbülant akım oluşur. Türbülant akım CO₂ kaçışını artırır. Bu durumda CaCO₃ çökeltim hızı arttırarak set üzerinde hızlı bir traverten duvarı gelişimi olur. Set ilerisinde set duvarı boyunca çağlayarak akan suda CO₂ kaçıışı da hızlı olacağından set duvarının önünde ondüleli tabakalanmalı traverten gelişir (Şekil 10).

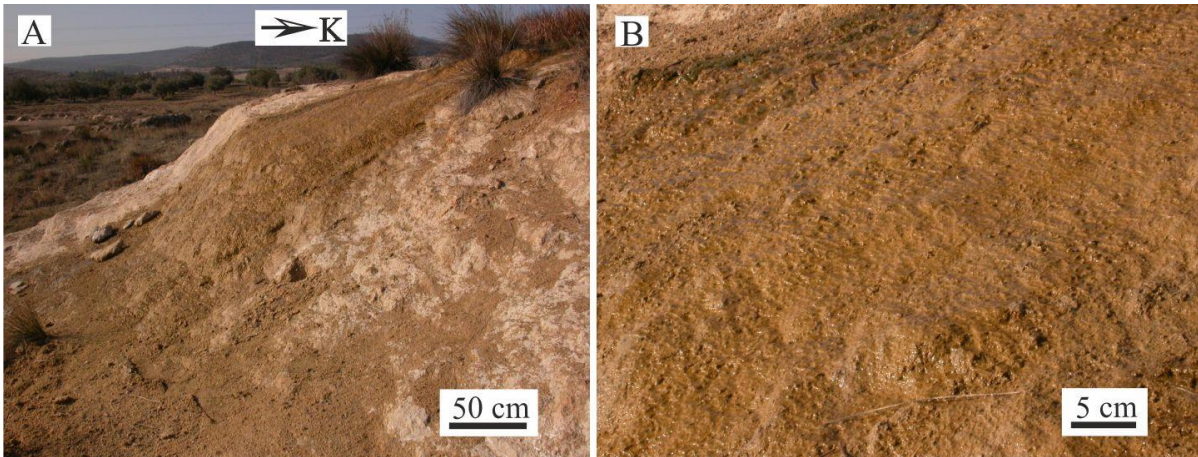
Tümsek tipi travertenler suyun yamaç aşağı akması sırasında, bünyesinde ki CaCO₃'ü çökeltir. Zamanla yamaç önünde tümsek oluşur. Kaynağın debisinin az olması nedeniyle su çağlayarak değil, sızarak akar. Su zamanla oluşan bu tümseği yalayarak akar bu akış tümsek çevresinde ondüleli bir tabakalanma oluşturur. Tümsek üzerinde

ise kaynak ağzı çıkan termal su kanal tipi traverten oluşturarak cazibesi boyunca akar ve zamanla kaynak ağzı tümsek üzerinde yer değiştirerek tümseğin gelişimini sağlar (Şekil 9, 10).

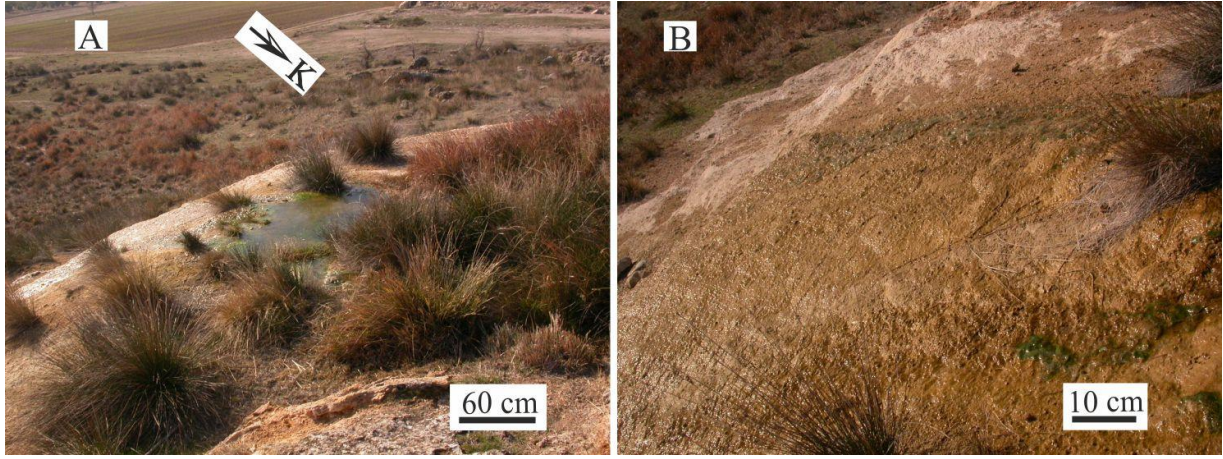
Bu tip travertenler bir kaynaktan çıkan termal suyun kaynak etrafına traverteni çökeltmesiyle oluşmuşlardır (Şekil 9 ve Şekil 10A). Kaynak tümsek içerisinde sürekli yer değiştirerek tümseğin gelişimini sağlamıştır. Tümsek yüzeyinde suyun yüzeyi yalayarak akması nedeniyle ondüveli bir yapı gelişmiştir (Şekil 10). Hemen kuzeyindeki doğu batı konumlu faya paralel olarak üç farklı alanda geliştiği belirlenmiştir (Şekil 10B). Çalışma alanının bu tümsek ve teras tipi travertenler doğu batı doğrultulu fay zonunun hemen güneyinde oluşmuşlardır Fayın doğrultusunu vermesi açısından ilginçtir (Şekil 3).



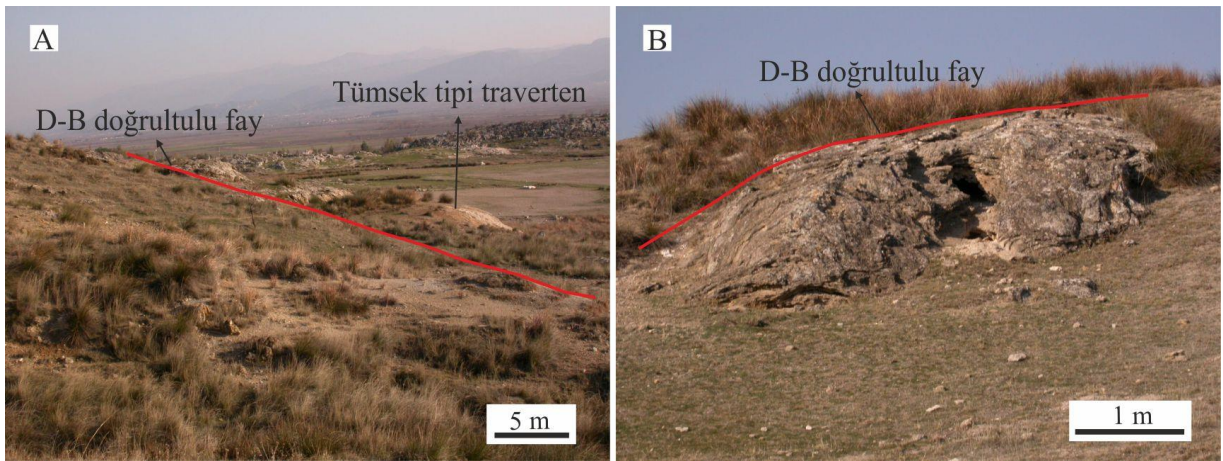
Şekil 7. Teras-tümsek tipi traverten. Tümseğin kenarı boyunca set ve set gerisinde de kurumuş teras havuzu görülmektedir. (Terrace-mound type travertine. Along the edge of the mound, the embankment and the dried terrace pool can be seen behind the embankment)



Şekil 8. Set önü ondüveli tabakalanma (Set front, corrugated layering)



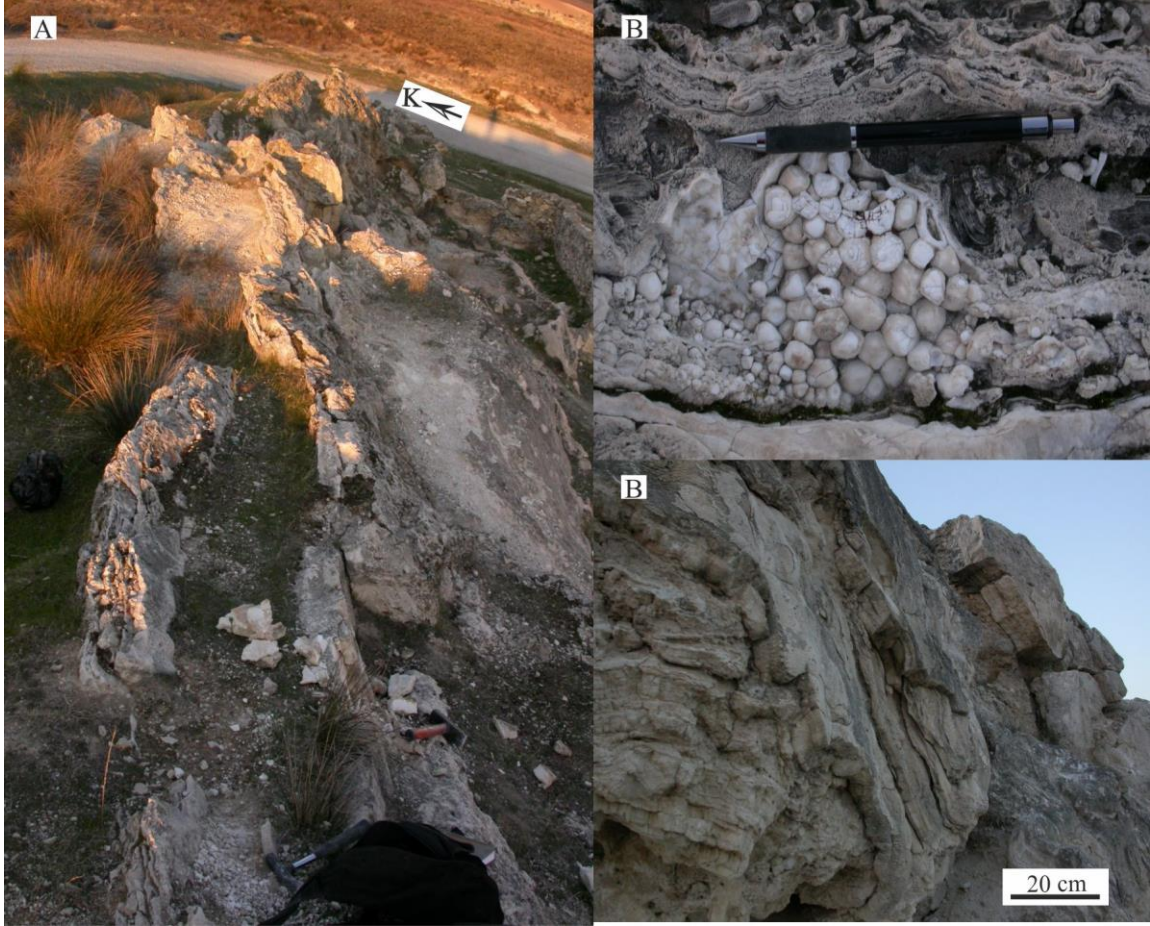
Şekil 9. Su debisinin azalmasıyla gelişmiş tümsek. A: Tümsek üzerinde çok düşük debi ile akan kaynak. B: Tümsek duvarı boyunca sızan HCO_3 'ça zengin su. (A mound developed with a decrease in water flow. A: Source flowing with very low flow over the mound. B: HCO_3 -rich water seeping through the mound Wall)



Şekil 10. Teras-tümsek tipi traverten (Terraced-mound travertines)

6.6. Kanal Tipi Travertenler (Channel Type Travertines)

Bir kaynaktan çıkan termal suyun kendi cazibesi ile aktığı yüzeyde çökeltiği travertenlerdir (Altunel 1996). Suyun akım rejimi kanal içinde lamineli iken kanal duvarlarına yakın kesimde türbülanslıdır. Dolayısıyla kanal merkezinde çökeltim hızı yavaş kanal duvarlarında hızlı olacaktır. Bu nedenle bu tip travertenlerde kanal duvarların da ondüleli bir laminalanma gelişirken, kanal merkezinde çok düzgün laminalanmalı yapı gelişir. Denizli Pamukkale'de olduğu gibi güncel fayların belirlenmesinde önemli olabilirler. Çalışma alanında damar tipi travertenlerin üzerinde (Şekil 11) ve çalışma alanının kuzey doğusunda sınırlı alanlarda gözlenmişlerdir (Şekil 3). Bir kaç m^2 'lik bir alanda yayılım gösterdikleri için Şekil 3'de verilen haritaya işlenmemiştir.



Şekil 11. Kanal tipi traverten. A: Kanal tipi traverten üstten görünüş. B: Kanal içerisinde su sıcaklığı ve farklı akım rejimlerinde oluşmuş yapılar. C: Kanal duvarı boyunca akan suyun kanal duvarı üzerinde çöktüğü travertenler

7. Derin Elektrik Sondajlar ve Mekanik Sondajlar (Vertical Electrical Soundings and Drillings)

Çalışma alanında gerek Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğünün gerekse özel firmaların jeotermal etüt amaçlı yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmının derlenmesi ile bölgenin taban morfolojisine yönelik veriler elde edilmiştir. Bu veriler bu çalışma kapsamında elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Yüksek pozitif bir uyumluluk olduğu gözlenmiştir. Tablo 1’de bölgede yapılmış derin elektrik sondaj ve mekanik sondaj çalışmalarından elde edilmiş veriler, Şekil 3’de ise lokasyonları verilmiştir.

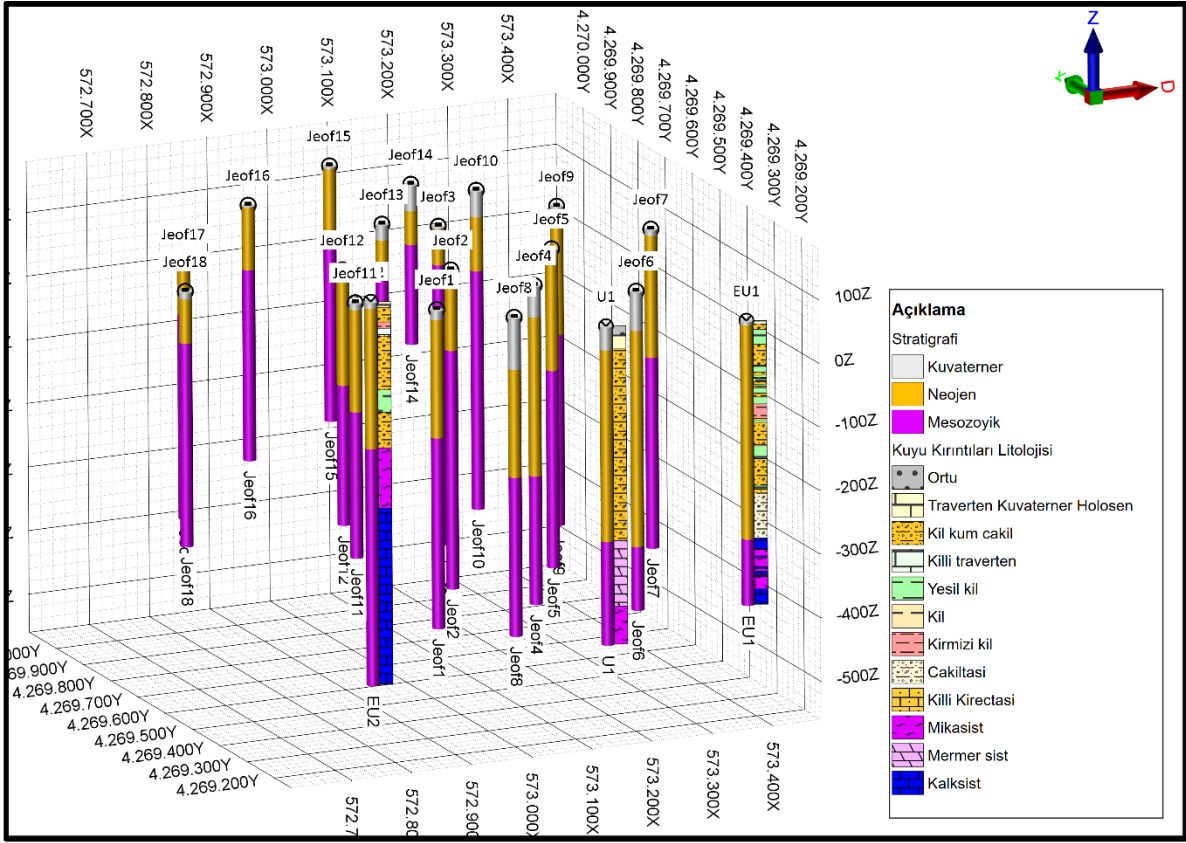
Tablo 1. Derin elektrik sondaj (jeof) ve mekanik sondaj (U ve EU) verileri
(Vertical electric drilling (jeof) and drilling (U ve EU) data)

Kuyu no	Açıklama	Koordinatlar			Litoloji								Stratigrafi					
		UTM-ED50- 6 derece			(Sondaj metrajları metreden metreye)								(Sondaj metrajları metreden metreye)					
		x	y	z	Traverten		Kil kum Çakıl		Mermer-Şist		Şist		Kuvaterner		Neojen		Mesozoyik	
m.'den	m.'ye				m.'den	m.'ye	m.'den	m.'ye	m.'den	m.'ye	m.'den	m.'ye	m.'den	m.'ye	m.'den	m.'ye		
jeof1	DES	572967	4269407	80	0	14	14	200	200	400	400	500	0	14	14	200	200	500
jeof2	DES	573063	4269567	99	0	3	3	125	125	190	190	500	0	3	3	125	125	500
jeof3	DES	573133	4269767	115	0	3	3	59	59	400	400	500	0	3	3	300	300	500
jeof4	DES	573158	4269471	83	0	48	48	298	298	400	400	500	0	48	48	298	298	500
jeof5	DES	573249	4269608	85	0	8	8	190	190	500	-	-	0	8	8	125	125	500
jeof6	DES	573291	4269391	101	0	60	60	400	400	450	450	500	0	60	60	400	450	500
jeof7	DES	573428	4269639	101	0	8	8	200	200	400	400	500	0	8	8	200	200	500
jeof8	DES	573063	4269567	99	0	80	80	250	250	500	-	-	0	80	80	250	250	500
jeof9	DES	573133	4269767	115	0	14	14	200	200	400	400	500	0	14	14	200	200	500
Jeof10	DES	573250	4269886	127	0	40	40	125	125	400	400	500	0	40	40	125	125	500
Jeof11	DES	572869	4269489	85	0	9	9	170	170	400	-	-	0	9	9	170	170	400
Jeof12	DES	572914	4269635	87	0	2	2	180	180	400	-	-	0	2	2	77	77	400
Jeof13	DES	573058	4269808	89	0	23	23	83	83	400	-	-	0	23	23	83	83	400
Jeof14	DES	573160	4269927	90	0	40	40	93	93	250	-	-	0	40	40	93	93	250
Jeof15	DES	573073	4270033	88	0	3	3	100	100	400	-	-	0	3	3	100	100	400
Jeof16	DES	572901	4269952	85	0	1	1	100	100	400	-	-	0	1	1	100	100	400
Jeof17	DES	572710	4269768	86	0	3	3	78	78	400	-	-	0	3	3	78	78	400
Jeof18	DES	572656	4269642	85	0	10	10	80	80	400	-	-	0	10	10	80	80	400
U1	KUYU	573178	4269252	75	0	36	36	337	337	440	440	500	0	36	36	337	337	500
Eu1	KUYU	573389	4269203	74	0	5	5	342	342	446	-	-	0	5	5	342	342	446
Eu2	KUYU	572891	4269481	85	0	9	9	230	230	602	-	-	0	9	0	230	230	602

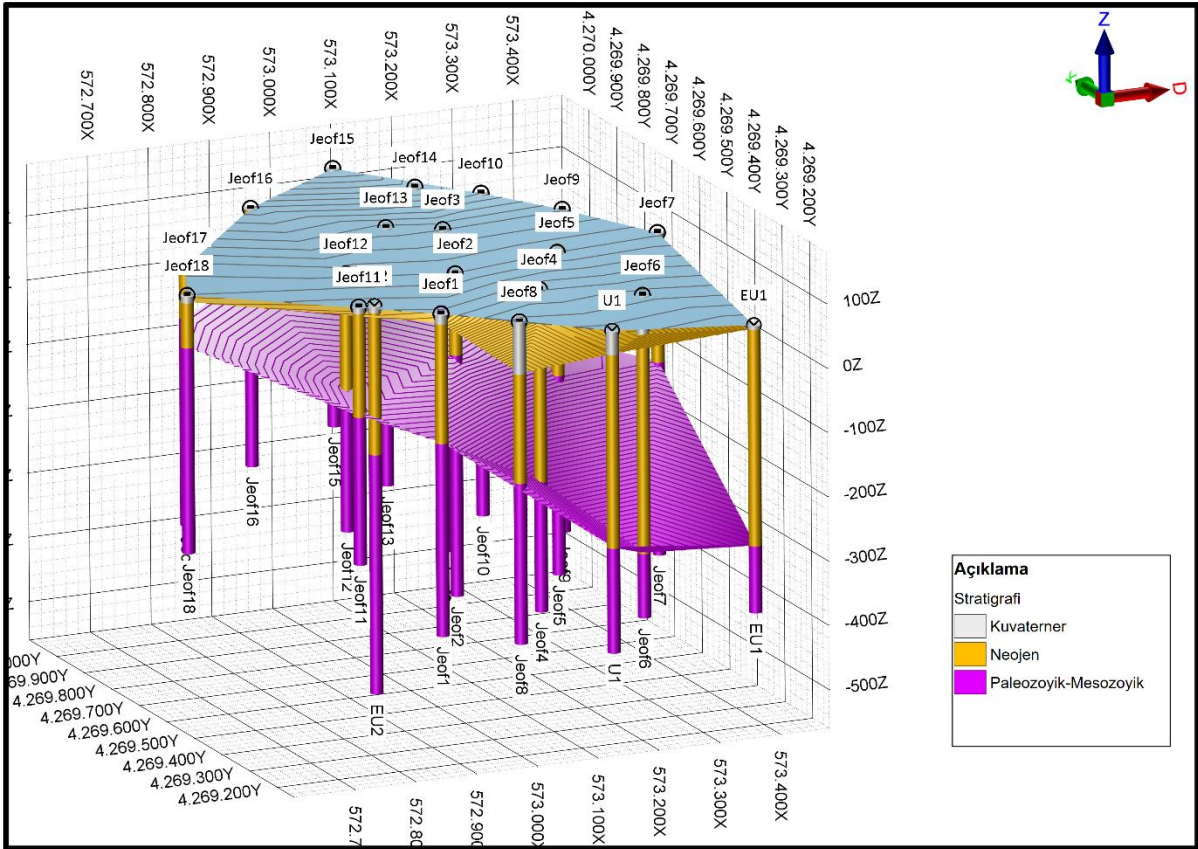
Derin elektrik sondaj verileri üç boyutlu ortamlarda değerlendirildiğinde Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı birimlerin çalışma alanının kuzey batısına doğru yükseldiği belirlenmiştir (Şekil 12, 13, 14 ve 15). Şekil 12'de derin elektrik sondaj ve mekanik sondaj logları verilmiştir.

Yapılan bu üç boyutlu değerlendirmede ile Paleozoyik-Mesozoyik'in tavan düzleminin çalışma alanının güney doğusuna doğru derinleştiği görülür. Bu durum formasyon düzlemlerini ve stratigrafik model oluşturulduğunda daha net bir şekilde ortaya çıkar (Şekil 13 ve Şekil 14). Elde edilen verilerle birlikte çalışma alanının stratigrafik modelini oluşturulduğunda ise traverten ve Neojen yaşlı birimin kalınlığının, çalışma alanının güneyine doğru arttığı görülebilir (Şekil 14).

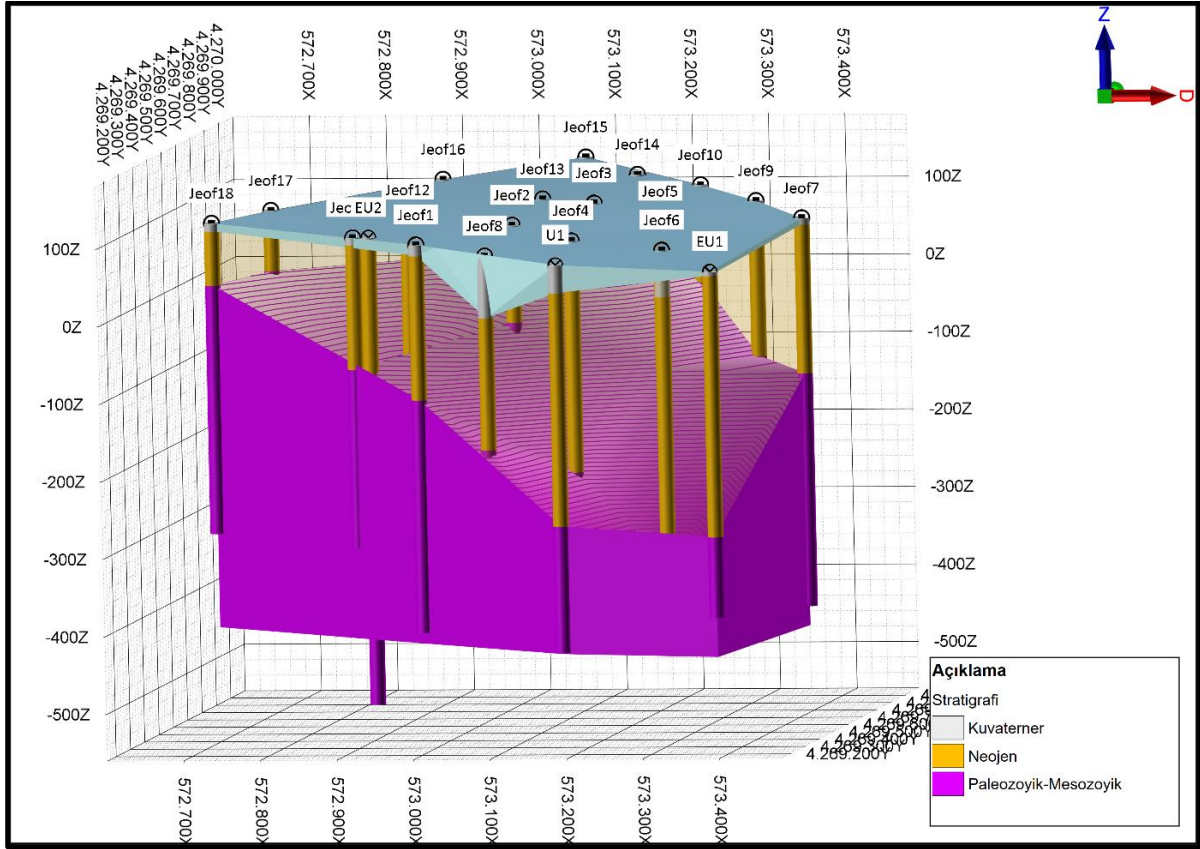
Çalışma alanında traverten tipleri yardımıyla belirlenen tektonik hatlar, Mesozoyik'in taban morfolojisiyle karşılaştırıldığında (Şekil 15) yüksek bir uyumluluk gözlenir. Çalışma alanı Doğu-Batı fayların etkisiyle Kuzeye doğru, Kuzey-Güney fayların etkisiyle de Batıya doğru yükselmiştir.



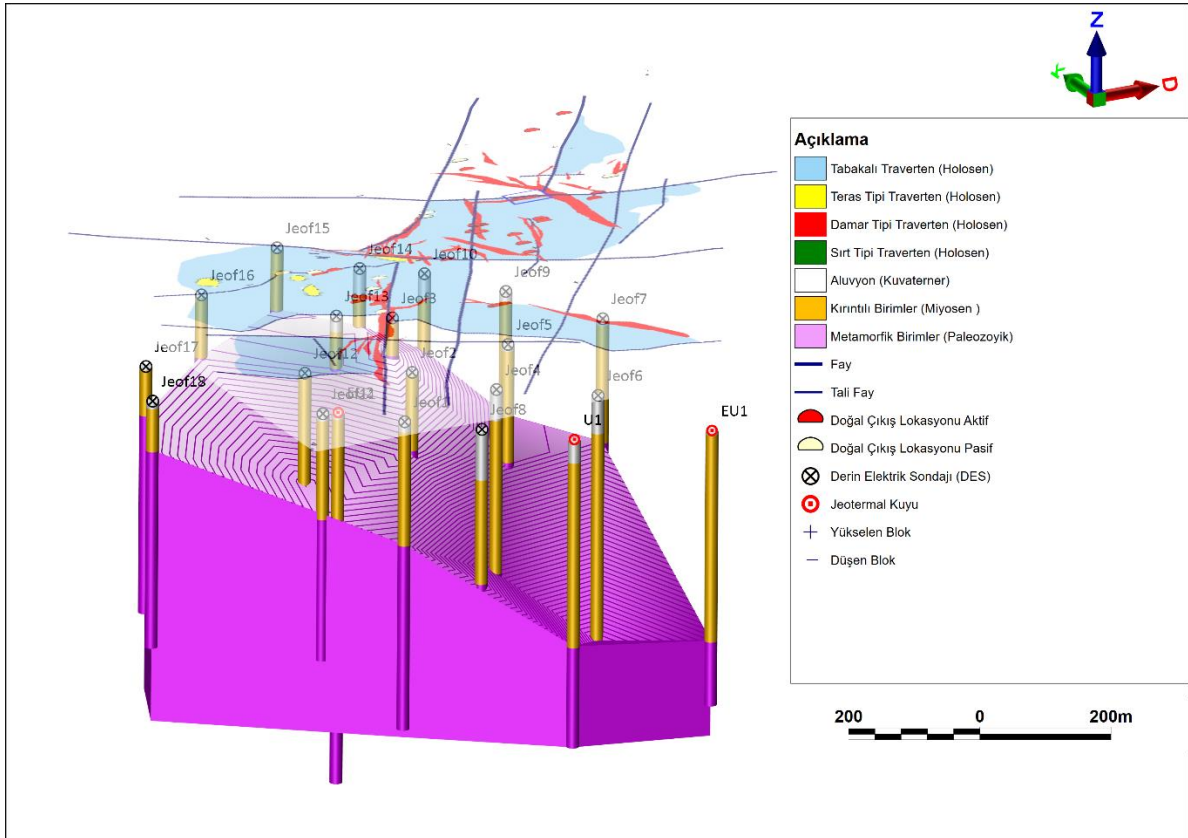
Şekil 12. Çalışma alanında yapılan derin elektrik sondajların ve mekanik sondajların logları
(Logs of vertical electrical sounding and drillings in the study area)



Şekil 13. Çalışma alanında derin elektrik sondajların ve mekanik sondaj verilerine göre çizilmiş formasyon düzlemleri
(Formation planes drawn according to vertical electrical sounding and drilling data in the study area)



Şekil 14. Çalışma alanın stratigrafik modeli (Stratigraphic model of the study area)



Şekil15. Urganlı traverten tektoniği ve Mesozoyik tavan düzlemi ilişkisi (Relationship between Urganlı travertine tectonics and Mesozoic roof plane)

8. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Traverten oluşum tipleri tektonizma ile yakından ilişkilidir. Özellikle termojen kökenli traverten oluşumları için jeotermal bir aktiviteye ihtiyaç vardır. Jeotermal aktivite de tektonizmanın kontrollüdedir. Su derine inerken ortamda var olan CaCO_3 çözün bünyesine alır ve daha sonra ısınıp yeryüzüne taşınır. Bu taşınma tektonik hatlar boyunca olur. Suyun kat ettiği yol güzergâhı boyunca uygun termodinamik ortamlarda traverten çöker. Bu durumda tektonizmanın denetlediği morfolojik ortamların özelliklerine göre traverten tipleri oluşur. Traverten çökelişini kontrol eden etmenler; su ısı, sudaki CO_2 kısmi basıncı, suyun HCO_3 miktarıdır. Traverten tiplerinin oluşumunu kontrol eden etmenler ise; çökeliş ortamının morfolojik özellikleri, termal suyun akım rejimi, CO_2 'nin ortamdaki ayrılma hızıdır.

Çalışma alanında tümsek ve teras tipi travertenler normal fayların düşen bloklarının üzerinde gelişmiştir. Çalışma alanının Kuzeybatısında oluşmuşlardır. Bu tümsek tipi travertenlerin hemen kuzeyinde normal fay gözlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 3). Damar tipi travertenler tüm çalışma alanında yaygındır. 10° - 30° , 70° - 80° ve 120° - 130° doğrultulu faylar boyunca çökelmiştir. Arazi gözlemlerinde Kuzey güney doğrultulu fayların Batı bloklarının yükseldiği, Doğu bloklarının düştüğü, Doğu-Batı doğrultulu fayların ise Güney bloklarının düştüğü Kuzey bloklarının yükseldiği belirlenmiştir. Bu fayların etkisiyle çalışma alanının Kuzeybatısı yükselmiş Güneydoğusu düşmüştür (Şekil 14). Yer yer Doğu-Batı doğrultudaki damarlarda Kuzeye doğru dönüşler belirlenmiştir. Bu durum bu fayların Doğu-Batı konumlu faylardan sonra geliştiğinin bir göstergesidir. Ancak bazı Doğu-Batı traverten damarlarının Kuzey-Güney doğrultulu damarları kestiği de gözlemlenmiştir. Kuzey-Güney yönlü sistemin gelişiminden sonrada Doğu-Batı doğrultulu sistemin çalıştığını ortaya koymaktadır. Fay önü travertenleri yine tüm çalışma alanı boyunca yaygındır. Arazinin güneydoğusuna doğru kalınlığı artar güneydoğuda küçük yersel düzlüklerde çökelmiştir. Çalışma alanının kuzeydoğusunun yükseldiğini ortaya koyan bir veri olarak da değerlendirilmiştir (Şekil 14 ve Şekil 15). Sırt tipi travertenler çalışma alanının kuzey doğusunda gözlenmiş ve haritalanmıştır. Bu traverten tipinde sırt, Doğu-Batı konumludur. Bu tip travertenin oluşum mekanizması çalışma alanında Kuzey-Güney yönlü bir genişlemeyi ifade etmektedir (Şekil 15).

Elde edilen veriler sahanın traverten oluşum başlangıcında kuzey-güney yönlü bir genişlemenin varlığını ortaya koymaktadır. Bu rejimde bölgede D-B doğrultulu damar tipi travertenler gelişmiştir (Şekil 3). Bu travertenlerle birlikte D-B doğrultulu fayların düşen bloklarında tümsek tipi travertenler gelişmiştir (Şekil 3, 7, 8, 9, ve 10). Daha sonraki bir dönemde, genişleme Doğu-Batı yönlü gelişerek Kuzey-Güney doğrultulu traverten damarlarının çökelişine neden olmuştur (Şekil 3, 5A, 5B). Yakın geçmişte ise Kuzey-Güney yönlü genişleme etkisini sürdürdüğünü D-B doğrultulu sırt tipi travertenlerin gelişimiyle anlaşılmaktadır (Şekil 6). Ayrıca aktif doğal çıkışların konumuna dikkat edildiğinde D-B doğrultulu yapısal hatların üzerinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 3). Bu durum bölgede Kuzey-Güney yönlü genişlemenin son dönemde geliştiği ve etkisini sürdürdüğü ileri sürülebilir. Derin elektrik sondaj ve mekanik sondaj verileri ile Paleozoyik-Mezozoyik'in tavan düzleminin morfolojisi incelendiğinde yine Kuzey-Güney ve Doğu-Batı faylarının etkisinde Paleozoyik-Mezozoyik temeli çalışma alanının kuzey batısına doğru yükseldiği, güneydoğusuna doğru düştüğü saptanmıştır (Şekil 14 ve 15).

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akdeniz, N., Konak, N., Öztürk, Z., Çakır, M., H., 1986. İzmir-Manisa dolaylarının jeolojisi, M.T.A, Ege Bölge Müdürlüğü Raporları, Demirbaş No: Je179, 10-30, 80-86.
- Altunel, E., 1996. Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri Yaşları Ve Neotektonik Önemleri, Bull. Min.Res.Exp.Inst.no.118, P. 47-63.
- Altunel, E., Hancock, P. L., 1993, Morphology and Structural setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey: Geological Journal, 28, 335-346.
- Altunel, E., Uysal, T. 2005. Eski büyük depremleri yaşandırmada travertenlerin kullanılması; Aktif Tektonik Araştırma Grubu 9. Toplantısı.
- Avşaroğlu, M., 1968 Türkiye Kaplıcaları ve İçmeleri Kılavuzu, Güneş Matbaacılık, T.A.Ş Turizm ve Tanıtma Bakanlığı, Ankara.
- Bargar, K.E., 1978, Geology and thermal history of Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, Wyoming: U.S.Geol.Surv.Bull., 1444.

- Brogi, A., Capezzuoli, E., 2009. Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure-ridges at Terme S. Giovanni, Terme, Italy. *International Journal of Earth Sciences* 98, 931–947.
- Büyüksahin S., 2016, Urganlı (Turgutlu, Manisa) ve Yakın Çevresinin Jeotermal Suların Hidrojeolojik Modellemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 84 S., Isparta.
- Ceylan M. A., 1998. Urganlı Termal Kaynakları (Ahmetli-Manisa), *Türkiye Coğrafya Dergisi*, 33, s., 537-549.
- Chafetz, H.S. ve Folk, R.L., 1984, Travertines: de- positional morphology and the bacterially constructed constituents: *J.Sedim. Petrol.*, 54,289-316.
- Çağlar, K.Ö., 1948. Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü yayını, Seri: B, No: 11, Fasikül 2, Ankara.
- Demirkıran Z., 2000, Geochemical Properties of Travertines Around Kaklık-Denizli Region, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, PhD Thesis, Unpublished, 212 p., İzmir.
- Ercan, T., Matsuda J., Nagao, K. ve Kita, I., 1994. Anadolu'daki Sıcak Sularda Bulunan Doğal Gazların İzotopik Bileşimleri ve Karbondioksit Gazının Enerji Açısından Önemi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, İzmir, 197-206, 17-22 Ekim.
- Filiz, Ş. (1982): Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O-18, H-2, H-3, C-13 izotoplarıyla incelenmesi. Doçentlik Tezi, E.Ü.Y.B.F., 1-95, İzmir (Yayımlanmamış).
- Ford, T., D. and Pedley, H., M. 1996. A Review of Tufa and Travertine Deposits of The World, *Earth Science Reviews* 41, 117-175.
- Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Çakir, Z., 1999. Travertines: using travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology* 21, 903–916.
- İşintek İ., Yılmaz Ö., Erdoğan, B., 2009a. Salihli Yöresi Traverten Yataklarının Fasiyes Analizi ve Ekonomik Potansiyeli. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı.
- İşintek İ., Erdoğan B., Yılmaz Ö., Turhan E., 2009b. Killik Travertenleri Denizli Kaklık ile Salihli Manisa Travertenlerinin Batı Türkiye Karbonat Fasiyes Özelliklerinin Kıyaslanması. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı.
- İşintek İ., Yılmaz Ö., Erdoğan B., 2010a. Dombaylı Kızılhavlu Salihli Manisa Batı Türkiye Traverten Yataklarının İç Stratigrafisi Fasiyes Analizi ve Ekonomik Potansiyeli. 2.Uluslararası Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi.
- İşintek İ., Yılmaz Ö., Erdoğan B., Turhan E., 2010b. Killik Travertenleri Denizli Kaklık ile Dombaylı Kızılhavlu Salihli Manisa Batı Türkiye Travertenleri Arasındaki Benzerlikler ve Farklılıklar Çökeltme Ortamları Ve Koşullarının Karşılaştırılması. 2.Uluslararası Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi.
- Karamandereci, İ.H. 1972. Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve jeotermal olanakları hakkında rapor, M.T.A. Derleme Rapor No: 5462 (yayımlanmamış), Ankara, 53s.
- Mc Enzie, D.B., 1978, Active tectonics Alpine Himalayan Belt: The Aegean Sea and Surrounding regions. *Geophys. J.R. Astr. Soc.* 55, 217-254.
- Micromine Origin and Beyond 2022, version 2022 (22.0.478.2) Micromine Pty Ltd.
- Pentecost, A., 1995. The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor: *Quaternary Science Review*, 14, 1005-1028.
- Sanders, J. E., and Friedman, G.M., 1967, Chapter 5 Origin and Occurrence of Limestones: *Developments in Sedimentology*, 9, 169-265.
- Selim, H., Yanık, G. 2005. Cambazlı (Turgutlu –Manisa) çatlak-sırt tipi traverten oluşukları, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu* 9. Toplantısı.
- Selim, H., Yanık, G. 2009. Development of the Cambazlı (Turgutlu/Manisa) fissure-ridge-type travertine and relationship with active tectonics, Gediz Graben, Turkey. *Quaternary International* 199, 157–16.
- Sengor, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981 Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonics Approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Sözbilir, H., 1989, Büyük Menderes Grabeni Sultanhisar Kuyucak (Aydın) civarının jeotektoniği, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 167s, İzmir.
- Seyitoğlu, G. ve Scot, B. C., 1991. Late Senozoic crustal extension and basin formation in West Turkey, *Geol.Mag.*, 128, 155-166.
- Sözbilir, H., (1997). Stratigraphy and Sedimentation Of The Tertiary Sequences In The Northeastern Denizli Province (Southwest Turkey). *Applied Sciences of DEÜ*, Thesis of PhD. P.195.
- Tarcan, G., 1995. Hydrogeological study of the Turgutlu hot springs, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 51-170, (1995).
- Tarcan, G., Filiz, Ş., 1998. Turgutlu (Manisa) kaplıcaları sıcak ve mineralli sularındaki sodyum bikarbonat zenginleşmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 52, 42-49.
- Tarcan, G., Filiz, Ş., Gemici, Ü., 1998. Salihli (Manisa) jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemesi. *Türkiye Petrol Jeologları Dergisi*, Cilt: 10, 61-86.
- Tarcan G., Gemici, Ü., 2005. Effects of the contaminants from Turgutlu-Urganlı thermomineral waters on cold ground and surface waters, *Springer Science, Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74, 485-492.
- Ürgün, S., 1966. Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve termal suların hidrojeolojik etüdü, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 4679, (yayımlanmamış).
- Vural S., 2009, Urganlı (Turgutlu-Manisa) Jeotermal Alanının Jeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özellikleri, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 158 S., Kocaeli.
- Yenal, O., Usman, N., Bilecen, L., Kanan, E., 1975. Türkiye Maden Suları, Ege Bölgesi, Cilt No: 3, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü, 256-267.
- Yeşilova Ç. , Gülyüz E. , Huang C. , Shen C. 2019. Giant tufas of Lake Van record lake-level fluctuations and climatic changes in eastern Anatolia, Turkey. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533, 109226.
- Yeşilova Ç. , Yeşilova P. G. , Açılan M. , Yu T. , Shen C. 2021. U-Th ages and facies properties of Edremit travertines and tufas, Van, Eastern Anatolia: implications for the neotectonics of the region. *Geological Quarterly*, 65 (2), 1-20.
- Yılmaz, Ö., 2008, Salihli Yöresi Traverten Yataklarının Fasiyes Analizleri ve Ekonomik Potansiyeli, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 189 S., İzmir.
- Yılmaz, Y., (2000). Active Tectonics of the Aegean Region, Seismicity of West Anatolian Symposium, p3-14.

Yılmaz, S., Pasvanođlu, S., Yakabađ, A., Vural, S., 2008. Urganlı Jeotermal Alanının (Turgutlu-Manisa) Jeolojisi ve Sondaj Verileri Işığında Yeniden Değerlendirilmesi, Termal ve Maden Suları Konferansı, Devlet Su İşleri Genel Múdürlüđü, Afyon, 151-165.



PANDEMİ SÜRECİNDE ŞEHİR İÇİ YOLCU TAŞIMA SAYILARININ VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ: KAYSERİ ÖRNEĞİ

Gülçin CANBULUT*

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Talep,
Pandemi,
Korelasyon,
Lineer Regresyon,
Yapay Sinir Ağları

Öz

Son aylarda tüm dünyayı kasıp kavuran pandemi; ülkemizi de oldukça etkilemektedir. Pandemi birçok sektörde krize yol açtığı gibi, toplu taşıma sektöründe de oldukça etkili olmaktadır. Toplu taşıma sistemlerinde taşınan yolcu sayıları, pandemi nedeniyle büyük miktarda azalış göstermektedir. Bu çalışmada, pandeminin devam etmesi durumunda, gerçekleşecek olan taşınacak günlük yolcu sayılarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle taşıma sistemlerinin daha optimize edilmiş bir şekilde çalışmalarının sağlanacağı düşünülmektedir. Bu durumun da toplu taşıma sektörünün daha verimli sonuçlar elde etmesine olanak sağlaması beklenmektedir. Ülkemizde ilk vaka, diğer ülkelere nazaran daha ilerleyen tarihlerde görülmüştür. İlk vakanın daha önce zamanlarda görüldüğü bazı ülkelerdeki günlük vaka sayıları baz alınarak en fazla benzerlik gösteren ülke korelasyon katsayısı yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Korelasyon katsayısına göre belirlenmiş olan ülkenin vaka sayıları temel alınarak sonraki günler için ülkemizdeki vaka sayıları tahmin edilmiştir. Vaka sayılarının tahmin edilmesinde ise; WEKA yazılımı yardımıyla Lineer Regresyon ve Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerle yapılan tahminlerin hata değerlerinin karşılaştırılması sonucunda Yapay Sinir Ağları ile elde edilen tahminlerin daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu yöntemle elde edilmiş vaka sayısı değerleri baz alınarak gelecek günlerde karşılaşılabilecek yolcu sayıları tahmin edilmiştir.

ESTIMATION URBAN TRANSPORT PASSENGER NUMBERS USING DATA MINING METHOD DURING THE PANDEMIA: THE SAMPLE OF KAYSERİ

Keywords

Demand,
Pandemia,
Correlation,
Linear Regression,
Artificial Neural Network

Abstract

The pandemic that has taken the whole world by storm in recent months; also affects our country considerably. The pandemic causes crises in many sectors, as well as in the public transportation sector. The number of passengers transported in public transport systems decreases significantly due to the pandemic. In this study, it is aimed to estimate the number of daily passengers to be transported if the pandemic continues. The first case in our country was seen in later dates compared to other countries. Based on the number of cases in the countries, the country with the most similarity will be tried to be determined. In order to calculate this similarity ratio, the correlation analysis method will be used. Based on the number of cases in the determined country, the number of cases in our country will be tried to be estimated for the next days. In estimating the number of cases; Linear Regression and Artificial Neural Networks method will be used with the help of WEKA software. Comparison of the errors of the estimates made by these methods will be made. The number of passengers to be encountered in the coming days will be estimated based on the values of the number of cases obtained by the method with fewer errors.

Ahntı / Cite

Canbulut, G. (2022). Pandemi Sürecinde Şehir İçi Yolcu Taşıma Sayılarının Veri Madenciliği Yöntemi İle Belirlenmesi: Kayseri Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1043-1053.

* İlgili yazar / Corresponding author: gcanbulut@nny.edu.tr, +90-352-324-0000

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
G.Canbulut, 0000-0001-7106-4528	Başvuru Tarihi / Submission Date	21.04.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date	11.02.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	14.04.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

İnsanlık tarihinden dahi daha eski bir tarihe sahip olduğu iddia edilen mikroorganizmalar insanları; birçok alanda etkilemektedir. Bu küçük canlıların sebep olduğu hastalıklar insanlar arasında hızlı bir şekilde yayılarak, toplulukları birçok konuda değişiklikler yapmaya zorlamaktadır. Tarihte insanlar veba, çiçek, tifüs, tifo, kolera, influenza, sıtma gibi birçok bulaşıcı hastalıklara maruz kalmıştır.

Son aylarda ise tüm dünyayı etkileyen Covid19 adlı virüsün sebep olduğu hastalık, ülkemizi de birçok alanda olumsuz olarak etkilemiş ve etkilemeye de devam etmektedir. Pandemi olarak adlandırılan bu salgın birçok sektörde krize sebep olmaktadır. Şehir içi toplu taşıma sektörü de toplu taşıma araçlarında sosyal mesafenin sağlanmasının zorluğu nedeniyle oldukça fazla etkilenen sektörlerdendir.

Toplu taşıma şirket yöneticileri bu krizi yönetebilmek amacıyla; birtakım tedbirleri almak zorunda kalmaktadır. Bu tedbirleri alabilmeleri için ise; gelir ve giderlerini doğru bir şekilde tahmin edebilmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla bu aşamada belirsizlik içeren taşınacak yolcu sayısı parametresinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Literatürde toplu taşıma sektöründe yolcu sayısının tahmini için birçok yöntem kullanılmıştır [1-8]. Mevcut belirsizliklere ek olarak, yaşanan pandemi sürecinde gerekli veri sayısının azlığı geleneksel tahmin yöntemlerinin uygulanmasını daha da zorlaştırmaktadır. Ayrıca yapılan literatür taramasında şehir içi toplu taşıma sistemlerinin taşınacak yolcularının tahmin edilmesi ile ilgili uygulamalar, diğer toplu taşıma sistemlerine nazaran daha dar kapsamda kalmaktadır.

Suryani vd (2010) havayolu yolcu sayısını tahmin etmek ve gelecek talebi karşılayacak yolcu terminal kapasitesi ile alakalı bazı senaryoları değerlendirecek bir model geliştirmişlerdir. Sistem dinamikleri yapısı; modeli kurmak, sistem performansını artırmak amacıyla yeni senaryolar üretmek, analiz etmek amacıyla kullanılmıştır.

Wadud (2011) yapmış olduğu çalışmada yeni bir havalimanı kurulumu için yolcu tiplerini tahmin etmek üzere basit bir modelleme yaklaşımı sunmuştur. Modelde kısıtlı veri ile bütünleşik zaman serileri ve ağırlık merkezi tipinde talep modeli geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu havalimanı için yapılan talep tahmini çalışması daha sonra modeldeki parametreler ve yolcu anketleri kullanılarak revize edilmiştir.

Jiang vd (2020) bass difüzyon modeli ile mevsimsel dalgalanma etkisinde tahminleme yöntemini birleştirerek Bass+BL+mevsimsellik adı altında yeni bir model önermiştir. Önermiş olduğu yöntemi bir havalimanında uygulayarak performansını değerlendirmek istemiş ve önerilen yöntemin diğer klasik yöntemlere nazaran daha kesin sonuçlar elde etmiş olduğunu göstermiştir.

Reddy (2019) çalışmasında aritmetik ve istatistiksel metotların her ikisini de destekleyen R yazılımı aracılığıyla raylı sistem yolcu taleplerinin tahminlerini yapmak üzere bir metot geliştirmiştir. Çalışma R yazılımı ile üstel düzeltme yöntemi kullanılarak nasıl tahmin yapılabileceğini göstermektedir.

Tsai vd (2009) demiryolu yolcu talep tahmini için kısa vadede iki yeni sinir ağı yapısı oluşturmuştur. Önerilen ilk ağ yapısı, ağda belirlenmiş bağlantılar aracılığıyla ayırt edici giriş bilgileriyle ilgilenen çoklu zamansal birim sinir ağıdır (MTUNN). Önerilen ikinci ağ yapısı, birkaç ayrı modelde farklı girdi bilgileri ile ilgilenen paralel topluluk sinir ağıdır (PENN). Ayrı modellerin çıktılarını daha sonra nihai tahminleri elde etmek için entegre edilir. Konvansiyonel çok katmanlı algılayıcı (MLP) de karşılaştırma amacıyla oluşturulmuştur. Sonuçlar hem MTUNN hem de PENN'in çalışmada geleneksel MLP'den daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Ortalama olarak, MTUNN, MLP'ye kıyasla MSE'de %8,1 ve MAPE'de %4,4 iyileştirme elde edebilir. PENN, MLP'ye kıyasla MSE'de %10,5 ve MAPE'de %3,3 oranında iyileşme sağlayabilir.

Zhao vd (2019) yakın zaman verilerinin alaka düzeyinin dikkate alan kısa vadeli demir yolu yolcu talep tahmini için bir hibrit model önermiştir. Model; birinci aşamada orijinal zaman serilerinin temel bileşene (PC) ve sinyal işleme prosedürü olarak benimsenen tekil spektrum analizi (SSA) yöntemiyle birkaç ayrıntılı bileşene (DC) ayrıştırılması; ikinci aşamada tek boyutlu zaman serilerinin haftalık çapraz korelasyon matrislerine dönüştürülmesiyle dalgacık paketi ayrışması (WPDCNN) ile tasarlanmış evrişimli sinir ağı aracılığıyla PC'nin tahmini; üçüncü aşamada ise destek vektörü regresyon (SVR) yöntemi ile DC'lerin tahmini olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

Çelebi vd (2019) demir yolu taşımacılığında kısa vadede yolcu talep tahmin modellerini geliştirme için yapay sinir ağlarının kullanımını önermiştir. Çok katmanlı algılayıcı (MLP) modeli, yalnızca basit mimarisi nedeniyle değil, aynı zamanda yaklaşım problemlerini çözmede kanıtlanmış başarısı nedeniyle tercih edilmektedir. Zaman dilimindeki önemli mevsimselliği ortadan kaldırmak için her bir zaman dilimi diğerlerinden bağımsız olarak ele alınır ve her biri için günlük verilere dayalı yapay bir sinir ağı geliştirilir. 74 farklı zaman aralığı ile ilgili olarak, 74 farklı sinir ağı geçmiş verilerle eğitilir. Zaman aralıklarından birinde üç açıklayıcı örnek gösterilir ve tahmin modellerinin performansı, ortalama kare hatalarına (MSE) ve ortalama mutlak yüzde hatalarına (MAPE) dayalı olarak değerlendirilir.

Tsai vd (2005) demiryolu yolcu talebini tahmin etmek için iki ayrı dinamik yapay sinir ağı yapısı geliştirmiştir. İlk sinir ağı yapısı, zaman serisi tahmininde otoregresif model fikrini takip eder ve doğrusal olmayan bir otoregresif model oluşturur. Ek olarak, gereksiz girdileri ve eğitim örneklerini ortadan kaldırmak için iki deney test edilir. İkinci sinir ağı yapısı, birinci modeli genişletir. İlk modelin sonucu, önerilen doğrusal olmayan otoregresif modelin ümit verici performansa ulaşabileceğini ve çoğu durumda Ortalama Mutlak Yüzde Hatasının %20'den az olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'den daha önceki günlerde koronavirüs vakası görülmüş olan ülkelerdeki vaka sayıları dikkate alınarak Türkiye'de ilerleyen günlerde görülmesi muhtemel vaka sayısının tespit edilmesi ve belirlenmiş olan bu vaka sayılarına uygun olarak toplu taşıma sistemi yolcu sayısının tahmin edilmesidir. İlk olarak Dünya genelinden beş ülke seçilmiştir. Ülke seçiminde Amerika Birleşik Devletleri ve İtalya; tüm dünyada neredeyse en fazla vaka sayısına sahip olan ülkeler olması sebebiyle seçilmiştir. Belçika, Fransa ve Şili ise Türkiye ile yaklaşık olarak aynı toplam vaka sayısına sahip olması sebebiyle seçilmek istenmiştir. Seçilen bu beş ülke ile Türkiye'nin benzerlikleri günlük görülen koronavirüs vaka sayıları açısından karşılaştırılmıştır. En fazla benzerlik oranına sahip ülkedeki vaka sayıları ile Türkiye'deki günlük vaka sayıları dikkate alınarak Türkiye'de ilerleyen günlerde görülmesi muhtemel vaka sayılarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Günlük vaka sayısı ile şehir içi toplu taşıma sisteminde taşınacak yolcu sayısı arasında bir ilişkinin var olduğu düşünülmektedir. Ardından yapılan günlük vaka sayısı tahminlerine göre; yine belirtilen günler için Kayseri ilindeki şehir içi toplu taşıma yolcu sayısı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir; ikinci bölümde, kullanılan yöntemlerle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde problemle ilgili verilere ile problemin çözümü için planlanan yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlara ve karşılaştırmalara yer verilmiştir. Son bölümde ise; çalışma sonuçları ve gelecek çalışma önerileri sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Türkiye'de ilk koronavirüs vakası 11 Mart 2020 tarihinde görülmüş ve bu vakaya birçok ülkeden oldukça ilerleyen bir tarihte rastlanılmıştır. Çalışmanın amacı; diğer ülkelerde rastlanılan vaka sayılarından yararlanılarak tahminlemeler yapılmasıdır. İlk olarak Dünya genelinden beş ülke rassal olarak seçilmiştir: Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, İtalya, Belçika ve Şili. Koronavirüs vaka sayıları açısından; seçilen bu beş ülke ile Türkiye arasındaki korelasyon katsayıları belirlenerek benzerlikleri karşılaştırılmıştır.

Daha sonra elde edilen benzerlik oranlarına göre en fazla benzerlik içeren ülke ele alınmış ve ele alınan bu ülkenin günlük vaka sayıları ile Türkiye'de günlük görülen vaka sayılarına göre yapay sinir ağları ve lineer regresyon yöntemlerinden yararlanılarak tahmin modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Oluşturulmuş tahmin modelleri ortalama mutlak hata (mean absolute error-MAE) değerlerine göre; hangi yöntemin daha doğru sonuçlar vermiş olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de ilerleyen günlerde görülmesi muhtemel vaka sayıları daha kesin sonuçlar vermiş olduğu tespit edilen tahmin modeli sayesinde tespit edilmeye çalışılmıştır.

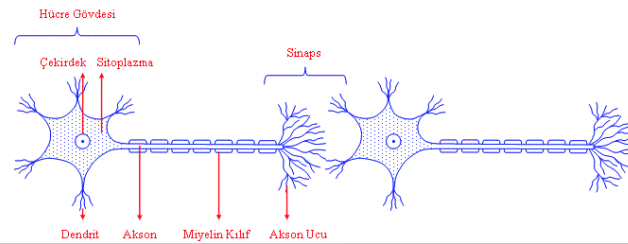
Ardından Türkiye'de ilerleyen günlerde görülecek vaka sayısı tahmini baz alınarak şehir içi toplu taşıma sistemi yolcu sayısının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada yapay sinir ağları ve lineer regresyon olmak üzere iki yöntem kullanılmış ve sonuçlar ortalama hata kareleri (mean square error-MSE) değerlerine göre karşılaştırılmıştır.

2.1. Yapay Sinir Ağları-YSA (Artificial Neural Network- ANN)

Yapay sinir ağları metodolojisi insan beyninin örnek alınması ile oluşturulmuş ve güncelliğini kaybetmemiş yöntemlerden birisidir. Dijital ortamda; insan beyninin yapabildiği faaliyetleri yapabilen, yeterli verinin olmadığı durumlarda dahi; eldeki verilerden yola çıkarak yorum yapabilen, sonuca ulaşan; kendi ortamına veri girişini kabul ederek sürekli öğrenme faaliyetine devam eden ve öğrenme faaliyeti neticesinde elde etmiş olduğu sonuçları hatırlayıp kullanıcıya sunan algoritmalara kısaca "Yapay Sinir Ağları" adı verilir (Civalek ,1999; Sözen vd,2005;

Sözen vd,2004). Yapay sinir ağları yardımıyla; klasik yöntemlerle çözülemeyen problemler insan beyninin faaliyetlerinden yararlanılarak kolaylıkla sonuca ulaştırılabilir (Kalogirou,2000; Dorvlo vd., 2002).

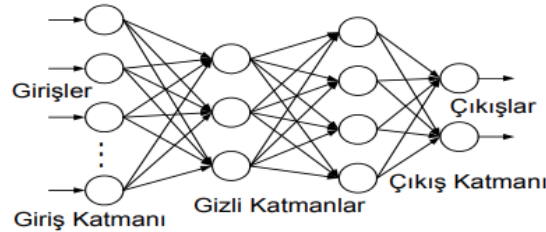
Yapay sinir ağları algoritmasına ait bir yapının temelini; biyolojik sinir ağlarını ve insan beyninin de en temel yapısı olan sinir hücreleri oluşturmaktadır. İnsan beyninde yer alan sinir hücrelerinin hatırlama, düşünme ve her durumda daha önceki deneyimleri sayesinde sonucu güncelleme yetenekleri bu yöntem tarafından da örnek alınmıştır. Şekil 1'de basitleştirilmiş biyolojik bir beyin sinir hücresi ve bileşenleri ile ilişkisi görülmektedir.



Şekil 1. Biyolojik bir sinir hücresi ve bileşenleri (A Biological Nerve Cell and Its Components)

Yapay sinir ağları, insan beyninde yer alan bu nöronlara benzer şekilde değişik bağlantı türleri ile bağlanması sonucu oluşan sistemlerdir. Dolayısıyla yapay sinir ağlarında da biyolojik bir beyin sinir hücresinde yer alan bileşenler var olmaktadır. Biyolojik bir nöronun yapısı incelendiğinde, bir gövde, bir çekirdek ve birisi kısa, diğeri uzun olmak üzere iki tür uzantıdan oluşmaktadır. Bu uzantılardan kısa ve dallanmış olana dendrit ismi verilir ve hücredeki görevi hücreye gelen bilgileri toplamaktır. Uzun ve tek olan uzantı ise akson olarak adlandırılır ve çıktı bilgilerini nöronlara taşımakla görevlendirilmiştir. Bir sinir hücresinin aksonu ile diğer bir sinir hücresinin dendritinin birleşim noktasına sinaps denir. Sinapslar ise nöronlardan almış oldukları bilgileri değerlendirmektedirler (Kalogirou, 2000; Kalogirou, 1999).

İnsan beyin hücresini örnek olarak oluşturulan yapay bir sinir ağı ise Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Yapay bir sinir ağı ve bileşenleri (An Artificial Neural Network and Its Components)

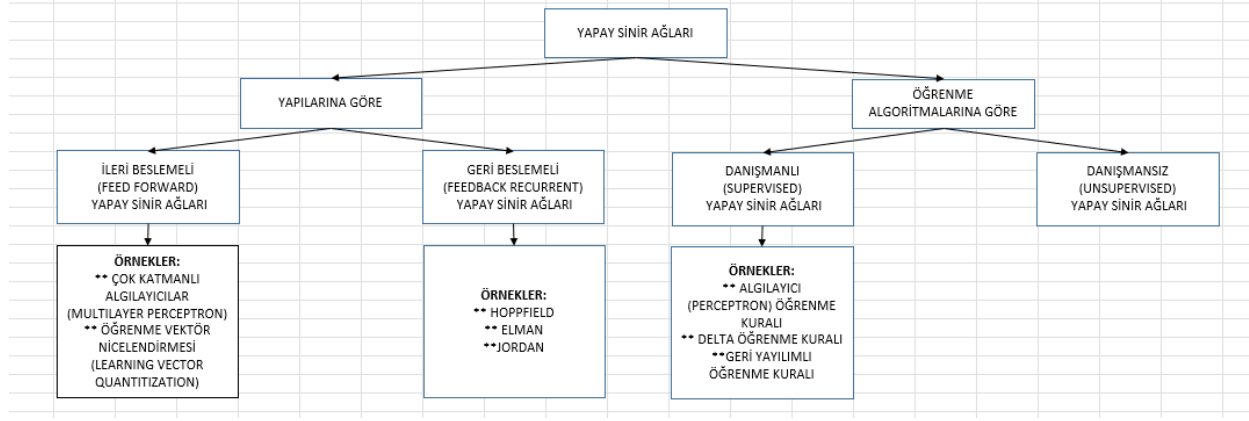
Yapay bir sinir hücresi oluşturulurken genellikle şu beş ana birimden yararlanır:

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu
- Çıktılar

Yapay bir ağda işlemler şu şekilde yürümektedir:

1. İlk olarak girdiler, sinir hücresinde ilgili bağlantı ağırlıkları ile çarpma işlemine tabi tutulurlar, ardından bu değerler bir birleştirme fonksiyonu yardımıyla birleştirilirler.
2. Birleştirme işlemi neticesinde elde edilen değer nöronun net girdisi olarak belirlenir.
3. Net girdinin belirlenmesinin ardından, bu net girdi bir aktivasyon fonksiyonu ile işlenerek; bu fonksiyona ait çıktı sayesinde de nöronların net çıktı değerleri elde edilmiş olur (Hamzaçebi, 2011).

Literatürde yapay sinir ağlarına ait birçok sınıflandırma ile karşılaşmaktadır. Buna göre yapay sinir ağlarını yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre Şekil 3'teki gibi sınıflandırmak mümkündür (Rojas, 1996; Sağiroğlu vd. 2003; Alpaydın, 2004;Alataş, 2006; Şen, 2004):



Şekil 3. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması (The Classification of The Artificial Neural Network)

Yapay sinir ağları; yapılarında bulunan sinirler arasındaki bilgi akışının yönüne göre ileri ve geri beslemeli yapay sinir ağları olarak sınıflandırılırken; ağın öğrenme yapısına göre danışmanlı ve danışmansız yapay sinir ağları olarak sınıflandırılmaktadır.

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında birisi girdi katmanı, birisi çıktı katmanı; diğerleri ise gizli katmanlar olmak üzere çok katmanlı yapılar söz konusudur. Bu yapay sinir ağı yapısında bilgi akışı, girdi katmanından gizli katmana doğru iletildikten sonra, gizli katmandan da çıkış katmanına iletilerek ileri yönlü olmaktadır. Bu tür ağlara; çok katmanlı algılayıcılar (multilayer perceptron) ve öğrenme vektör nicelendirmesi (LVQ) örnek olarak verilebilir.

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında da ileri beslemeli ağlarda olduğu gibi çok katmanlı bir yapı söz konusudur. Ancak ileri beslemeli ağ yapısından farklı olarak, bu ağ yapısında bilgi akışı geriye doğru olabilmektedir. Hücrelerin çıktıları; yine kendisine ya da ağda bulunan başka bir hücreye girdi olarak kullanılabilir.

Çalışmada ileri beslemeli ağ yapılarının kullanışlı olması sebebiyle çok katmanlı algılayıcılar (multilayer perceptron) kullanılmıştır.

2.2. Lineer Regresyon (Linear Regression)

Lineer regresyon; bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak tanımlanan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin matematiksel modelini oluşturmakta kullanılan bir yöntemdir. Elde edilmiş olan matematiksel modele göre, bağımsız değişkenlerin değerlerine bağlı olan bağımlı değişken değeri ile bağımlı değişkenin gerçek değeri arasındaki hataların karesinin minimum olması amaçlanmaktadır.

Çok değişkenin yer aldığı, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki doğrusal ilişki Eş.1'de gösterildiği gibidir:

$$Y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n \quad (1)$$

3. Şehir İçi Toplu Taşıma Yolcu Sayısı Tahminine Yönelik Bir Uygulama (An Application For Estimating The Number of Passengers in Urban Public Transport)

Son aylarda tüm dünyayı kasıp kavuran pandemi; ülkemizi de etkilemektedir. Pandemi sebebiyle birçok sektörde ortaya çıkan krizin toplu taşıma sektöründe de olumsuz etkileri görülmektedir. Şehir içi toplu taşıma sistemlerinde taşınan yolcu sayıları, pandemi nedeniyle büyük miktarda azalış göstermektedir. Şehir içi toplu taşıma şirket yöneticileri de gerçekleşecek yolcu sayılarına bağlı olarak kapasite yönetimini gerçekleştirmeyi planlamaktadır. Bu çalışmada, pandeminin devam etmesi durumunda, kapasite yönetiminin sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla taşınacak günlük yolcu sayılarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

3.1. Örnek Alınacak Ülke Seçimi (Selection of The Country)

Ülkemizde ilk vaka, diğer ülkelere nazaran daha ilerleyen tarihlerde görülmüştür. İlk olarak ilk vakanın daha önceki zamanlarda görüldüğü bazı ülkelerdeki günlük vaka sayıları baz alınarak en fazla benzerlik gösteren ülke korelasyon katsayısı yardımıyla belirlenmiştir. Dikkate alınan ülkeler; Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, İtalya, Belçika ve Şili'dir. Bu ülkelerdeki ilk vakanın görüldüğü günden itibaren günlük vaka sayıları değişkenine göre; Türkiye'de görülen değerler arasındaki ilişki incelenmiştir. Korelasyon analizi yapılması amacıyla SPSS programından yararlanılmıştır. Analiz için 245 veri kullanılmış ve korelasyon katsayısı hesaplanmasında; kullanılan

verilerin normal dağılım göstermemiş olmalarının saptanması sebebiyle parametrik olmayan testlerden Spearmann korelasyon katsayısı tekniğinden yararlanılmıştır. Karşılaştırma yapılan her bir ülke için elde edilen korelasyon analizi sonuçları Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

Correlations				
			TÜRKİYE	ABD
Spearman's rho	TÜRKİYE	Correlation Coefficient	1,000	,053
		Sig. (2-tailed)	.	,410
		N	246	246
	ABD	Correlation Coefficient	,053	1,000
		Sig. (2-tailed)	,410	.
		N	246	246

Correlations					Correlations						
			TÜRKİYE	FRANSA				TÜRKİYE	İTALYA		
Spearman's rho	TÜRKİYE	Correlation Coefficient	1,000	,680**	Spearman's rho	TÜRKİYE	Correlation Coefficient	1,000	,303**		
		Sig. (2-tailed)	.	,000			Spearman's rho	TÜRKİYE	Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	246	246					Spearman's rho	İTALYA	Correlation Coefficient
FRANSA	Correlation Coefficient	,680**	1,000	Spearman's rho	İTALYA	Sig. (2-tailed)					,000
	Sig. (2-tailed)	,000	.			Spearman's rho	İTALYA	N			246
	N	246	246								

Correlations					Correlations						
			TÜRKİYE	BELÇİKA				TÜRKİYE	ŞİLİ		
Spearman's rho	TÜRKİYE	Correlation Coefficient	1,000	,761**	Spearman's rho	TÜRKİYE	Correlation Coefficient	1,000	-,429**		
		Sig. (2-tailed)	.	,000			Spearman's rho	TÜRKİYE	Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	246	246					Spearman's rho	ŞİLİ	Correlation Coefficient
BELÇİKA	Correlation Coefficient	,761**	1,000	Spearman's rho	ŞİLİ	Sig. (2-tailed)					,000
	Sig. (2-tailed)	,000	.			Spearman's rho	ŞİLİ	N			246
	N	246	246								

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Şekil 4. Günlük vaka sayıları arasındaki korelasyon analizi (The Correlation Analysis Between The Daily Cases Number)

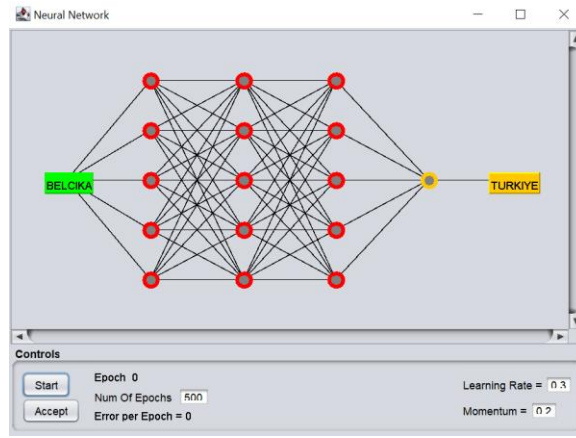
Korelasyon katsayıları incelendiğinde en yüksek benzerlik oranına Belçika-Türkiye arasında rastlanmış olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ülkemizdeki ilerleyen günler için gerçekleşmesi muhtemel olan vaka sayılarının tahmininde Belçika'da görülen vaka sayılarından yararlanılmıştır.

3.2. Vaka Sayılarının Tespit Edilmesi (Determining The Number of Cases)

Türkiye ile vaka sayıları açısından en fazla ilişki olan ülkenin saptanmasının ardından; bu ülkedeki vaka sayıları baz alınarak, Türkiye'de gerçekleşmesi muhtemel vaka sayıları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Vaka sayılarının tahmin edilmesi aşamasında; WEKA yazılımı yardımıyla Yapay Sinir Ağları ve Lineer Regresyon yöntemlerinden yararlanılmıştır.

WEKA yazılımı yapay zekâ tekniklerini uygulamak amacıyla oluşturulmuş ve hemen hemen bu alandaki tüm algoritmaları içerisinde barındıran bir yazılımdır. Program içerisinde yer alan araçlar sayesinde; sınıflandırma, kümeleme ve birliktelik gibi temel işlemleri yerine getirebilmektedir.

Yapılacak olan tahmin analizinde kullanılacak yapay sinir ağı yapısı; ağ yapısında birden fazla katmanın bulunması halinde ağı daha iyi öğrenme yeteneğine sahip olması sebebiyle; çok katmanlı olarak belirlenmiş ve oluşturulan ağ yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Belçika'yı örnek alarak Türkiye vaka sayısı tahmini için yapay sinir ağ yapısı (The Artificial Neural Network Structure for The Cases Number Estimation in Turkey According to Belçika)

Şekil 5'te de görüldüğü üzere; oluşturulan yapay sinir ağında bir girdi parametresi ve bir çıktı parametresi bulunmaktadır. Yani Belçika'da gerçekleşen vaka sayılarına (girdi parametresi) bağlı olarak Türkiye'de gerçekleşecek vaka sayıları (çıkı parametresi) tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma için her iki ülkeye ait toplamda 262 gün için günlük vaka sayısı verisi bulunmaktadır. Bu verilerin %66'sı ağın eğitimi için kullanılmış olup; geri kalan veriler ise ağın test edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu özellikleri ile oluşturulmuş olan ağ yapısı çalıştırıldığında; elde edilen sonuçlar Şekil 6'da görüldüğü gibidir:

```

=== Summary ===

Correlation coefficient           0.6493
Mean absolute error              766.2773
Root mean squared error          1272.974
Relative absolute error          85.056 %
Root relative squared error      87.1375 %
Total Number of Instances        89

```

Şekil 6. Yapay Sinir Ağı yöntemi ile elde edilen sonuçlar (The Results According to Artificial Neural Network)

Sonuçlar incelendiğinde hata değeri (MAE) 766.2773 olarak elde edilmiştir. Yapay sinir ağ yapısının güncellenmesi durumunda elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.Yapay Sinir Ağ yapısının farklı kombinasyonları için sonuç değerleri (The Results According to Different Combinations of Artificial Neural Networks)

Model No	Ağ Yapısı	Eğitime Ayrılan Veri Yüzdeleri	Öğrenme Oranı	MAE	RMSE	Modelin Sonuca Ulaşması için Geçen Süre
1	a	%66	0.5	766	1272	0,02 sn.
2	a	%85	0.5	941	1610	0,02 sn.
3	a	%66	0.4	722	1211	0,02 sn.
4	a	%85	0.4	971	1650	0,02 sn.
5	a	%66	0.3	724	1206	0,02 sn.
6	a	%85	0.3	897	1426	0,02 sn.
7	5,5,5	%66	0.3	819	1481	0,16 sn.
8	5,5,5	%66	0.4	800	1457	0,16 sn.
9	5,5,5	%66	0.5	803	1355	0,17 sn.

Buna göre yapay sinir ağ yapısında ara katmanlarda yer alan nöron sayılarının, eğitime ayrılan veri yüzdelerinin ve öğrenme oranlarının değişimi sonucu; hata göstergelerinin değerlerinin ve modelin sonuca ulaşma sürelerinin de değişmiş olduğu görülmektedir. İlk 6 model zaman performansı açısından diğer modellere üstünlük sağlamaktadır; buna ek olarak 3. model; MAE (Mean absolute error) ve RMSE (Relative mean squared error) hata değerleri açısından en iyi değerlere sahiptir.

Yapay sinir ağı ile Türkiye’de görülecek vaka sayıları tahmin edildikten sonra; lineer regresyon yöntemi kullanılarak vaka sayıları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yine lineer regresyon yöntemi için WEKA yazılımından yararlanılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 7’de görüldüğü gibidir:

```

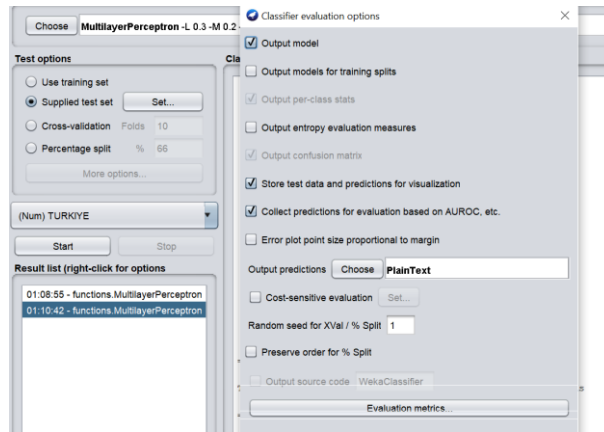
=== Summary ===

Correlation coefficient           0.3541
Mean absolute error              804.2774
Root mean squared error         1369.9163
Relative absolute error          89.274 %
Root relative squared error      93.7733 %
Total Number of Instances       89
  
```

Şekil 7. Lineer Regresyon yöntemi ile elde edilen sonuçlar (The Results According to Linear Regression)

Kullanılan bu yöntemlerle yapılan tahminlerin hata gösterge değerlerinin karşılaştırılması sonucunda hangi yöntemin daha doğru sonuçlar vereceği belirlenmiştir. Bu yöntemler hata gösterge değerlerine (MAE) göre incelendiğinde; yapay sinir ağı yöntemi (722), lineer regresyon yöntemine (804) göre daha doğru sonuç vermiş olduğu görülmektedir. Yapay sinir ağı ile daha kesin sonuçlar elde edilmesi sebebiyle ilerleyen günlerde görülecek vaka sayılarının tahmin edilmesinde; yapay sinir ağı yöntemi kullanılmaya karar verilmiştir.

Her iki ülkeye ait 262 adet veri üzerinden ağı eğitimi tamamlandıktan sonra; sadece Belçika’da gerçekleşmiş olan günlük vaka sayılarından yararlanarak; Türkiye için de tahminde bulunulmuştur. WEKA yazılımında; ilgili veriler tahmin amacıyla aktarılması için gerekli olan bilgiler Şekil 8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 8. Tahmin değerlerinin WEKA yazılımı aracılığı ile elde edilmesi (Obtaining the Estimations Using WEKA)

Belçika’da ilk vaka 01.03.2020 tarihinde görülürken; Türkiye’de ilk vaka 11.03.2020 tarihinde görülmüştür. Dolayısıyla Belçika’da gün olarak 10 günlük daha fazla veri bulunmakta ve bu da Türkiye’de 10 gün için görülecek vaka sayısının tespiti için imkân sağlamaktadır. Belçika’ya ait 10 günlük vaka değerlerine göre; ülkemizde gerçekleşecek vaka sayılarının tahmin değerleri Tablo 2’de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

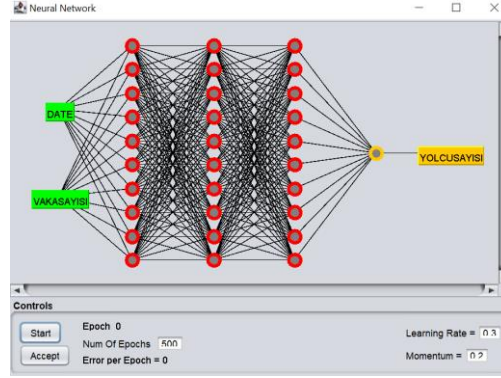
Tablo 2. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak elde edilmiş Türkiye’de görülecek vaka sayısı tahminleri (The Cases Number Estimations in Turkey According to Artificial Neural Networks)

Gün	Belçika’da Görülen Vaka Sayısı	Türkiye’de Görülecek Vaka Sayısı Tahmini
1	2734	3254
2	5182	3510
3	4477	3494
4	3416	3411
5	3224	3379
6	1875	2815
7	1123	2227
8	1901	2833
9	3164	3367
10	2565	3192

Türkiye için ilerleyen günlerde görülmesi beklenen vaka sayısı tahminlerinin yapılmasının ardından; Kayseri şehri için toplu taşıma yolcu sayılarının tahmin edilmesine çalışılmıştır. Vaka sayıları ile yolcu sayıları arasında bir

ilişki olduğu kabul edilmiş ve bu ilişki için yeniden bir yapay sinir ağı modellenmiştir. Modellenmiş olan yapay sinir ağı Şekil 9'da gösterildiği gibidir.

Şekil 9'da da görüldüğü üzere; oluşturulan yapay sinir ağında iki girdi parametresi ve bir çıktı parametresi bulunmaktadır. Yani Türkiye'de gerçekleşen günlük vaka sayılarına (girdi parametresi-Date ve Vakasayısı) bağlı olarak toplu taşıma sistemi yolcu sayıları (çıkı parametresi-yolcusayısı) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Date girdi parametreleri pazartesi gününden itibaren haftanın günleri için 1-7 arasında sayılar kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca girdi ve çıkı katmanları arasında üç adet ara katman ve her ara katmanda ise onar adet nöron bulunmaktadır.



Şekil 9. Vaka sayıları-yolcu sayısı yapay sinir ağı yapısı(Case Number-Passenger Number Artificial Neural Network)

Çalışma için toplamda 262 gün için günlük vaka sayısı ve günlük toplu taşıma sistemi yolcu sayısı verisi bulunmaktadır. Bu verilerin %66'sı ağı eğitimi için kullanılacak olup; geri kalan veriler ise ağı test edilmesi amacıyla kullanılacaktır. Bu özellikleri ile oluşturulmuş olan ağı çalıştırıldığında; elde edilen sonuçlar Şekil 10'da görüldüğü gibi elde edilmiştir:

```

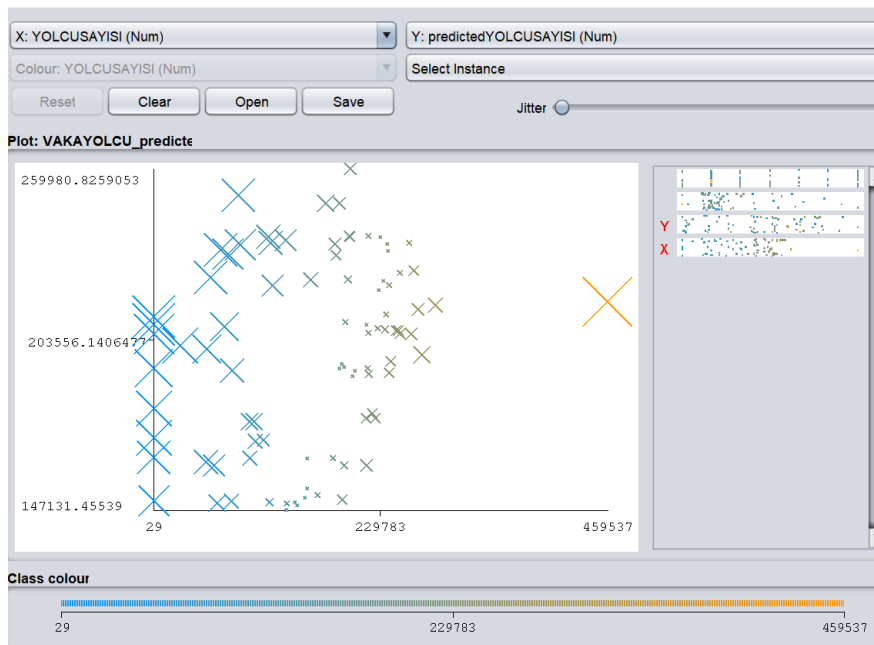
=== Summary ===

Mean absolute error           66907.2684
Root mean squared error      90628.8014
Total Number of Instances    89

```

Şekil 10. Yolcu sayısı tahmini için oluşturulan modele ait yapay sinir ağı yöntemi ile elde edilen sonuçlar (The Results of Passenger Number Estimation According to Artificial Neural Network)

Ayrıca gerçekleşen ve tahmin edilen yolcu sayılarına ait grafik Şekil 11'de gösterildiği gibidir.



Şekil 11. Gerçekleşen ve Tahmin Edilen Yolcu Sayıları (The Estimated and Obtained Passenger Numbers)

Bu sonuçlara göre Belçika örnek alınarak elde edilmiş vaka sayıları tahminine göre gelecek on gün için toplu taşıma yolcu sayıları Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak elde edilmiş toplu taşıma sistemi sayısı tahminleri (The Passenger Number Estimations in Turkey According to Artificial Neural Networks)

Gün	Toplu Taşıma Sistemi Yolcu Sayısı
1	162669
2	148746
3	229845
4	216466
5	203005
6	190398
7	177830
8	163345
9	148976
10	230330

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Son aylarda tüm dünyayı kasıp kavuran pandemi; ülkemizi de etkilemektedir. Pandemi sebebiyle birçok sektörde ortaya çıkan krizin toplu taşıma sektöründe de olumsuz etkileri görülmektedir. Şehir içi toplu taşıma sistemlerinde taşınan yolcu sayıları, pandemi nedeniyle büyük miktarda azalış göstermektedir. Şehir içi toplu taşıma şirket yöneticileri de gerçekleşecek yolcu sayılarına bağlı olarak kapasite yönetimini gerçekleştirmeyi planlamaktadır. Bu çalışmada, pandeminin devam etmesi durumunda, kapasite yönetiminin sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla taşınacak günlük yolcu sayılarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Ülkemizde ilk vaka, diğer ülkelere nazaran daha ilerleyen tarihlerde görülmesi ülkemizi avantajlı hale getirmekte ve ilerleyen günlerde görülebilecek vaka sayılarını tahmin etmekte fayda sağlamaktadır. İlk olarak ilk vakanın daha önceki zamanlarda görüldüğü bazı ülkelerdeki günlük vaka sayıları baz alınarak en fazla benzerlik gösteren ülke korelasyon katsayısı yardımıyla belirlenmeye çalışılmış ve seçilen ülkeler arasından Türkiye ile en fazla benzerliği sahip olan ülkenin Belçika olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Türkiye ile vaka sayıları açısından en fazla ilişki olan ülkenin saptanmasının ardından; Belçika'daki vaka sayıları baz alınarak, Türkiye'de gerçekleşmesi muhtemel vaka sayıları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Vaka sayılarının tahmin edilmesi aşamasında; Yapay Sinir Ağları ve Lineer Regresyon yöntemlerinden yararlanılacaktır.

Kullanılan bu yöntemlerle yapılan tahminlerin doğruluk değerlerinin karşılaştırılması sonucunda yapay sinir ağları yönteminin lineer regresyon yöntemine göre daha doğru sonuç vermiş olduğu görülmüş ve yapay sinir ağları ile daha kesin sonuçlar elde edileceğinin anlaşılması üzerine ilerleyen günlerde görülecek vaka sayılarının tahmin edilmesinde; yapay sinir ağları yöntemi kullanılmaya karar verilmiştir. Belçika'ya ait veri setinde Türkiye'ye nazaran daha fazla günlük vaka değeri bulunmaktadır; bu değerler ülkemizde gerçekleşecek vaka sayılarının tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

Türkiye için ilerleyen günlerde görülmesi beklenen vaka sayısı tahminlerinin yapılmasının ardından; Kayseri şehri için toplu taşıma yolcu sayılarının tahmin edilmesine çalışılmıştır. Vaka sayıları ile yolcu sayıları arasında bir ilişki olduğu kabul edilmiş ve bu ilişki için yeniden bir yapay sinir ağı modellenmiştir. Belçika örnek alınarak elde edilmiş vaka sayıları tahminine göre gelecek için toplu taşıma yolcu sayıları tahmin edilmiştir.

Çalışmada, yapay sinir ağları ve lineer regresyon gibi literatürde oldukça fazla kullanılan iki yonteme yer verilmiştir. Gelecek çalışmalarda bu yöntemlerden farklı yöntemler ile de şehir içi toplu yolcu sayılarının tahmin edilmesi uygun olacaktır. Ayrıca çalışmada görülen doğruluk oranlarının artması için veri setinde daha verinin bulunması gerektiği aşikârdır. İlerleyen zamanlarda çalışma güncellenen verilerle yeniden yapılması durumunda daha fazla doğruluk oranına ulaşabileceği öngörülmektedir. Yine çalışmada günlük vaka sayılarına ek olarak günlük ölü sayısı, kümülatif vaka sayısı, kümülatif ölü sayısı, iyileşen hasta sayısı gibi farklı değişkenler de kullanılması mümkündür.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmada kullanılan günlük yolcu sayılarına ait veriler Kayseri Büyükşehir Belediyesi iştiraki olan Kayseri Ulaşım A.Ş. tarafından sağlanmıştır. İşletmeye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Alpaydın, E., *Introduction To Machine Learning*. England: The MIT Press Cambridge, 2004.
- Alataş, B., Sinirsel Ağlar, (www.firat.edu.tr/akademik/fakulteler/muhendislik/bilgisayar/balatas/SinirselAglar.pdf), [16.09.2006].
- Civalek, Ö., Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği İle Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(2), 13-31, 1999.
- Celebi, D., Bolat, B., Bayraktar, D., Light rail passenger demand forecasting by artificial neural networks, 2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering, Troyes, 239-243, 2009, doi: 10.1109/ICCIE.2009.5223851.
- Dorvlo, S.S., Jervase, J.A., Al-Lawati, A., Solar Radiation Estimation Using Artificial Neural Network, *Applied Energy*, 71, 307-319, 2002.
- Hamzaçebi, C., *Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı*, Ekin Yayınevi, Bursa, 1-105, 2011.
- Jiang, Y., Gao, S., Guan, W., Yin, X., Bass+BL+seasonality forecasting method for demand trends in air rail integrated service, *Journal Transportmetrica A: Transport Science*, <https://doi.org/10.1080/23249935.2020.1799111>.
- Kalogirou, S.A., *Artificial Neural Networks in Renewable Energy Systems Applications: A Review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 373-401, 2000.
- Kalogirou, S. A., Long-Term Performance Prediction of Forced Circulation Solar Domestic Water Heating Systems Using Artificial Neural Networks, *Applied Energy*, 66, 63-74, 2000.
- Kalogirou, S.A., *Applications of Artificial Neural Networks in Energy Systems: A Review*, *Energy Conversion & Management*, 40: 1073-1087, 1999.
- Reddy, M.R., Forecasting railway passengers demand using holt-winter method with R statistical tool, *International Journal of Advanced Multidisciplinary Scientific Research (IJAMSR)*, 2(7), 1-8, 2019.
- Rojas, R., *Neural Networks-A Systematic Introduction*. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- Sağiroğlu, Ş.; Beşdok E. & Erler, M., *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I: Yapay Sinir Ağları*. Kayseri: Ufuk Kitap Kıratsiyeye Yayıncılık, 2003.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M., Formulation based on Artificial Neural Network of Thermodynamic Properties of Ozone Friendly Refrigerant/Absorbent Couples, *Applied Thermal Engineering*, 25(11-12): 1808-1820, 2005.
- Sözen, A., Akçayol, M.A., Modelling (Using Artificial Neural-Networks) the Performance Parameters of a Solar-Driven Ejector-Absorption Cycle, *Applied Energy*, 79(3): 309-325, 2004.
- Suryani, E., Chou, S-Y, Chen, C-H., Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system Dynamics framework, *Expert Systems with Applications*, 37, 2324-2339, 2010.
- Şen, Z., *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 2004.
- Tsai, T-H., Lee, C-K., Wei, C-H., Design of dynamic neural networks to forecast short term railway passenger demand, *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1651-1666, 2005.
- Tsai, T-H., Lee, C-K., Wei, C-H., Neural network based temporal feature models for short-term railway passenger demand forecasting, *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3728-3736, 2009.
- Wadud, Z., Modeling and forecasting passenger demand for a new domestic airport with limited data, 2214(2214), 59-68, 2011.
- Zhao, S. Mi, X., A novel Hybrid model for short-term high-speed railway passenger demand forecasting, *IEEE Access*, 7, 175681-175692, 2019.



APPLICATION OF LABOR PRODUCTIVITY ANALYSIS IN TROUSERS SEWING LINE

Meral İŞLER¹, Mehmet KÜÇÜK^{2*}

¹Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Fashion Design Department, Konya

²Ege University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, İzmir

Keywords

*Clothing Production,
Kurosawa Model,
Labor Productivity,
Lost Time.*

Abstract

In order not to lose their market share in global markets where borders have disappeared, to gain competitive advantage, and to increase their profitability, businesses have increased their work on efficiency values to use their scarce resources effectively. Considering that global economies, of which importance is frequently mentioned today, are composed of national economies, and national economies are constituted by the economies of enterprises operating in that nation, it becomes evident how important they are. Improving the economies of businesses operating in countries is possible by minimizing unnecessary activities in production activities with various efficiency studies and reducing production-related costs. In this study, the workforce efficiency in a clothing company manufacturing trousers was analyzed. In this context, data was collected from the sewing line of a garment company operating on trouser production in İzmir, and the data obtained was evaluated with the labor productivity model with rates from Kurosawa's productivity models. As a result of this research, it has been determined that the losses expected to be eliminated entirely after getting used to the production of the relevant product are still visible and even more than they should be.

KONFEKSİYON ÜRETİMİNDE İŞGÜCÜ VERİMLİLİK ANALİZİNİN PANTOLON DİKİM HATTINDA UYGULANMASI

Anahtar Kelimeler

*Konfeksiyon Üretimi,
Kurosawa Modeli,
İşgücü Verimliliği,
Kayıp Süre.*

Öz

İşletmeler, sınırların ortadan kalktığı global pazarlarda sahip oldukları pazar paylarını kaybetmemek, yeni pazarlarda söz sahibi olabilmek, rekabet avantajı sağlamak ve karlılıklarını arttırabilmek için ellerinde bulundurdukları kıt kaynakları etkin bir şekilde kullanabilme özelliklerini gösteren verimlilik değerleri üzerine gösterdikleri önemi ve yaptıkları çalışmaları arttırmıştır. Günümüzde öneminden sıklıkla söz edilen küresel ekonomiler, küresel ekonomileri ulusal ekonomilerin, ulusal ekonomileri de o ulusta faaliyet gösteren işletmelerin ekonomilerinin oluşturduğu düşünüldüğünde, ne derece önemli oldukları ortaya çıkmaktadır. Ülkelerin ekonomileri içerisinde faaliyet gösteren işletmelerin ekonomilerinin iyileştirilmesi ise üretim aktiviteleri içerisindeki gereksiz faaliyetlerin çeşitli verimlilik çalışmaları ile minimize edilerek, üretim kaynaklı maliyetlerinin düşürülmesiyle mümkün olmaktadır. Bu çalışmada pantolon üretimi yapan bir konfeksiyon firmasındaki işgücü verimliliği analiz edilmiştir. Bu kapsamda İzmir'de pantolon üretimi üzerine faaliyet gösteren bir konfeksiyon firmasının dikim bandından veri toplanmış ve elde edilen veriler Kurosawa'nın verimlilik modellerinden oranlarla işgücü verimliliği modeli ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen bu araştırmanın sonucunda, ilgili ürünün üretimine alışıldıktan sonra tamamen ortadan kaldırılması beklenen kayıpların hala görüldüğü ve hatta olması gerekenden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmet.kucuk@ege.edu.tr, +90-232-311-2794

Alıntı / Cite

İşler, M., Küçük, M., (2022). Application of labor productivity analysis in trousers sewing line, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 1054-1065.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. İşler, 0000-0002-9654-4664
M. Küçük, 0000-0002-0017-5762

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.06.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.11.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	06.04.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Introduction

Productivity is a concept that is influenced by various factors such as labor, capital, raw material, energy, environmental condition, quality of inputs and outputs, occupational safety and etc. (Güner, 2010).

Companies have the opportunity to determine their weaknesses and strengths while they have a road map and control tool by measuring the productivity level which can vary depending on the different factors. In addition, the usage of the resources provides information about the future of the company as well as the ability to compare with the other companies. The results of the productivity measurement activities, the necessary decisions and precautions are taken rationally by working in the light of scientific data (Özkan, 2010). All the companies desire to reduce the costs, keep strong in the market and have the competitive capacity. They know that not only finding the materials, labor or machine cheaper, the main point of the cost reduction is possible with the appropriate productivity applications (Atilla, 2008).

In the companies, productivity is an indicator that shows the efficiency level of the capital, material, labor, machine, land, building etc. used during the manufacturing process. As is known, there are some other production factors besides the labor force. These inputs have very close relation with each other individually or collectively. Increasing or decreasing of each inputs alone or with other inputs affects the production level (Doğan and Aydın, 1991). Productivity level placements applications have been handled by a large number of researchers and many productivity assessments have been made in the literature so far (Kalaoğlu and Sarıçam, 2007; Tanuwidjaja and Thangavelu, 2007; Ahuja and Khamba, 2009; Cabral and Mollick, 2011; Holl, 2016). Japanese scientist Dr. Kazukiyo Kurosawa is one of the researchers known for their productivity measurement models. Kurosawa's method and some examples of the studies are given below.

In an M.Sc. thesis which was prepared Pekel in 2001, the relation between motivation and productivity was examined through the employees of the State Airports Authority (Pekel, 2001). In 2005, Kurosawa et al. was checked the impacts of the training on productivity with a survey of manufacturing companies in Japan. They evaluate the impacts of the Off-the-Job Trainings and On-the-Job Trainings on the productivity (Kurosawa et al., 2005). Tangen was analyzed the productivity and the performance relation in a manuscript which was performed in 2005. In this study, he clarified the meaning of five terms which are productivity, performance, profitability, efficiency and effectiveness and showed the interrelation of them (Tangen, 2005). In 2007, Kahya and Polat examined design of a new productivity management system in a company's Mechanical Works Workshop using the WPMR model (Workshop Productivity Management by Ratio). They designed a system which records daily data in the system systematically and provide productivity analysis on request. As a result of this study, they made some recommendations for the applicability of the system (Kahya and Polat, 2007). In a study conducted by Konuk and Önder in 2008, they focused on the points to be taken into consideration in the determination and increase of productivity in boron mining. For this purpose, they used the AIPR model (Total Productivity Model) and argued that the efficiency in this area decreased year by year (Konuk and Önder, 2008). Another study was generated by Kim et al. in 2010 and this study proposes the Productivity Achievement Ratio (PAR), which is a productivity evaluation indicator which assists the selection of the management items for construction productivity enhancement. The results of this study indicate that the PAR can aid construction practitioners in achieving more balanced and effective productivity management (Kim et al., 2011). In 2011, Tor conducted a survey for determining the demographic factors that had an impact on productivity. The surveys were carried out by the employees of a selected firm and the results showed that age, professional seniority, year of service, occupational plan and working reasons had an impact on productivity (Tor, 2011). In a study which was conducted by Özkan et al. in 2011, the AIPR Model was used for productivity analysis in a wire manufacturing company. Within the scope of this study, the factors that have effect on the overall productivity of the company were obtained (Özkan et al., 2011). In 2013 Akçakoca et al. used WPMR system to evaluate the labor productivity in Turkey. The conclusion of this study was that labor productivity was found to be lower than should be expected (Akçakoca et al., 2006). In a study conducted by Uçmuş and Kaçar in 2015 at a congress about productivity, labor productivity was investigated in a battery company. They concluded that the key factor in increasing productivity is the labor force and it is

extremely necessary to shift the planned production period so that the enterprise can use own production resources (particularly the labor force) efficiently (Uçmuş and Kaçar, 2015).

Apparel and productivity have always been an interesting topic. Studies in this area are shown below. In 2012, in a study, how the ergonomic regulations in the company affect the productivity was examined. However, an application study was not carried out in the study (Arslan, 2012). In a study that was held in 2016, a pants manufacturing company was examined with work study method. This study was calculated the unproductive times in the line with the help of chronometer technique (Kumaş et al., 2016). In the study in 2017, productivity was calculated by taking into account only the number of operators, machines and customers, using the data envelopment method (Doğan and Ersoy, 2017). Unal was calculated the standard times of each processes of a suit jacket with digital chrometers. In the selected company, the production due time and productivity of the orders with the same model was estimated with the determined standard unit times (Unal, 2018). In another study about the productivity and clothing sector, the financial productivity of an enterprise examined by using financial data was calculated (Balkan, 2019). In a master of science thesis in 2019, the line balancing techniques were examined with appropriate algorithms for clothing companies to setup the manufacturing lines more productively (Demirbaş, 2019).

After the literature reviews, no study has been found that demonstrates the efficient and inefficient periods of the factors (operator, management, foreman and rare part) that are involved in the production of clothing sector until the last day of production (not just the first day or the total time).

The purpose of the Kurosawa WPMR (workshop productivity management by ratio) model is to reveal the responsibilities of each operator, foreman, and the management in the use of the workforce. This system philosophy is based on the understanding and awareness that time and labor resources are extremely important. According to this model, time seems to be the most fundamental element in increasing not only labor productivity but also raw material and capital productivity. Therefore, the WPMR system should be the preferred model for the general efficiency understanding especially for labor-intensive sectors (Prokopenko, 1998). After the reviews of the researches in the literature, it has been observed that there is no study applied to the apparel industry with the Kurosawa productivity model. In this study, it was aimed to measure labor productivity in a clothing company. In this direction, the data of a production line of a clothing company operating in Izmir were collected and analyzed with the help of Kurosawa WPMR model.

2. Material and Method

2.1. Material

Measuring the productivity level of the clothing industry is difficult because besides the labor-intensive and dynamic structure, the duration time of the processes and the remodeling time is too short. In this study, the WPMR model was applied in a pants production line which constitutes the densest and the most crowded part of the clothing companies. The application of the study was carried out in a sports pants manufacturer which has a single shift working in Izmir. The company works 5 days in a week and 540 minutes daily apart from legally determined breaks. 540 daily working minutes include 30 minutes of lunch break and 2 times 15 minutes breaks as the planned administrative stops. For this reason, all calculations have been made over 480 minutes, excluding planned stops. The data were collected in the line for 10 days (2 weeks) time. Data from the company were obtained by the observation method. In addition to the observation method, recording forms such as productivity, maintenance, and production numbers used by the planning department of the enterprise were also used. To evaluate the efficiency, the data on the first day when the product entered the line was taken, and the data were randomly evaluated on the 7th day from the following days for comparison. Each operation was evaluated separately by recording the loss (depending on the management, the foreman and the operator) and the effective working hours. Data collection was carried out with the help of daily transaction record forms. Each operator's data were analyzed and included in the measurement. The operation steps of the determined trousers, the technical drawing (Figure 1) and the standard time of each process are given in Table 1.



Figure 1. The Technical Drawing of the Determined Trousers

Table 1. The Operation Steps and the Standard Times of the Trousers

Processes	Machine	Std Time (min)
1- Front piece and pocket bag overlock	3 thread overlock machine	0,37
2- Pocket seam	Lockstitch Machine	0,48
3- Top stitch pocket mouth	Lockstitch Machine	0,35
4- Left fly bottom overlock	3 thread overlock machine	0,22
5- Left fly side overlock	3 thread overlock machine	0,19
6- Attaching zipper to fly	Lockstitch Machine	0,29
7- Left fly seam to front + edge stitching	Lockstitch Machine	0,46
8- Fly side overlock	3 thread overlock machine	0,34
9- Closed Fly seam + edge stitching	Lockstitch Machine	0,38
10- Front taping	Lockstitch Machine	0,31
11- Fly edge stitch	Lockstitch Machine	0,52
12- Pocket bag seam	5 thread overlock machine	0,31
13- Back dart seam	Lockstitch Machine	0,42
14- Back interlining dart seam	Lockstitch Machine	0,43
15- Interlining the center back	3 thread overlock machine	0,32
16- Center back seam (edge stitch)	Lockstitch Machine	0,26
17- Back interlining bottom hem overlock	3 thread overlock machine	0,20
18- Front interlining bottom hem overlock	3 thread overlock machine	0,22
19- Side seam	5 thread overlock machine	1,32
20- Sewing the Crotch	5 thread overlock machine	1,15
21- Fusing the fusible interlining to the waistband	Iron	0,40
22- Folding the waistband	Iron	1,11
23- Combining the waistband	Lockstitch Machine	0,58
24- Waistband and belt loop seam	Lockstitch Machine	1,43
25- Topstitch waistband	Lockstitch Machine	1,12
26- Belt loop + waistband seam + bartacking	Lockstitch Machine	2,20
27- Hem bottom	Lockstitch Machine	1,30
TOTAL		17,08

2.2. Method

There may be many reasons for productivity losses in the clothing industry, but in most businesses in this industry, the losses are thought to be caused by the operator. In the research, in order to determine the effect of other units on productivity besides the operator, Kurosawa's WPMR model was used to evaluate the sewing line productivity of the clothing business.

Within the scope of this method, the losses encountered during the production processes are categorized as caused by management, foreman, operator and rare parts. The reasons for the losses in each class are considered within the examples given below.

- The losses arising from the management are maintenance and repair, cleaning, practice and etc.
- The losses arising from the operators are coming to work late, reworking the waste product, time given to visitors and etc.
- The losses arising from the foreman are missing parts, materials or defects, misdirections, wrong production schedule, etc.
- The losses arising from the rare parts are missing or incorrect performance of tasks (such as control, tracking, parts feeding).

In the WPMR model, it is designed to measure workforce productivity by determining the planned working hours and not working hours, and the days and times that cannot be worked for some reason although they should be worked on the plan. In the model, productivity controls are obtained daily, evaluations and measures are obtained weekly and analyzes are prepared. The responsibility of each employee is determined by comparing the analyzes prepared with the operating standards. In addition, while taking precautions regarding labor productivity, the structure of the labor input (man-hour structure) should be determined well in order to determine the employee's responsibility correctly (Figure 2). The man-hour structure diagram in the WPMR model was given in Figure 2. The detailed explanations of the symbols that were used in the diagram was given below.

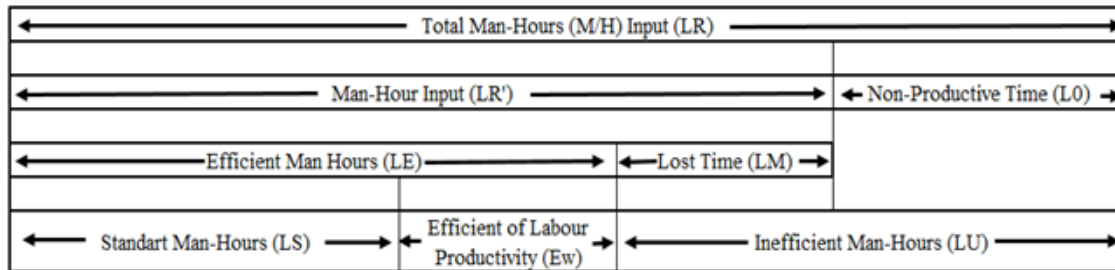


Figure 2. Flow diagram of man-hour structure (Ahuja and Khamba, 2009)

$$LE = LR - LU \quad (1)$$

LR = The total man-hours

LR' = The man-hour input

LE = Efficient man-hours

LS = Q * Standard time

LS = Standard man-hours

Q = The outputs

LU = LOY + LOU + LOO + LOS

LU = Inefficient man-hours

LOY = The total stopping time arising from the management (maintenance and repair, cleaning, practice and etc.)

LOU = The total stopping time arising from the foreman (defects, missing pieces and etc.)

LOO = The total stopping time arising from the operator

LOS = The total stopping time arising from the rare parts

The labor productivity was shown below according to the given symbols above;

$$\text{Labor Productivity (PL)} = LS / LE \quad (4)$$

The labor productivity in the responsibility of the management

$$(POY) = LE / (LE + LOY) \quad (5)$$

The labor productivity in the responsibility of the foreman

$$(POU) = LE / (LE + LOU) \quad (6)$$

The labor productivity in the responsibility of the operator

$$(POO) = LE / (LE + LOO) \quad (7)$$

The labor productivity in the responsibility of the rare parts

$$(POS) = LE / (LE + LOS) \quad (8)$$

The ratio between the efficient man-hours and the total man-hours

$$(PE) = LE / LR \quad (9)$$

General Proses Productivity (PG) = LS / LR

$$(10)$$

The effective and the lost times of the production line were determined with the help of these formulas and the labor force analysis was performed with the WPMR Model.

3. Findings

In line with the information obtained from the daily data record forms, since the number of processes is high, the first day that the product enters the production line and one of the days after the operators get used to the manufacturing of the product is chosen randomly (7th day) and the data of that day are given as an example (Table 2 and Table 3). Times in the tables are evaluated in minutes.

Table 2. The time obtained for all processes on the day the product enters the production line (minutes)

Process	Std Time (min)	Data 1 st Day															
		The Outputs (Q)	The Total Man - Hours (L _R)	Efficient Man - Hours (L _E)	Std Man - Hours (L _S)	Mgmt (L _{OY})	Foreman (L _{OV})	Operator (L _{OO})	Rare (L _{OS})	Inefficient Man - Hours (L _U)	Labor Productivity (P _L =L _S /L _E)	P _{OV}	P _{OU}	P _{OO}	P _{OS}	P _E	P _C
1-Front piece and pocket bag overlock	0,37	980	480	420	362,60	16	19	18	7	60	0,86	0,96	0,96	0,96	0,98	0,88	0,76
2-Pocket seam	0,48	712	480	409	341,76	20	22	21	8	71	0,84	0,95	0,95	0,95	0,98	0,85	0,71
3-Top stitch pocket mouth	0,35	993	480	412	347,55	22	21	17	8	68	0,84	0,95	0,95	0,96	0,98	0,86	0,72
4-Left fly bottom overlock	0,22	1210	480	431	266,20	13	11	16	9	49	0,62	0,97	0,98	0,96	0,98	0,90	0,55
5-Left fly side overlock	0,19	1405	480	441	266,95	8	13	12	6	39	0,61	0,98	0,97	0,97	0,99	0,92	0,56
6-Attaching zipper to fly	0,29	1108	480	427	321,32	14	14	18	7	53	0,75	0,97	0,97	0,96	0,98	0,89	0,67
7-Left fly seam to front + edge stitching	0,46	760	480	425	349,60	16	9	22	8	55	0,82	0,96	0,98	0,95	0,98	0,89	0,73
8-Fly side overlock	0,34	1036	480	433	352,24	19	8	14	6	47	0,81	0,96	0,98	0,97	0,99	0,90	0,73
9-Closed Fly seam + edge stitching	0,38	1002	480	422	380,76	26	9	16	7	58	0,90	0,94	0,98	0,96	0,98	0,88	0,79
10-Front taping	0,31	1050	480	414	325,50	22	11	19	14	66	0,79	0,95	0,97	0,96	0,97	0,86	0,68
11-Fly edge stitch	0,52	710	480	420	369,20	21	13	17	9	60	0,88	0,95	0,97	0,96	0,98	0,88	0,77
12-Pocket bag seam	0,31	1065	480	421	330,15	18	14	18	9	59	0,78	0,96	0,97	0,96	0,98	0,88	0,69
13-Back dart seam	0,42	880	480	433	369,60	14	8	17	8	47	0,85	0,97	0,98	0,96	0,98	0,90	0,77
14-Back interlining dart seam	0,43	833	480	433	358,19	16	9	15	7	47	0,83	0,96	0,98	0,97	0,98	0,90	0,75
15-Interlining the center back	0,32	998	480	437	319,36	14	8	13	8	43	0,73	0,97	0,98	0,97	0,98	0,91	0,67
16-Center back seam (edge stitch)	0,26	1030	480	428	267,80	20	12	14	6	52	0,63	0,96	0,97	0,97	0,99	0,89	0,56
17-Back interlining bottom hem overlock	0,20	1265	480	432	253,00	19	12	6	11	48	0,59	0,96	0,97	0,99	0,98	0,90	0,53
18-Front interlining bottom hem overlock	0,22	1210	480	418	266,20	23	12	14	13	62	0,64	0,95	0,97	0,97	0,97	0,87	0,55
19-Side seam	1,32	417	480	420	550,44	21	9	16	14	60	1,31	0,95	0,98	0,96	0,97	0,88	1,15
20-Sewing the Crotch	1,15	498	480	431	572,70	24	7	8	10	49	1,33	0,95	0,98	0,98	0,98	0,90	1,19
21-Fusing the fusible interlining to the waistband	0,40	850	480	436	340,00	17	9	8	10	44	0,78	0,96	0,98	0,98	0,98	0,91	0,71
22-Folding the waistband	1,11	550	480	424	610,50	23	9	11	13	56	1,44	0,95	0,98	0,97	0,97	0,88	1,27
23-Combining the waistband	0,58	670	480	415	388,60	18	11	22	14	65	0,94	0,96	0,97	0,95	0,97	0,86	0,81
24-Waistband and belt loop seam	1,43	370	480	425	529,10	18	14	11	12	55	1,24	0,96	0,97	0,97	0,97	0,89	1,10
25-Topstitch waistband	1,12	445	480	425	498,40	19	9	13	14	55	1,17	0,96	0,98	0,97	0,97	0,89	1,04
26-Belt loop + waistband seam + bartacking	2,20	390	480	420	858,00	22	11	14	13	60	2,04	0,95	0,97	0,97	0,97	0,88	1,79
27-Hem bottom	1,30	510	480	432	663,00	18	7	11	12	48	1,53	0,96	0,98	0,98	0,97	0,90	1,38

The data of the 1st day the product entered the line is shown in Table 2. According to this, taking into consideration the first operation "Front piece and pocket bag overlock", the daily production volume of this operation is 980 pieces. The standard man-hour (L_S) of the operation in question is 362.60 min. Losses arising from the management (L_{OY}) are 16 min., losses arising from the foreman (L_{OV}) 19 min., operators' losses (L_{OO}) 18 min., and rare parts losses (L_{OS}) are 7 min. With the sum of these losses, it is seen that the total inefficient hours (L_U) is 60 minutes.

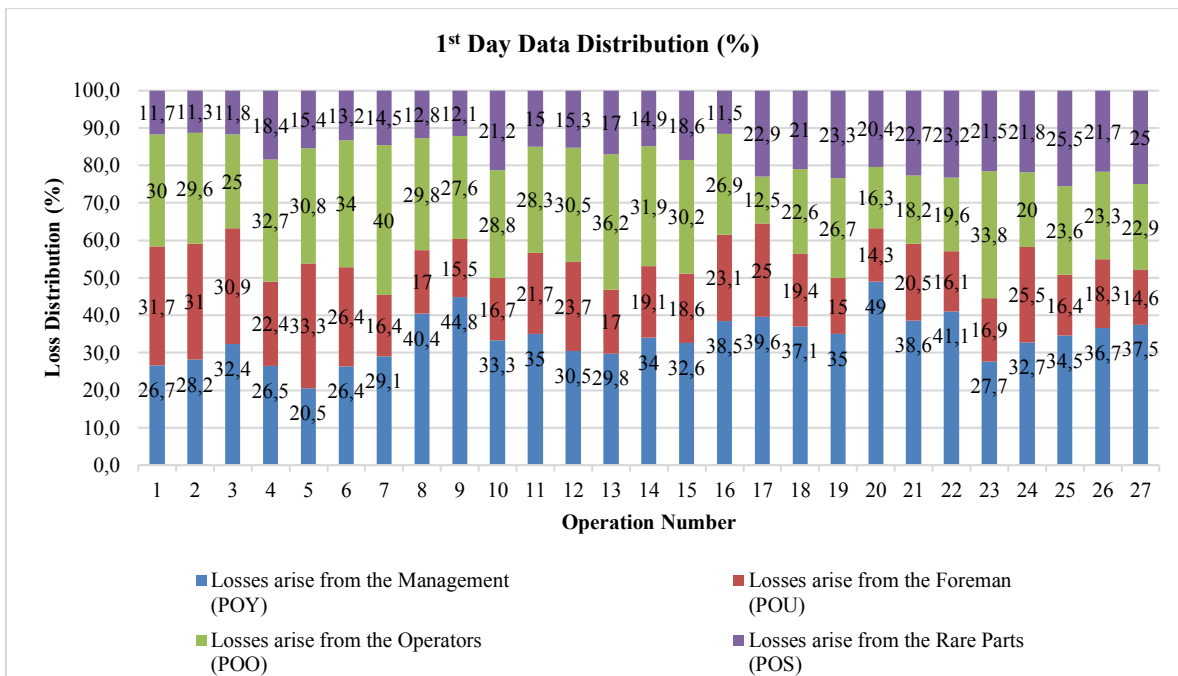


Figure 3. The distribution of the data obtained in the 1st day

As can be seen in Figure 3, the distribution of all lost times detected on the first day arise from the management, foreman, operator and rare parts were calculated. In this way, the losses of the first day could be calculated separately with the help of Kurosawa's WPMR model and it was determined from which unit they mostly originated. When all operations are examined on the day the product enters the line, the management losses are between 20.5% and 49%, the losses caused by the foreman between 14.3% and 33.3%, the operator losses between 12.5% and 40%, and the rare parts losses are between 11.3% and 25.5%. Since the first day that the product enters the line, the operators' adaptation process to the operations, the occurrence of malfunctions in the line setup, more frequent managerial stops of the line, it can be considered as an expected situation to be high. With the efficiency analysis application, on the first day the product enters the line, problematic operations can be detected more easily and it will be easier to determine which unit should be investigated first in order to prevent losses.

Table 3. The time obtained for all processes on the 7th day from the production line (minutes)

Process	Std Time (min)	Data 7 th Day															
		The Outputs (Q)	The Total Man - Hours (L _R)	Efficient Man - Hours (L _E)	Std Man - Hours (L _S)	Mgmt (L _{OY})	Foreman (L _{OU})	Operator (L _{OO})	Rare (L _{OS})	Inefficient Man - Hours (L _U)	Labor Productivity (P _L =L _S /L _E)	P _{OY} L _E /L _E +L _{OY}	P _{OU} L _E /L _E +L _{OU}	P _{OO} L _E /L _E +L _{OO}	P _{OS} L _E /L _E +L _{OS}	P _E L _E /L _R	P _C L _S /L _R
1-Front piece and pocket bag overlock	0,37	1130	480	450	418,10	8	7	10	5	30	0,93	0,98	0,98	0,98	0,99	0,94	0,87
2-Pocket seam	0,48	845	480	443	405,60	6	11	14	6	37	0,92	0,99	0,98	0,97	0,99	0,92	0,85
3-Top stitch pocket mouth	0,35	1078	480	446	377,30	8	10	12	4	34	0,85	0,98	0,98	0,97	0,99	0,93	0,79
4-Left fly bottom overlock	0,22	1364	480	453	300,08	7	5	11	4	27	0,66	0,98	0,99	0,98	0,99	0,94	0,63
5-Left fly side overlock	0,19	1456	480	454	276,64	7	5	10	4	26	0,61	0,98	0,99	0,98	0,99	0,95	0,58
6-Attaching zipper to fly	0,29	1320	480	451	382,80	9	6	7	7	29	0,85	0,98	0,99	0,98	0,98	0,94	0,80
7-Left fly seam to front + edge stitching	0,46	882	480	447	405,72	6	12	10	5	33	0,91	0,99	0,97	0,98	0,99	0,93	0,85
8-Fly side overlock	0,34	1120	480	459	380,80	5	5	8	3	21	0,83	0,99	0,99	0,98	0,99	0,96	0,79
9-Closed Fly seam + edge stitching	0,38	1123	480	456	426,74	6	7	6	5	24	0,94	0,99	0,98	0,99	0,99	0,95	0,89
10-Front taping	0,31	1325	480	451	410,75	9	5	9	6	29	0,91	0,98	0,99	0,98	0,99	0,94	0,86
11-Fly edge stitch	0,52	869	480	452	451,88	7	6	8	7	28	1,00	0,98	0,99	0,98	0,98	0,94	0,94
12-Pocket bag seam	0,31	1326	480	453	411,06	5	10	8	4	27	0,91	0,99	0,98	0,98	0,99	0,94	0,86
13-Back dart seam	0,42	1010	480	451	424,20	5	7	11	6	29	0,94	0,99	0,98	0,98	0,99	0,94	0,88
14-Back interlining dart seam	0,43	974	480	453	418,82	5	7	12	3	27	0,92	0,99	0,98	0,97	0,99	0,94	0,87
15-Interlining the center back	0,32	1086	480	452	347,52	7	8	9	4	28	0,77	0,98	0,98	0,98	0,99	0,94	0,72
16-Center back seam (edge stitch)	0,26	1214	480	456	315,64	7	5	8	4	24	0,69	0,98	0,99	0,98	0,99	0,95	0,66
17-Back interlining bottom hem overlock	0,20	1415	480	451	283,00	8	9	7	5	29	0,63	0,98	0,98	0,98	0,99	0,94	0,59
18-Front interlining bottom hem overlock	0,22	1397	480	462	307,34	5	4	6	3	18	0,67	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,64
19-Side seam	1,32	465	480	454	613,80	6	5	10	5	26	1,35	0,99	0,99	0,98	0,99	0,95	1,28
20-Sewing the Crotch	1,15	571	480	455	656,65	6	6	10	3	25	1,44	0,99	0,99	0,98	0,99	0,95	1,37
21-Fusing the fusible interlining to the waistband	0,40	1163	480	463	465,20	5	3	9	0	17	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,96	0,97
22-Folding the waistband	1,11	602	480	454	668,22	9	7	10	0	26	1,47	0,98	0,98	0,98	1,00	0,95	1,39
23-Combining the waistband	0,58	742	480	448	430,36	8	7	10	7	32	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98	0,93	0,90
24-Waistband and belt loop seam	1,43	403	480	443	576,29	9	8	12	8	37	1,30	0,98	0,98	0,97	0,98	0,92	1,20
25-Topstitch waistband	1,12	475	480	444	532,00	7	9	14	6	36	1,20	0,98	0,98	0,97	0,99	0,93	1,11
26-Belt loop + waistband seam + bartacking	2,20	408	480	444	897,60	7	11	10	8	36	2,02	0,98	0,98	0,98	0,98	0,93	1,87
27-Hem bottom	1,30	532	480	451	691,60	8	7	9	5	29	1,53	0,98	0,98	0,98	0,99	0,94	1,44

The data belonging to the 7th day of the product chosen randomly in the band are shown in Table 3. When the first operation "Front piece and pocket bag overlock" was examined again on the 7th day, it was seen that the daily production number of this operation increased to 1130 pieces. The standard man-hour (L_S) is 418.10 min. on this day of the operation. Losses arising from the management (L_{OY}) are 8 min., losses arising from the foreman (L_{OU}) 7 min., operators' losses (L_{OO}) 10 min., and rare parts losses (L_{OS}) are 7 min. With the sum of these losses, it is seen that the total inefficient hours (L_U) is 10 min.

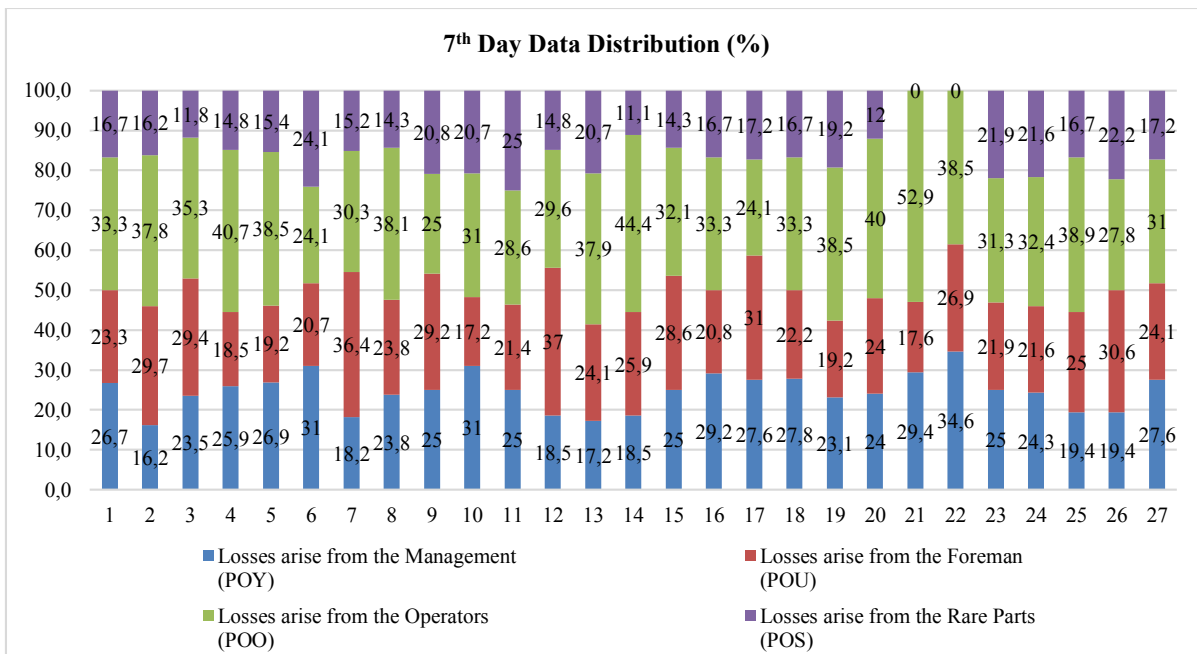


Figure 4. The distribution of the data obtained in the 7th day

When all the operations belonging to the 7th day shown in Figure 4 are examined and it is seen that the total loss in operations is between 16.2% and 34.6% belonging to management, between 17.2% and 37% losses belonging to foreman, between 24.1% and %52.9 belonging to operators, and between 0% and 24.1% belonging to rare parts. If these lost times are examined by Kurosawa's labor force method, on the 7th day, it can be determined which unit will be investigated and studied first in order to prevent these losses.

When the 7th day data of the production in the line is examined, the rare parts losses were zeroed in only two processes. In all other processes, all types of losses (managerial, operator induced, foreman, and rare parts losses) appear to exist. The expected situation after the product gets used to the line is the disappearance of the managerial, rare parts and foreman-related losses and the reduction of the losses caused by the operators.

The comparison of the "Inefficient man-hours (LU)" obtained after the product gets used to the line (7th day) and the day the product enters the line is shown below (Figure 5).

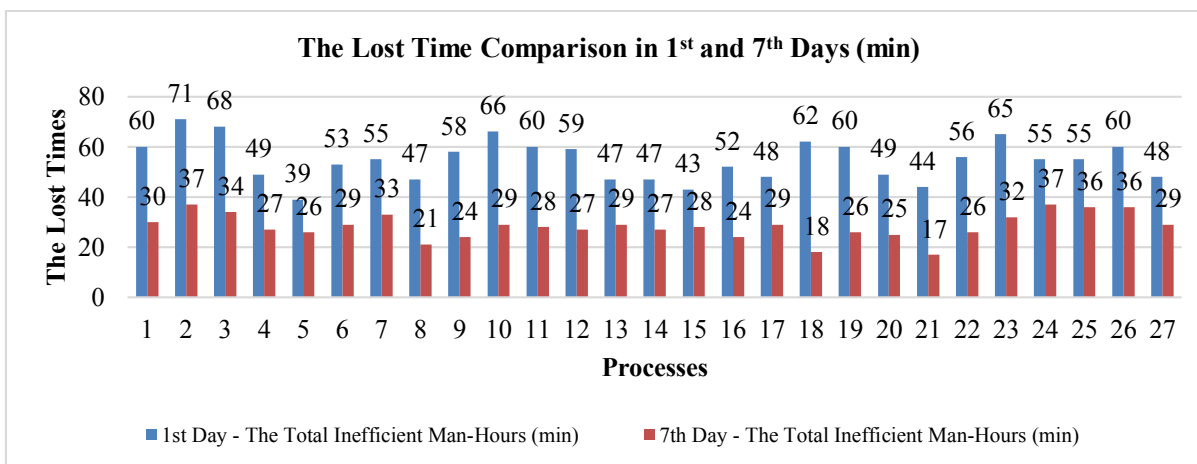


Figure 5. The total lost times in 1st and 7th days

In the comparisons, it is seen that the values for the 7th day are lower than the first day, and this is an expected result. However, although the units of the factory have had enough time to get used to the product, different lost times were measured for each operation on the 7th day as well. All production activities of the order completed within the scope of 10 days and the distribution of the losses caused by the management, foreman, operators and rare parts is shown below (Figure 6).

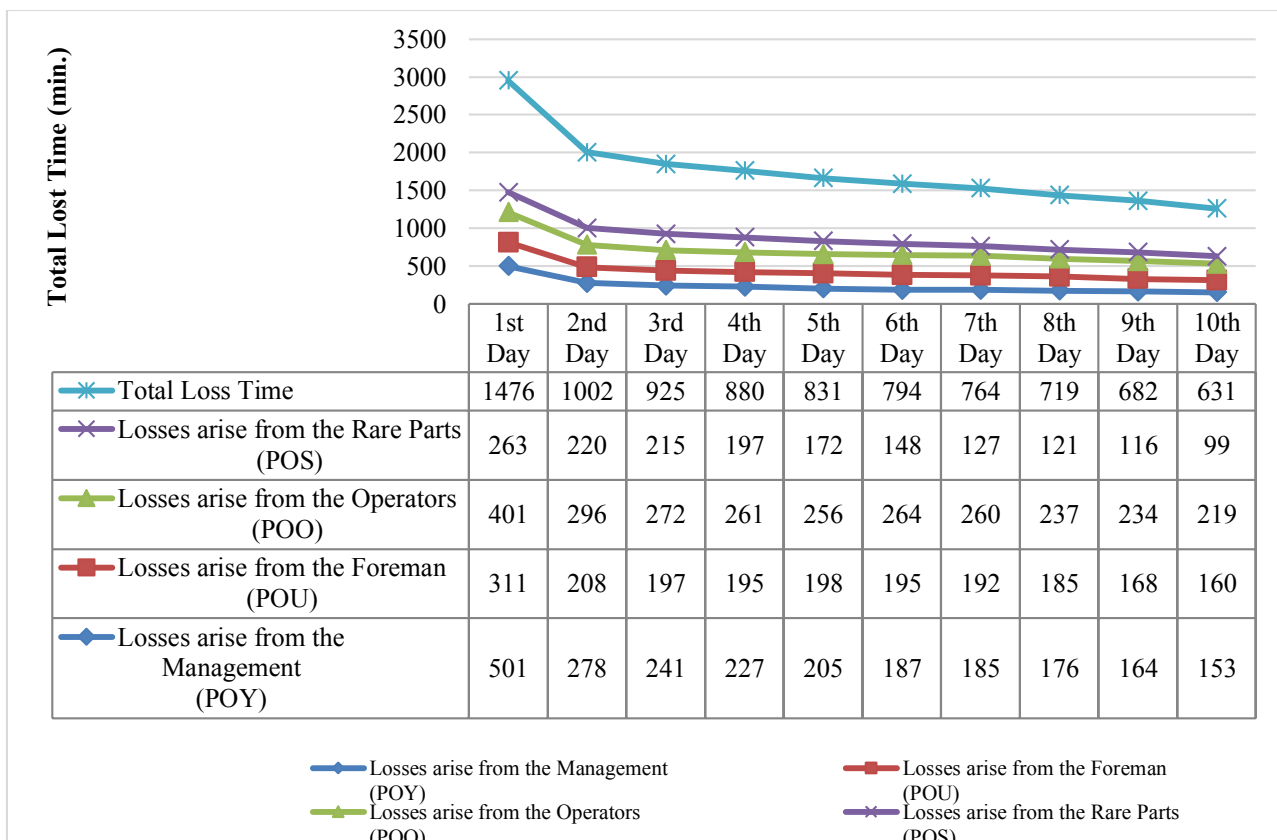


Figure 6. The distribution of the lost times within 10 days

Total loss times of all operations in the sewing band decreased by 49% on the 7th day and 57% on the 10th day compared to the 1st day. While 72% of the lost time on the first day is the sum of management, foreman and rare parts losses, 65% of the lost time in all operations on the 10th day consists of management, foreman and rare parts losses. Despite the increase in productivity, the high ratio of management, foreman losses and rare parts losses to total losses is remarkable.

4. Conclusion

In today's economic conditions, market conditions mostly determine the product's price, not companies. In this case, companies should be able to offer the product that can create demand in market conditions at the demanded price. The businesses may not be able to interfere with market conditions and external factors. However, they have the opportunity of providing a competitive advantage compared to other businesses by reducing their internal costs.

Measuring labor productivity is an essential element for clothing companies. Labor productivity is a factor that directly affects deadlines, operating profitability, and production costs. Although companies make use of the daily production tracking forms and the operator's daily production control charts in calculating labor productivity, the losses are still not clearly expressed. Therefore, the resulting productivity losses may not be analyzed correctly, the productivity losses caused by the management are hung on the operator, and the productivity losses caused by the operator on the foreman and wrong results are likely to be obtained, accordingly.

Kurosawa model is one of the methods that can be used to achieve the primary reason behind the loss of efficiency. Since there is no similar application in the literature regarding the clothing industry, a sample study of the Kurosawa model was conducted on an order. Within the scope of the study, the data coming from the 1st and 7th day of trouser production in the company were compared. In order to obtain more systematic results regarding the productivity of the production and to determine whether the problems in the system arises from managerial reasons or caused by certain operations or operators, regular monitoring should be carried out by recording all orders entering the line. In productivity analysis, the increase in productivity compared to the beginning can be perceived as a satisfactory result.

In this study, it is clearly seen that although the productivity has increased on the 7th day compared to the first day, there were still losses (in the 7th day) which were expected to be eliminated. These losses that were seen in

the 7th day were close to the first day losses especially for some operations, but they did not decrease the total productivity owing to the other losses that were reduced during the production. So these hidden losses can easily be decipherable with the help of this model. A single product was considered to improve the applicability of this method in the clothing industry. By applying the method to different products and different manufacturing lines, the effects of different factors on productivity can also be evaluated.

In the study, the productivity factor was calculated on the basis of lost time both on the basis of the enterprise and on the basis of the business units, unlike the previous studies in the literature. For this reason, the unit causing the inefficiency could be determined and all the inefficiency reasons were not put on the operators' back.

Now, where even the smallest cost reduction is of great importance, the importance of methods that will easily determine which product has a problem in which operation and from which unit (management, operator, foreman or rare parts) this problem arises becomes more relevant. Besides, while it is a typical result that the productivity increases day by day and decreases the losses after the product enters the production line in classical productivity analyzes, in this model, even though the productivity increases day by day, it will play an important role to see where the decreasing losses are caused and to take measures to minimize them.

Considering the start and end days of the order, there is a significant decrease in the losses due to the stoppages. This leads many managers to focus on operator activities, preventing them from investigating the source of losses. In general, companies spend their time on increasing the efficiency of the operation-operator productivity. They attribute the increase in operation-operator efficiencies to the increase in overall efficiency. However, besides the operation-operator efficiencies in the manufacturing sector, the management, foreman, and rare part efficiencies also affect the whole process as explained in the method and were proven in Figure 6. This is the point that has been determined by the study and is the main point to be emphasized. Since the study is the first application in clothing production, it is thought that it will contribute to closing this gap in the literature. In further studies, the causes of foreman, management and rare part losses, which have an effect on productivity as well as the operator, will be investigated with different methods.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Ahuja, I. P. S. And Khamba, J. S., 2009, Investigation of Manufacturing Performance Achievements Through Strategic Total Productive Maintenance Initiatives, *Int. J. Productivity and Quality Management*, vol. 4, no 2, pp.129–152.
- Akçakoca, H., Aykul, H., Taksuk, M., Ediz, I. G. And Dixon-Hardy, D. W., 2006, Labour Productivity Model (WPMR System) and its Application to the Stripping Area of Garp Lignite Enterprise in Turkey, *Mining Technology*, vol. 115:1, pp.12-23, DOI: 10.1179/174328606X98321.
- Arslan, A., 2012. Hazır giyim işletmelerinin ergonomik olarak düzenlenmesinin çalışma verimliliği ve kalite üzerindeki etkisi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 35-46. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/verimlilik/issue/21762/233925>.
- Atilla, F., 2008, Üretim Yönetiminde Verimlilik Sırları: Yöneticilere İpuçları, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- Balkan, D., 2019. Tekstil Sektöründe Verimlilik Ölçümü ve Bir Uygulama, *Tekstil ve Mühendis*, 26: 113, 79-85 DOI: doi.org/10.7216/1300759920192611309.
- Cabral, R. And Mollick, A. V., 2011, Intra-Industry Trade Effects on Mexican Manufacturing Productivity Before and After NAFTA, *The Journal of International Trade & Economic Development: An International and Comparative Review*, vol. 20:1, pp. 87-112, DOI: 10.1080/09638190902836014.
- Demirbaş, Z. A., 2019, Examination of Appropriate Algorithms for Apparel Industry in Assembly Line Balancing, MSc. Thesis, Tekirdağ Namık Kemal University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Textile Engineering.
- Doğan, A. And Aydın, İ., 1991, İmalatçı Kamu Kuruluşlarında Maliyet ve Verimlilik Karşılaştırmaları, Milli Produktivite Merkezi Yayınları, Ankara.
- Doğan, N. And Özgür, E. Y., 2017. Efficiency Measurement: A Case Study of A Firm in The Textile Sector, *Hitit University Journal of Social Sciences Institute*, Year 10, Issue 1, June 2017, pp. 35-44.
- Güner, M., 2010. Tekstil ve Konfeksiyonda İş Etüdü, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Holl, A., 2016. Highways and Productivity in Manufacturing Frms, *Journal of Urban Economics*, vol. 93, pp.131-151.
- Kahya, E. And Polat, O., 2007. The Implementation of Workshop Productivity Management by Ratios (WPMR) to a Mechanical Workshop in a Company, *Verimlilik Dergisi*, no 2, pp. 9-36.
- Kalaoğlu, F. And Sarıçam, C., 2007. Analysis of Modular Manufacturing System in Clothing Industryby Using Simulation, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, vol. 15, No. 3 (62), July / September.
- Kim, T. W., Lee, H. S., Park, M. And Yu, J. H., 2011. Productivity Management Methodology Using Productivity Achievement Ratio, *KSCE Journal of Civil Engineering* vol. 15(1), pp. 23-31, DOI 10.1007/s12205-011-0983-5.
- Konuk, A. And Önder, S., 2008. Productivity and Rentability at the Boron Mine Enterprise, *Eng&Arch.Fac. Eskisehir Osmangazi University*, Vol. XXI, No:1.

- Kumaş, Z., Sabir, E. C. And Duru Baykal, P., 2016. The Using of Work Study Technique for Process Productivity of Apparel Plant, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 31(1), pp. 175-189.
- Kurosawa, M., Ohtale, K. And Ariga, K., 2005. Productivity, Training, and Human Resource Management Practices, Disentangling Complex Interactions Using A Survey of Japanese Manufacturing Firms, Kyoto University.
- Özkan, S., 2010. Etkin Verimlilik Ölçme ve Değerlendirme Yöntemi Olarak Kazukiyo Kurusawa Modelinin Bir Üretim İşletmesinde Uygulanabilirliğine Yönelik Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Özkan, A., Aydoğdu, A., Korkmaz, M. And Yahyaoglu, G., 2011. Strategic Cost Management – Target Cost – Applied Study Directed to Applicability of Kazukiyo Kurusawa AIPR Model as an Effective Productivity Assessment and Evaluation Method in A Cable Production Firm, Akademik Bakış Dergisi, Sayı: 25.
- Pekel, H. N., 2001. İşletmelerde Motivasyon-Verimlilik İlişkisi Devlet Hava Meydanları İşletmesi Antalya Havalimanı Çalışanları Arasında Bir Örnek Olay Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı.
- Prokopenko, J., 1998. Verimlilik Yönetimi, MPM Yayınları, No: 476, Ankara.
- Tangen, S., 2005. Demystifying Productivity and Performance, International Journal of Productivity and Performance Management, vol. 54, no 1, pp.34-46, doi: 10.1108/17410400510571437.
- Tanuwidjaja, E. And Thangavelu, S., 2007. Structural Change and Productivity Growth in the Japanese Manufacturing Industry, Global Economic Review: Perspectives on East Asian Economies and Industries, vol. 36:4, pp. 385-405, DOI: 10.1080/12265080701694603.
- Tor, S. S., 2011. The Demographic Factors, In Organisations, That Are Effecting The Job Satisfaction And Productivity: One Exercise Of A Company In Food Industry In Karaman, Thesis of Master, Department of Business Administration.
- Uçmuş, E. And Kaçar, S., 2015. Bir Akü Firmasında İşgücü Verimlilik Analizi, 5. Ulusal verimlilik kongresi, Ankara, 6-7 Ekim.
- Ünal, C., 2018. Takım Elbise Ceket Üretiminde İş Akışı ve Standart Birim Sürenin Belirlenmesi, SETSCI Conference Indexing System, Volume 3, 487-490.



FARKLI DUVAR MALZEMELERİNE SAHİP YIĞMA BİR BİNANIN 2007 VE 2018 DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI

Bilal BARAN^{1*}, Kanat Burak BOZDOĞAN², İsmail İsa ATABEY¹

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Deprem Yönetmeliği,
Yığma Bina,
Periyot,
Duvar Malzemesi,
Spektrum.*

Öz

Bu çalışmada Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde olduğu kabul edilen 2 katlı yığma bir binanın dayanıma göre tasarım, şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım esaslı analizleri, StatiCAD-Yığma paket programı yardımıyla 2007 ve 2018 Türkiye Bina Deprem yönetmelikleri kullanılarak yapılmıştır. Duvarlarda farklı iki malzeme (Tuğla ve Gazbeton) kullanılmasının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında aynı örnek bina SAP2000 programı kullanılarak analiz edilerek StatiCAD-Yığma ile SAP2000 sonuçlarının uyumluluğu araştırılmıştır. SAP2000 ile analizde duvarlar Shell eleman olarak modellenmiştir. Çalışma sonucunda 2007 Deprem Yönetmeliği ile hesaplanan taban kesme kuvveti TBDY 2018'e göre hesaplanan kesme kuvvetinden tuğla binada %176, gazbeton binada %190 fazla bulunmuştur. TBDY 2018'de ise modal analiz ve ampirik formül ile tespit edilen taban kesme kuvvetlerinde yaklaşık %25 fark tespit edilmiştir.

COMPARISON OF MASONRY BUILDING CONSTRUCTED FROM DIFFERENT WALL MATERIALS ACCORDING TO 2007 AND 2018 TURKISH EARTHQUAKE CODES

Keywords

*Earthquake Codes,
Masonry,
Period,
Wall Materials,
Spectrum.*

Abstract

In this study, a 2-storey masonry building, which is considered to be in the campus area of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University in Nevşehir, was designed according to strength, deformation and design-based analyzes were made using the 2007 and 2018 Turkey Building Earthquake Codes with the help of StatiCAD Masonry package program. The effect of using two different materials (Brick and Aerated Concrete) on the walls on the results was investigated. Within the scope of the study, the same sample building was analyzed using the SAP2000 program and the compatibility of StatiCAD-Masonry and SAP2000 results was investigated. In the analysis with SAP2000, the walls are modeled as Shell elements. As a result of the study, the base shear force calculated with the 2007 Earthquake Code was found to be 176% higher in the brick building and 190% in the aerated concrete building than the shear force calculated according to TBDY 2018. In TBDY 2018, approximately 25% deviation was detected in the base shear forces determined by the modal analysis and empirical formula.

Alıntı / Cite

Baran, B., Bozdoğan, K.B., Atabey, İ.İ., (2022). Farklı Duvar Malzemelerine Sahip Yığma Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1066-1075.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Baran, 0000-0002-2568-7035
K.B. Bozdoğan, 0000-0001-7528-2418
İ.İ. Atabey, 0000-0002-7026-5579

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.09.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.05.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.06.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

* İlgili yazar / Corresponding author: bilalbaran@nevsehir.edu.tr, +90-384-228-1000

1. Giriş (Introduction)

Türkiye dünyanın aktif ve tehlikeli fay hatları üzerinde yer almaktadır. Mevcut yapıların %90'dan fazlası deprem riski altındadır (Amani vd., 2020). 18 Mart 2018 Tarihli ve 30364 Sayılı Resmî Gazete'de yayınlanan 2018 TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) ile deprem bölgesi kavramı terk edilmiş bunun yerine sismik tehlike analizi kavramına geçilmiştir. Bu kavramla birlikte hesaba katılan deprem yüklerinde önemli oranda değişiklikler olmuştur.

Yığma yapılar, taşıyıcı yapı elemanları duvarlar, döşemeler, döşemelerin mesnetlendiği hatıllar ve şerit temellerden oluşan yapılardır. Çeşitli malzemelerden oluşan duvarlar, döşemelerden iletilen düşey ve yatay yükleri şerit temellere iletirler. Türkiye'de yeterince mühendislik hizmeti almamış yığma yapılar mevcuttur. Bu da ülkemizde meydana gelen depremler sonucunda yığma yapılarda büyük hasarlara sebep olmaktadır (Atabey ve Kani, 2014).

Literatürde yığma yapılar ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Çılı (1978), yığma binaların yatay yüklere göre analizi için kullanılacak bir yöntem önermiştir. Çalışma kapsamında önerilen yöntemin işlem adımları bir örnek üzerinde adım adım açıklanmıştır.

Atabey ve Kani (2014), yığma bir okul binasını 2007 Deprem Yönetmeliğine göre hem analitik yöntem ile hem de StatiCAD-Yığma paket programı ile performans analizini yapmışlardır. Program ile analitik yöntem sonuçları karşılaştırılmış ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçlarda tasarım ve malzeme açısından yetersiz olan bina göçme sınırı performans seviyesinde bulunmuştur.

Oyguç (2017), 2011 Van depremi sonrası yığma yapılarda oluşan hasarları gözlemlemiştir. Düşük kaliteli kerpiç duvar malzemesi kullanımının devrilme sonucu oluşan yığma yapı hasarlarını arttırdığını belirtmiştir.

Smyrou (2017), dört katlı kuşatılmış iki yığma binanın deprem davranışlarını incelemiştir. Analizlerinde Muradiye'de oluşan ve Van Merkez'de beklenen deprem kayıtlarını kullanmıştır. Çalışmada binaların dolgu duvarlı olması durumundaki davranışı ile de karşılaştırmalar yapılmıştır. Kuşatılmış yığma yapıların, aynı özelliklerde dolgu duvarlı olarak modellendiği betonarme yapılara kıyasla dayanımlarının ve çevrimsel enerji sönüm kapasitelerinin sırasıyla %33 ve %46 oranlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yıldızoğlu ve Can (2018), StatiCAD-Yığma programını kullanarak Bayburt il merkezinde bulunan Korkut Ata Lisesi yığma yapısının 2007 Deprem Yönetmeliği ve 2013 Riskli Yapılar Yönetmeliği hükümlerince performans analizini yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda ele alınan yapının 50 yılda gerçekleşme ihtimali %10 olan depremlerde göçme durumunda olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldızlar ve Akçay (2018), tarihi yığma bir binanın güçlendirme işlemleri öncesi mevcut durumunu araştırmışlar ve emniyet seviyesini hızlı durum tespit yöntemi ile incelemişlerdir. Yaptıkları analiz sonuçlarına göre yapının risk durumu açısından "Yüksek Risk" seviyesinde yer aldığını tespit etmişlerdir.

Kumbasaroğlu ve Çelik (2019), çalışmalarında tarihi Yanıkoğlu Cami'sinin analitik modelini oluşturmuşlardır. Eşdeğer deprem yükü hesabı ile yapının 2017 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğüne yayımlanan Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzuna göre Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Akçay ve Yıldızlar (2019), tarihi bir yığma yapının taşıyıcı elemanlarından olan duvarlardaki kesit artırımının yapısal maliyet ve emniyetteki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kademeli kesit artırımının olduğu 20 adet yığma yapı modeli ve mevcut yapıyı temsil eden 1 adet referans model kullanmışlardır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin emniyetle taşınmadığını ve mevcut yapıya 14728 m³ ile 1670 m³ aralığında değişen ilave taşıyıcı eleman hacimlerine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Amani vd. (2020) araştırmalarında 1998 ve 2007 yönetmelikleri ile 2018 deprem yönetmeliğini örnek bir yığma bina üzerinde karşılaştırmışlardır. 2007 yönetmeliğine göre inşaa edilen örnek bir bina üzerinden elde ettikleri sonuçlara göre, 2018 yönetmeliğine göre hesaplanan taban kesme kuvvetinin 2007 ve 1998 yönetmeliklerinden sırasıyla %42 ve %77 daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Kuran vd. (2020), TBDY-2018 ve DBYBH-2007 kapsamında yığma binalar ile ilgili hükümleri değerlendirerek karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, TBDY-2018'e göre ivme değeri 0.10 g üzerindeki deprem etkisindeki donatısız yığma bina tasarımı yapmanın mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada DBYBH-2007 kapsamında inşa edilen mevcut donatısız yığma binaların birçoğunun TBDY-2018 tasarım kriterleri dikkate alındığında kesme kuvveti güvenliğini sağlamadığı gösterilmiştir.

Tilki vd. (2020), tarihi bir yığma binayı bir vaka çalışması olarak ele almışlardır. Sayısal analizler ile tarihi yığma yapının mevcut durumunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada lineer elastik analizlerde sismik parametreler, TBDY 2018'e göre belirlenmiştir. Analizler sonucunda düzlem içi ve düzlem dışı çatlakların yanı sıra deformasyonların yoğun olduğu bölgelerde güçlendirme çalışmaları yapılması önerilmiştir.

Akgül ve Doğan (2020), Ankara-Altındağ ilçesinde farklı katlara sahip, yığma bina stoğunu temsil edecek, 5 farklı tipteki yığma binanın, StatiCAD-Yığma programı ile deprem risk analizlerini yapmışlar ve elde edilen sonuçları TBDY-2018 kapsamında değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, duvarlardaki boşluk yüzdelerinin, katlardaki malzeme özelliklerinin ve bodrum katlarda toprakla çevrili duvar oranlarının zayıf katın belirlenmesinde en etkin parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Angjeliu vd. (2020), tarihi yığma yapıların yapısal sistem bütünlüğünü, DT (Digital Twin) konseptini geliştirilerek incelemişlerdir. Çalışmada malzeme özelliklerinin seçimi ve inşaat aşamaları dikkate alınarak doğrusal olmayan sonlu eleman modeli ile üç boyutlu geometrik model oluşturulmuştur. Bu prosedür ile sistemin mevcut yapısal koşulları yüksek hassasiyetle değerlendirilmiştir. Sunulan yöntemin önleyici bakım veya pratik müdahaleler için gelecekteki olası hasarların ve binanın yapısal elemanlarının geçmiş hasarlarını anlamak için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Shabdin vd. (2020), mevcut donatısız yığma bir yapının sismik performansını değerlendirmek için sarsma masası deneyi yapmışlardır. Çalışmada, iki farklı davranışa sahip tuğla binaların güçlendirme öncesi ve sonrasında davranışını belirlemek için dinamik deneyler gerçekleştirmişlerdir. İlk modelde, çelik kirişler arasındaki bütünlüğü sağlamak ve rijit diyafram davranışı göstermesi için İran Deprem Yönetmeliğine (Standart-2800) göre çelik kirişler ve çelik çubuklar yerleştirirken diğer modelde esnek diyafram kabulü yapmışlardır. Çalışmada döşemenin diyafram olarak görevini yerine getirmesinin meydana gelen hasar seviyesinin kontrol edilmesi ve yapısal çatlakların sınırlandırılması açısından önemli olduğunu göstermişlerdir.

Choudhury vd. (2020), farklı açıklıklara sahip üç yığma perde duvar prototipi ile bu duvarların montajı ile oluşturulan tek odalı donatısız yığma binaları incelemişler ve sayısal model sonuçları ile deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada iki farklı sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Birinci model, duvarın basınç ve çekmede ayrı hasar gösterdiğini kabul eden en basit homojen izotropik malzeme modelidir. İkinci model ise, elastik 8 düğüm noktalı ve homojenleştirilmiş arayüzler aracılığıyla tek tek duvarların ve tüm binanın ayrıştırılmasına dayanmaktadır. Çalışma sonucunda ilk yöntemin, yanal yük taşıma kapasitesinin kabul edilebilir tahminlerini sağlasa bile elde edilen hasar kriterleri açısından genellikle deneysel olarak gözlemlenenlere çok yakın olmadığını tespit etmişlerdir. İkinci modelin ise davranışı doğru bir şekilde temsil ettiği ve elde edilen çatlakların deneysel sonuçlara çok yakın olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle ikinci modelin donatısız yığma binaların analizi için güvenilir bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Karalar ve Çavuşlu (2020), tarihi bir yığma yapının performansı değerlendirmişlerdir. Yığma yapıyı StatiCAD yığma programında 3 boyutlu olarak modellemişlerdir. Yaptıkları performans analizi sonucunda 2018 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak güçlendirme yapmışlardır.

Çoban (2021), yığma yapıların TBDY 2018'e göre deprem performansını araştırmıştır. DBYBHY-2007'ye göre Afyonkarahisar'da projelendirilmiş ve yapımı tamamlanmış olan genel yığma yapı stoğunu temsil edecek şekilde 10 adet yığma bina projesini STA4-CAD yardımıyla modellemiş ve analizlerini yapmıştır. Ayrıca çalışmada duvar imalatında kullanılan tuğla ve harcın basınç dayanımlarındaki değişim yönetmelikte belirlenen değerler için incelenmiş ve bunların yapı performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, harç dayanımının duvar dayanımına göre yapı performansı üzerinde daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Can (2021), 1997-1998 yılları arasında inşa edilen, Zemin + 4 katlı toplam 5 katlı kâgir yapının analizini StatiCAD-Yığma paket programı ile 2018 Deprem Yönetmeliğine göre yapmışlardır. Analiz sonucunda basınç ve kayma gerilmeleri açısından yetersiz kalan duvarlara güçlendirme sıvası önerilerinde bulunulmuştur.

Çaycı ve Eldemir (2021), TBDY 2018 ve DBYBHY 2007'de tanımlanan bina performans seviyelerini karşılaştırılmışlardır. 5 farklı betonarme binayı bilgisayar ortamında modelleyerek statik itme analizi gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda, hasar düzeylerinde iki yönetmelik arasında önemli farklar tespit etmişler ve DBYBHY-2007'e göre performans analizleri gerçekleştirilen yapıların TBDY-2018'e göre yetersiz düzeyde çıkma ihtimalinin olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde olduğu varsayılan 2 katlı yığma bir binanın deprem ve performans analizleri, StatiCAD-Yığma paket programı kullanılarak 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliğine göre yapılmıştır. Çalışma kapsamında donatısız yığma yapılarda iki farklı duvar malzemesi (Tuğla ve Gazbeton) kullanılması durumunda oluşan deprem kuvvetleri ve performans düzeyleri

karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada yığma binaların çubuk elemanlarla modellenmesinin uygunluğu da araştırılmıştır. Bu amaçla ele alınan bina SAP2000 programı ile kabuk elemanlarla modellenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada malzemenin doğrusal elastik davranış gösterdiği ve geometrik nonlineer etkilerin ihmal edilebilecek mertebede olduğu kabul edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada ele alınan yığma binanın performans analizi StatiCAD-Yığma paket programı ve SAP2000 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. StatiCAD-Yığma paket programında eşdeğer çubuk sonlu eleman modeli kullanılmıştır (StatiCAD-Yığma, 2021). Sadece dolu duvar parçaları taşıyıcı olarak kabul edilmiştir. Düşey gerilme kontrolleri deprem durumu için de gerçekleştirilmiştir. Kayma emniyet gerilmesi hesabında depremden kaynaklı ilave normal kuvvetlerde dikkate alınmıştır. SAP2000 ile analizde duvarlar kabuk (shell) eleman olarak modellenmiştir.

2.1. TBDY 2018 ve DBHBYH 2007'nin Yığma Yapılarla İlgili Temel Maddelerin Karşılaştırılması (Comparison of TBDY 2018 and DBHBYH 2007 in Terms of Masonry Structures)

2007 deprem yönetmeliğinde emniyet gerilmeleri yöntemi kullanılırken yürürlükte olan TBDY 2018'de taşıma gücü yöntemi kullanıldığından DBYBHY-2007'de kullanılan duvar basınç emniyet gerilmesi (f_{em}) ve duvar kayma emniyet gerilmesi (τ_{em}) parametrelerine karşılık olarak, TBDY 2018'de yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı f_k , duvar karakteristik kesme dayanımı f_{vk} ve duvarların tasarım dayanımları belirleyen γ_m , γ_s malzeme katsayıları (dayanım azaltma katsayıları) kullanılmaktadır (DBYBHY, 2007; TBDY, 2018). Bu çalışmada donatısız yığma bina analizi yapıldığından, TBDY 2018'de belirtildiği üzere gazbetonda γ_m 1.75, tuğlada 2.0 kabul edilmiştir.

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (1)$$

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_d \leq 0.10 f_b \quad (2)$$

Karakteristik başlangıç kesme dayanımı (f_{vko}), TBDY 2018 'de Tablo 11.3'te verilen değerler doğrultusunda hesaba katılmıştır. E_{duv} değeri yapısal çözümleme için $750 f_k$, duvar kayma modülü (G_{duv}) ise elastisite modülünün %40'ı olarak alınmıştır. Eşdeğer çubuk yöntemi ile yapılan analizlerde, dikdörtgen kesitli bir duvar parçası için elastik yatay rijitlik her iki ucun ankastre olduğu kabulü ile (3) nolu denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k_{duv} = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{12E_{duv}I} + \frac{H}{1.2G_{duv}A}\right)} \quad (3)$$

Burada dolu duvar parçasının yatay en kesit alanı "A", dolu duvar parçasının atalet momenti "I", döşeme üst kotundan döşeme (varsa hatıl) alt kotuna kadar olan uzunluğu "H" ile gösterilmektedir.

Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda (3) nolu denklemin TBDY 2018' de yazım hatası sonucu yanlış yazıldığı sonucuna varılmıştır. Kuran vd. tarafından yapılan çalışmada da bu yazım hatası ifade edilmiştir (Kuran vd., 2020). Literatürden bilindiği üzere (3) nolu denklemin doğru şekli aşağıdaki şekilde olmalıdır.

$$k_{duv} = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{12E_{duv}I} + \frac{1.2H}{G_{duv}A}\right)} \quad (4)$$

TBDY 2018 ile yapılan analizlerde taşıyıcı duvar etkin rijitlikleri brüt rijitliklerin %50'si kadar azaltılmıştır.

Staticad ile analiz yaparken (3) nolu bağıntının yanlış yazımından kaynaklanan hatanın yaklaşık olarak giderilmesi için eğilme etkisinin ihmal edilmesi sonucu duvar etkin rijitlikleri 0.694 katsayısı ile çarpılmıştır.

TBDY 2018 hükümlerinde kesme kuvveti etkisindeki tuğla ve gaz beton kullanılan donatısız yığma yapılar için minimum efektif duvar kalınlığı 240 mm, DBHBYH 2007'de ise aynı tür yapılar için 200 mm olarak belirlenmiştir.

DBHBYH 2007'de Yığma binalarda her bir katın yüksekliği için döşeme üstünden döşeme üstüne en çok 3.0 m sınırı koyulmuşken, TBDY 2018 Tablo 11.4'te maksimum efektif duvar yüksekliğinin efektif duvar kalınlığı oranı $\max(h_{ef} / t_{ef})$ ile belirtilmiştir. Tuğla ve gaz beton kullanılan donatısız yığma yapıları için bu oran 12 olarak verilmiştir. Yönetmeliklerdeki taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu aynıdır.

DBHBYH 2007’de $S(T_1) = 2.5$ ve $R_a(T_1) = 2.0$ olarak tanımlanmış ve bu değerlere bağlı olarak $S_{ae}(T)$ ivme değeri yığma yapının periyodundan bağımsız olarak sabit tanımlanmışken, TBDY 2018’de Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi ($S_{ae}(T)$) ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a) yapının periyoduna bağlı olarak değişmektedir.

2.2 Yığma Bina Performans Düzeyleri (Masonry Building Performance Levels)

TBDY 2018-Madde 3.4’te Bina Performans Düzeyleri, deprem etkisi altında Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi olarak belirlenmiştir.

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmemesi veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde olması durumu “Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi”, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyi “Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi”, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan, onarılması mümkün olan hasar düzeyi “Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi”, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelen binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenen düzey “Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi” olarak tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

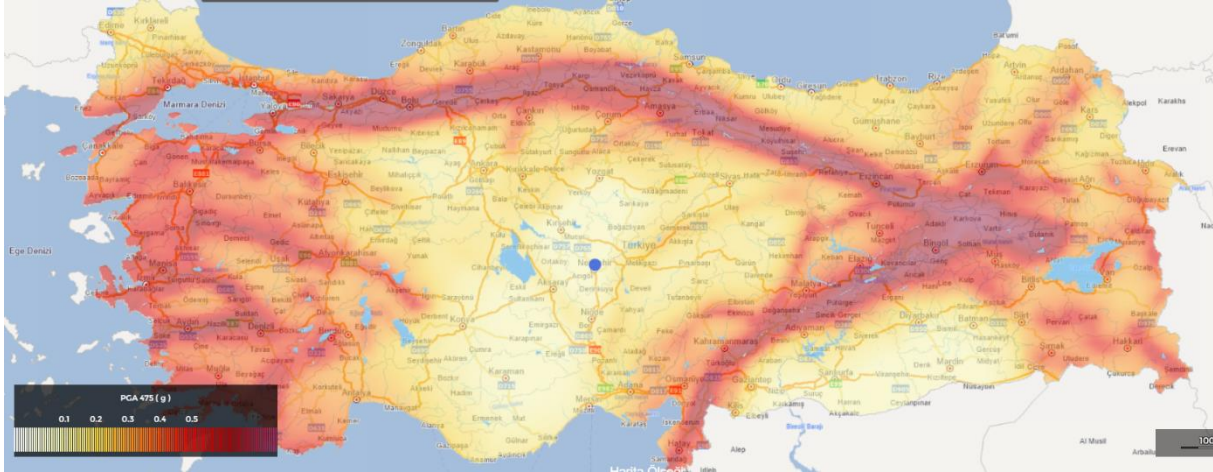
TBDY 2018 Madde 3.5.1.2’ de belirtildiği üzere yığma, hafif çelik ve ahşap binaların, DD-2 deprem yer hareketini etkisinde Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlaması gerekmektedir.

DBYBHY 2007 Madde 7.7.6’ya göre ise yığma binanın iki doğrultudaki tüm duvarlarının kesme kapasitesi deprem etkileri altında yeterli ise, bina Hemen Kullanım Performans Düzeyini sağlamaktadır. Katların herhangi birinde deprem doğrultusunda bu koşulu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %20’nin altında ise binanın Can Güvenliği Performans Düzeyinde olduğu ve bu durumların haricinde binanın Göçme Durumunda olduğu kabul edilmektedir.

3. Ele Alınan Yığma Binanın Özellikleri (Features of the Masonry Building Considered)

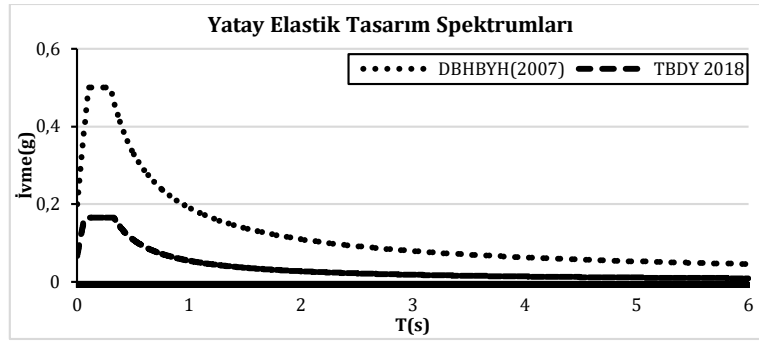
3.1 Konum (Location)

Mevcut yapı stoğunu temsil ettiği kabul edilen donatısız yığma binanın konumu Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde (Enlem/Boylam: 38.679077° / 34.741209°) kabul edilmiştir. Şekil 1’de yapının harita üzerinde konumu gösterilmiştir.



Şekil 1. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kampüs Alanının Konumu (Location of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Campus Area)(AFAD, 2018)

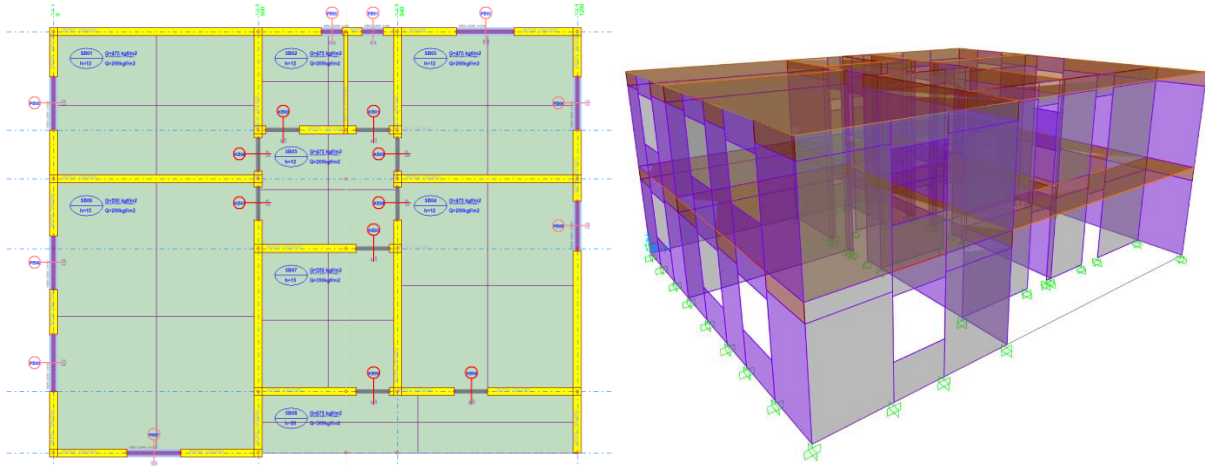
Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı konumu (Enlem/Boylam: 38.679077° / 34.741209°) için 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri uyarınca Yatay Elastik Tasarım Spektrumları hesaplanarak Şekil 2’de gösterilmiştir. Çalışmada zemin sınıfı 2007 deprem yönetmeliği için Z1 ve 2018 deprem yönetmeliği için ZA olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 2. 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliklerine göre Nevşehir ili için Yatay Elastik tasarım Spektrumlarının karşılaştırılması (Comparison of Horizontal Elastic Design Spectra for Nevşehir according to the 2007 and 2018 Earthquake codes)

3.2 Tasarım Parametreleri (Design Parameters)

Çalışma kapsamında ele alınan bina, bodrumsuz ve zemin+1. kattan oluşan 2 katlı bir yapıdır. Kat yükseklikleri 2.8 m, duvar kalınlıkları 200 mm ve yatay hatlıların kesitleri 200*400 mm'dir. Efektif kat yükseklikleri ve duvar kalınlıkları DBYBHY 2007 koşullarını sağlar iken; TBDY 2018 şartlarını sağlayamamaktadır. Ele alınan binanın DBYBHY 2007'ye uygun yapıldığı kabul edilerek TBDY 2018'e göre performans analizi irdelenmiştir. Çalışmada TBDY 2018 kapsamında dayanıma ve performansa göre analizler, 20 cm'lik duvar kalınlığı için yapılmıştır. Tüm yığma binaların betonarme döşeme kalınlıkları eşittir. Döşemeler her bina için 120-150-200 mm kalınlıklarında tasarlanmıştır. Donatısız yığma binanın betonarme bileşenlerinde beton sınıfı C25 alınmıştır. Betonarme döşemelerin rijit diyafram davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Donatısız yığma bina yönetmeliklerde belirtilen "kapsamlı bilgi düzeyi"ndedir. Binanın kat planı ve 3 boyutu Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Donatısız Yığma Yapı Planı ve 3 Boyut (Unreinforced Masonry Building Plan, 3D)

Duvar malzemesi olarak kullanılan tuğla ve gazbetonun her iki yönetmelikte belirlenmiş olan malzeme özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Duvar Malzeme Özellikleri (Wall Material Properties)

Duvar Malzemesi	Düşey Delikli Tuğla (boşluk oranı<%35)		Gazbeton	
	DBYBHY 2007	TBDY 2018	DBYBHY 2007	TBDY 2018
Parametreler				
E_{duv} [MPa]	3810	3810	2325	2325
BHA [N/m ³]	14710	14710	9316	9316
f_{em}, f_k [MPa]	1	5.08	0.6	3.1
τ_{em}, f_{vko} [MPa]	0.25	0.3	0.15	0.3
γ_m	-	2	-	1.75

E_{duv} : Duvar Elastisite Modülü [MPa], BHA: Birim Hacim Ağırlığı [N/m³], f_{em} : Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi (DBYBHY 2007) [MPa], τ_{em} : Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi, (DBYBHY 2007) [MPa], f_k : Yığma Duvar Karakteristik Basınç Dayanımı (TBDY 2018) [MPa], f_{vko} : Karakteristik Kayma Dayanımı (TBDY 2018) [MPa], γ_m : Duvar Malzemesi Güvenlik Sayısı (TBDY 2018) [boyutsuz]

Deprem ve performans analizi için gerekli olan parametreler ise Tablo 2 'de verilmiştir.

Tablo 2. Deprem ve Performans Analiz Parametreleri (Earthquake and Performance Analysis Parameters)

Parametreler	DBYBHY-2007	TBDY-2018
Konum	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kampüsü	
Deprem Bölgesi	3	Enlem/Boylam: 38.679077° / 34.741209°
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	-	DD-2
Yer İvmesi	$A_0=0.20$ g	PGA = 0.090 g
Yerel Zemin Sınıfı	Z1	ZA
Spektrum Katsayısı(S(T))	2.5(sabit)	-
Spektral İvme Katsayısı(A(T))	$A(T) = A_0S(T)I$	-
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi [g] ($S_{ae}(T)$)	$S_{ae}(T) = A(T)g$ =0.5g (sabit)	Bina hakim periyoduna göre değişken
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (S_S)	-	0.207
1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S_I)	-	0.068
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	-	0.166
1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DI})	-	0.054
T_A	0.10 s	0.066 s
T_B	0.30 s	0.329 s
Bina Kullanım Sınıfları (BKS)	-	3
Bina Önem Katsayısı (I)	1	1
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	-	1.5
Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)	-	4
Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)	-	8
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	-	2.5
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a)	2.0 (sabit)	$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B$ $R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B$

3.3 Analiz Sonuçları (Analysis Results)

Çalışma kapsamında analiz edilen donatısız yığma binanın deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır. Ele alınan binada Tuğla ve gazbeton kullanılması durumunda StatiCad kullanılarak hesaplanan ağırlıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Donatısız Yığma Bina Ağırlıkları (Weight of Unreinforced Masonry Building)

	Tuğla	Gazbeton
Toplam Ağırlık	2856.38 kN	2487.36 kN

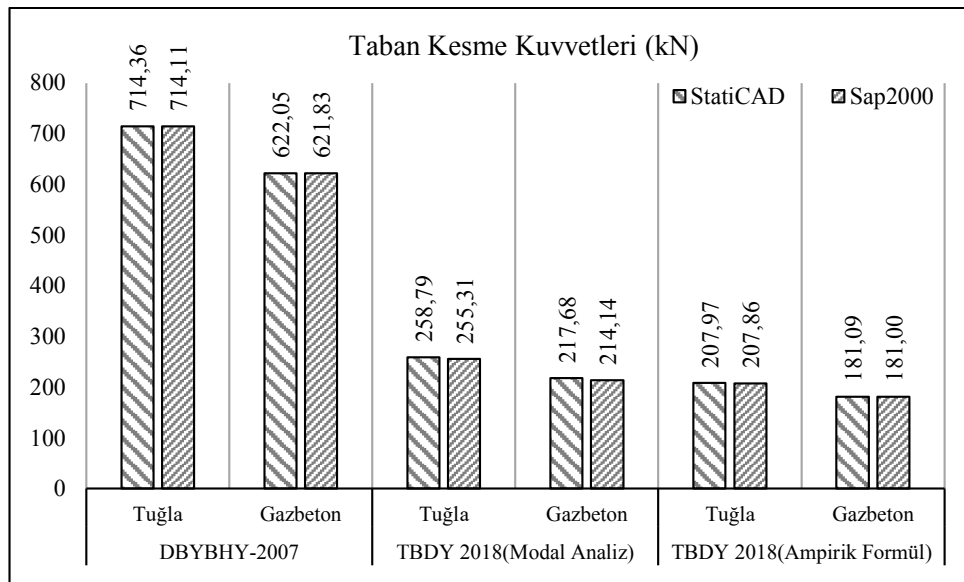
Tablo 3'te görüldüğü üzere duvarlarda Tuğla yerine Gazbeton kullanılması durumunda bina ağırlığı yaklaşık %13 azalmıştır.

Tuğla ve gazbeton kullanılan donatısız yığma binanın modal analiz sonucunda hesaplanan bina hakim periyot değerleri Tablo 4'te verilmiştir. SAP 2000 ile analizlerde, duvarlar kabuk (Shell) eleman ile modellenmiştir. StatiCAD-Yığma paket programında ise eşdeğer çubuk sonlu eleman modeli kullanılmıştır (StatiCAD-Yığma, 2021).

Tablo 4. TBDY 2018'e göre Donatısız Yığma Bina Hakim Periyotları (s) (Unreinforced Masonry Building Fundamental Periods According to 2018 TBDY)

	Tuğla	Gazbeton
StatiCAD	0.11	0.13
SAP2000	0.09	0.11

TBDY 2018'de yer alan ampirik bağıntı ile ise hakim periyot 0.255 sn bulunmuştur. Farklı yönetmeliklere, kullanılan duvar malzemesine ve analiz programlarına göre eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Malzeme, Yönetmelik ve Programlara göre taban kesme kuvvetleri (Base shear forces according to Materials and Codes)

Burada hesapların daha iyi anlaşılabilmesi için 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre Taban kesme kuvvetlerinin hesabı Tuğla duvar için gösterilmiştir.

Tuğla duvar malzemesi kullanılması durumunda DBYBHY 2007'ye göre Taban kesme kuvveti hesabı gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{A_0 * I * S(T)}{R_a} * W = \frac{0.2 * 1 * 2.5}{2} * 2856.38 = 714.1kN$$

TBDY 2018'e göre analiz için öncelikle yük azaltma katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Burada ampirik bağıntıdan hesaplanan periyota göre çözümler gösterilmiştir.

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) * \frac{T}{T_B} = 1.5 + \left(\frac{2.5}{1} - 1.5\right) * \frac{0.255}{0.329} = 2.275$$

Ampirik bağıntı sonucu hesaplanan hakim periyot T_A ile T_B arasında olduğu için S_{ae} , S_{DS} 'e eşittir. Buradan TBDY 2018'e göre Taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_t = \frac{S_{ae}}{R_a} * m_t = \frac{0.166 * 9.81}{2.275} * 291.27 \cong 208.5kN$$

Ele alınan yığma binanın performans analizi DBYBHY-2007 ve TBDY 2018'e göre yapılmıştır. DBYBHY-2007 'ye göre binanın Tuğla ve Gazbeton için hemen kullanım performans düzeyinde olduğu buna karşın ise TBDY 2018'e göre ise Tuğla ve Gazbeton için Sınırlı Hasar Performans düzeyinde olduğu bulunmuştur.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde 2 katlı ve farklı duvar malzemeleri (Tuğla ve Gazbeton) kullanılarak inşa edildiği kabul edilen yığma bir binanın deprem ve performans analizleri, StatiCAD-Yığma paket programı ve Sap2000 yardımıyla 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. StatiCAD-Yığma paket programı ve SAP2000 programında yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla StatiCAD-Yığma programının da kullanmış olduğu eşdeğer çubuk modelinin yığma binalarının davranışını yeterli doğrulukta temsil ettiği söylenebilir. Performans analizi sonucunda DBYBHY-2007'ye göre binanın Tuğla ve Gazbeton için Hemen Kullanım Performans düzeyinde olduğu buna karşın ise TBDY 2018'e göre ise Tuğla ve Gazbeton için Sınırlı Hasar Performans düzeyinde olduğu bulunmuştur. Duvarlarda Gazbeton ile Tuğla malzemesinin kullanılması karşılaştırılacak olursa beklendiği üzere Gazbeton kullanılması durumunda bina ağırlığı azalmakta ve buna bağlı olarak taban kesme kuvveti düşmektedir. 2007 Deprem Yönetmeliği ile hesaplanan taban kesme kuvvetleri TBDY 2018'e göre hesaplanan kesme kuvvetinden tuğla malzeme kullanılan binada %176, gazbeton kullanılan binada %190 fazla bulunmuştur. TBDY 2018 kapsamında modal analiz ve ampirik formüllerle yapılan periyot hesaplarında gazbeton binada %110, tuğla binada %155 fark çıkmaktadır. Her iki durumda periyotlar, yatak elastik tepki spektrumlarının ivmeye duyarlı bölgesinde olsa bile TBDY 2018'de değişken Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı (R_d) nedeniyle modal analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetinin ampirik formüle göre gazbeton binada %20, tuğla binada ise %24 fazla olduğu tespit edilmiştir.

TBDY 2018'de Madde 4.7.3.3'te "*DTS = 1, 1a, 2, 2a ve BYS 6 ≥ olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda hakim doğal titreşim periyodu, 4.7.3.1'den hesaplanmaksızın, doğrudan 4.7.3.4'te verilen ampirik T_pA periyodu olarak alınabilir.*" ifadesi geçmektedir. Bu maddeye göre çalışmamıza konu olan yapının DTS=4 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapıya etki ettirilen taban kesme kuvvetinde yaklaşık %25'lik bir sapma meydana gelebilmektedir. 4.7.3.4'te verilen ampirik denklemde yığma binalar için C_t katsayısı 0.07 olarak verilmektedir. Taban kesme kuvvetindeki farklılık gözetildiğinde C_t katsayısının yığma yapılar için tekrar değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca eşdeğer çubuk yöntemi ile yapılan analizlerde, TBDY 2018'de yer alan elastik yatay rijitlik bağıntısındaki yanlış yazımın düzeltilmesi önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akçay, C., Yıldızlar B., 2019. Yığma Yapılarda Güçlendirmenin Maliyet ve Yapısal Emniyet Açısından Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 34-39.
- Akgül M., Doğan O., 2020. Altındağ/Ankara Özelinde Tipik Yığma Binaların Deprem Risklerinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi. Engineering Sciences (NWSAENS), 15:1-14.
- Amani A., Sağıroğlu S., Doğangün A., 2020. Örnek bir yığma bina üzerinde 1998, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırmalı olarak irdelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25, 13-26.
- Angjeliu G., Coronelli D., Cardani G., 2020. Development of the simulation model for Digital Twin applications in historical masonry buildings: The integration between numerical and experimental reality. Computers & Structures, 238: 106282.
- Atabey İ. İ., Kanit R., 2014. Yığma Bir Okul Binasının Deprem Performans Analizi. Selcuk University Journal of Engineering Sciences, 13(1), 1-11.
- Can Ö., 2021. 5 Katlı Yığma Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Önerileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 689-701.
- Choudhury T., Milani G., Kaushik H. B., 2020. Experimental and numerical analyses of unreinforced masonry wall components and building. Construction and Building Materials, 257: 119599.
- CSI. 2016. Sap2000: Structural Analysis Program, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures - Computers and Structures Inc., USA.
- Çaycı, B. T., Eldemir, O., 2021. TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 Deprem Yönetmelikleri Performans Seviyelerinin Karşılaştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1386-1397.
- Çılı, F., 1978. Yığma yapıların yatay yüklere göre hesabı. Deprem Araştırma Bülteni, 22, 7-25.
- Çoban G., 2021. Mevcut Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin 2018'e Göre İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- DBYBHY (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığından: Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 6.3.2007/26454, 2007
- Karalar M., Çavuşlu M., 2020. Tarihi Rombaki Yığma Yapısının Performans Değerlendirmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(1), 226-247.

- Kumbasaroğlu A., Çelik A. 2019. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Kullanılarak Tarihi Bir Yığma Yapının Sismik Performans Düzeyinin Belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(3), 1590-1600.
- Kuran F., Misir I. S., Aldemir Ö., Tuna E., Firat S., 2020. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Yığma Yapılar Bölümü Üzerine Bir Değerlendirme ve Donatısız Yığma Bina Örnekleri için Karşılaştırmalı Analiz. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 2: 47-60.
- Oyguç R. A., 2017. 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 296-315.
- Shabdin M., Attari N. K. A., Zargaran M., 2020. Shaking table study on the seismic performance of an Iranian traditional Un-Reinforced Masonry (URM) building. *Structures*, 27: 424-439.
- Smyrou E, 2017. Kuşatılmış yığma yapıların deprem davranışı: 2011 Van depremi örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 453-461.
- StatiCAD-Yığma, 2021. <http://www.staticad-yigma.com/>
- TBDY 2018, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", (2018)
- Tilki E., Veliöğlu A., Sayın B., 2020. A case study on numerical simulation of a historical masonry building. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 3(4), 289-294.
- Türkiye Deprem Tehlike Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, (2018)
- Yıldızlar B., Akçay C., 2018. Tarihi eser yapıların emniyet seviyesinin belirlenmesi: Bir durum çalışması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 504-510.
- Yıldızoğlu H., Can Ö., 2018. Yığma Binalarda Deprem Performansının Belirlenmesi (Bayburt Korkut Ata Lisesi Örneği). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 372-380.



TARIMSAL BİR ATIK OLAN HAVUÇ YAPRAĞININ BİTKİ ÇAYI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Beyza TÜRKÖZ, Merve Seçil BARDAKÇI, Ayşe BIYIKLI, Erkan KARACABEY*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Havuç yaprağı, Askorbik asit, Antioksidan kapasite, Fenolik bileşikler, Bitki çayı.</i>	Günümüzde sağlıklı ve dengeli beslenmenin öneminin artmasıyla farklı içerikli bitki çayı tüketimine olan ilgi de artmıştır. Tarımsal bir atık olan havuç yapraklarının yüksek askorbik asit içerdiği bilinmektedir. Bu sebeple havuç yapraklarının kurutularak bitki çayı formunda tüketilebilir hale getirilmesi hem tarımsal bir atığın değerlendirilmesi hem de içeriğindeki askorbik asitten faydalanılması açısından dikkat çekicidir. Bu amaçla bu çalışmada tüketilebilir formda olması amacıyla kurutulan havuç yaprakları farklı sıcaklık ve sürelerde demlenmiştir. Demlenen havuç yapraklarının askorbik asit içeriği, toplam antioksidan aktiviteleri ve toplam fenolik içerikleri tespit edilmiştir. Havuç yaprağının çay olarak değerlendirilmesinde ise infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Farklı sıcaklık (50°C ve 70°C) ve süre (1, 4 ve 7 dakika) parametreleri kullanılarak demleme yapılmış ve elde edilen özütlerin içeriklerine bakılmıştır. Genel olarak demleme sıcaklığı ve süresi çayların biyoaktif özellikleri üzerinde etkili olmuştur. Askorbik asit içeriğinde 50°C 7 dk (sitrik asit ilaveli) demlemede en yüksek verim elde edilmiştir. Vakum kurutucuda kurutulan havuç yaprakları; 50 °C demleme süresine ve sitrik asit ilavesine bağlı olarak 0.95-18.16 mg A.A/100g KM askorbik asit, 98.20-533.11 mg GAE/100g KM fenolik madde miktarı, 47.51-233.18 mg T.E/100g KM antioksidan kapasite ve 70 °C demleme süresine ve sitrik asit ilavesine bağlı olarak 1.07-9.79 mg A.A/100g KM askorbik asit, 101.48-575.76 mg GAE/100g KM toplam fenolik madde, 75.37- 347.91 mg T.E/100g antioksidan kapasite gösterdiği belirlenmiştir. Tarımsal bir atık olan havuç yaprağının içerdiği askorbik asit, fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesinden ötürü sağlıklı yaşamı destekleyecek nitelikte bir bitki çayı olarak değerlendirilmesine yönelik potansiyeli ortaya konulmuştur.

UTILIZATION OF CARROT LEAF, AN AGRICULTURAL WASTE, AS HERBAL TEA

Keywords	Abstract
<i>Carrot leaf, Ascorbic acid, Antioxidant capacity, Phenolic compounds, Herbal tea.</i>	Recently, with the increase in the importance of healthy and balanced nutrition, the interest in the consumption of herbal tea rich in phytochemical components has also increased. It is known that carrot leaves, which is an agricultural waste, contain high ascorbic acid. For this reason, drying carrot leaves and making them consumable in the form of herbal tea is remarkable in terms of both the evaluation of agricultural waste and the use of ascorbic acid in its content. For this purpose, dried carrot leaves in this study were infused at different temperatures and times. Ascorbic acid content, total antioxidant activities, and total phenolic contents of infused carrot leaves were determined. The infusion method was used to evaluate the carrot leaf as a tea. Brewing was made using different temperature (50°C and 70°C) and time (1, 4 and 7 minutes) parameters and the contents of the extracts obtained were examined. In general, the brewing temperature and time had an effect on the bioactive properties of the teas. The highest efficiency was obtained in brewing at 50°C for 7 minutes (with citric acid addition) in the content of ascorbic acid. Carrot leaves dried in vacuum dryer; depending on the duration and citric acid addition brewing at 50 °C it was determined that 0.95-18.16 mg A.A/100g DM ascorbic acid, 98.20-533.11 mg GAE/100g KM total phenolic content, 47.51-233.18 mg T.E/100g DM antioxidant capacity and brewing time of 70 °C 1.07-9.79 mg

* Corresponding author: erkankaracabey@sdu.edu.tr, +90 246 211 1624

A.A/100g KM ascorbic acid, 101.48-575.76 mg GAE/100g KM total phenolic content, 75.37-347.91 mg T.E/100g antioxidant capacity. Carrot leaf, which is an agricultural waste, can be considered as a herbal tea that will support healthy life due to the ascorbic acid, total phenolics and antioxidant activities it contains.

Alıntı / Cite

Türköz, B., Bardakçı, M. S., Bıyıklı, A., Karacabey, E., (2022). Tarımsal Bir Atık Olan Havuç Yaprağının Bitki Çayı Olarak Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1076-1083.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Türköz, 0000-0002-4777-8843
M.S. Bardakçı, 0000-0003-3478-3245
A. Bıyıklı, 0000-0003-0867-0466
E. Karacabey, 0000-0002-0428-2039

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.06.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.06.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Havuç (*Daucus carota L.*), dünya çapında yetiştirilen ve Apiaceae familyasındaki *Daucus* cinsine ait bir bitki olarak bilinmektedir. Tropikal, subtropikal ve ılıman iklim koşullarında ilkbahar, yaz ve sonbaharda yetiştirilen ve yaygın olarak tüketilen sebzelerdendir (Kaur ve Bhullar 2021). Havuç yetiştiriciliği dünyanın çoğu yerinde olduğu gibi ülkemizde de oldukça yaygındır. Türkiye’de havuç hasatı çoğunlukla Orta Anadolu, Akdeniz, Ege ve Güney Marmara bölgelerinde yapılmaktadır. Türkiye’de havuç üretiminde en önemli illerden biri Konya’dır. Türkiye’de 2018 yılı havuç üretiminin %60.7’sinin karşılandığı Konya’da 68 bin 150 dekar alanda toplam 424 bin 636 ton havuç üretilmiştir. Konya’yı 23 bin 500 dekar alanda 132 bin 890 ton havuç üretimi ile Ankara ve 21 bin 505 dekar alanda 58 bin 190 ton havuç üretimi ile Hatay takip etmektedir (TÜİK, 2019).

Sebzeler diyet lifi, fitokimyasallar ve vitaminler bakımından oldukça zengindir. Havuç sebzesi de yüksek provitamin-A (kardenoitler) ve C vitamini içeriğine sahiptir. Aynı zamanda yüksek lif, antioksidan, vitamin ve sağlık için birçok yararlı etkisiyle insan beslenmesinde oldukça önemli ve yaygın olarak tüketilen sebzelerdendir (Que ve ark. 2015) ve tüketildiğinde birçok hastalığa karşı koruyucu etki gösterdiği bilinmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda, havuç kökleri kullanılarak bazı kanser türlerinde gözlemlenen semptomların hafifletilebildiği ve bal ile havuç yaprağının kullanımının açık yaraları ve ülseri temizlemeye yardımcı olduğu belirtilmiştir (Sharma ve ark. 2012).

Havuç sebzesi, kök ve yapraklar olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Havuç yaprakları, kendine özgü tada sahip olması nedeniyle tüketiciler tarafından yenilebilir bir kısım olarak değerlendirilmemektedir. Bundan dolayı genellikle havuç “kök sebze” olarak tüketilmektedir. Yaprak kısmı, hasattan sonra ayrılmakta genelde süt veren hayvanlara yem olarak verilmekte veya değerlendirilmeden atılmaktadır. Ancak yapısında bulundurduğu önemli fitokimyasallar (flavonoidler, fenolik bileşikler, terpenoidler, steroidler, tanenler, kardenoitler ve beta-karoten) (Shete ve L Quadro, 2013) sebebiyle tüketilebilir hale getirilmesi ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca bileşiminde % 18.71 protein; %15.69 lif; % 3.19 yağ ve %33.58 kül içeriğine sahiptir (Puspani ark., 2020).

Bu çalışmada, havuç yapraklarının değerlendirilebilmesi adına bitki çayı formunda kurutulmuş tüketicilere alternatif bir ürün sunmak amaçlanmıştır. Ayrıca havuç yapraklarının yüksek askorbik asit içerdiği bilinmektedir. Ancak askorbik asit yüksek sıcaklıklara ve oksidasyon koşullarına duyarlı bir bileşiktir (Davey ve ark., 2000). Bu sebeple demleme esnasında askorbik asit içeriğinde meydana gelen değişiklikler de incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda askorbik asidin asidik ortamda stabilitesinin yüksek olduğu belirtilmiştir (Campos ve ark. 2009). Dolayısıyla bu çalışmada da askorbik asit stabilitesine olan etkisini belirlemek amacıyla demleme sırasında sitrik asit ilavesinin etkisi de incelenmiştir. Tarımsal bir atık olan havuç yapraklarından tüketime uygun alternatif bir ürün sunmak için vakumlu etüvde kurutulmuş örnekler bitki çayı formuna getirilerek farklı sıcaklık (50°C ve 70°C) ve sürelerde (1,4 ve 7 dk.) demlenmiş, demleme koşullarının biyoaktif bileşiklerin üzerindeki etkisi tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Araştırmada kullanılan havuç yaprakları Konya ilinden uygun şartlarda temin edilmiştir. Laboratuvara getirilen havuç yaprakları ayıklanmıştır. Ardından vakum etüvde kurutulmuş ve nem geçirmemesi için vakumlu torbalarda analiz yapılacağı zamana kadar oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Bütün demlemeler bu kurutulmuş havuç yapraklarında gerçekleştirilmiştir.

2.2. Havuç yapraklarının kurutulması (Drying carrot leaves)

Havuç yapraklarını kurutulmasında vakum etüv kullanılmıştır. Kurutma öncesi yapraklar yabancı ot ve maddelerden arındırılmıştır. Vakum etüvde 60°C sıcaklık ve yaklaşık 80 kPa vakum altında kurutulmuştur.

Tablo 1. Kurutma öncesi/sonrası nem ve ağırlık değerleri (Values of moisture and weight before/after drying)

	Ağırlık, g	Nem, %
Kurutma Öncesi	122.9±0,92	73.93±0.73
Kurutma Sonrası	44.4±0,82	8.48±0.49

2.3. Demleme (Infusion)

Kuru havuç yapraklarının demleme işlemi infüzyon yöntemi ile aşağıdaki tabloda belirtilen koşullara göre yapılmıştır (Tablo 2). Kuru örnekten 1 g tartılmış üzerine 10 ml, 50°C ve 70°C sıcaklığında su eklenmiştir. Demleme işlemi 1, 4 ve 7 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Demleme iki farklı şekilde yapılmıştır. İlki havuç otunun belirtilen sıcaklık ve sürelerde demlenmesi şeklindedir. İkinci ise havuç otundaki askorbik asit içeriğinin korunması amacıyla aynı sıcaklık ve sürelerle ek olarak demlemenin son otuz saniyesinde sitrik asit ilavesi yapılmasıdır. Sitrik asit çözeltisi hazırlanırken; 50 g sitrik asit 100 ml ultra saf suyun içerisinde çözündürülmüş ve dört kat seyreltilerek kullanılmıştır. Demlemenin sonunda katılan 200 µL sitrik asit çözeltisi ile ortam pH sı 6 civarından 3,5-3,6 aralığına düşürülmüştür. Sitrik asit ilavesi ile havuç yaprak çayındaki askorbik asit içeriğinin korunması amaçlanmaktadır. Literatürde ekstraksiyon ortamına organik asit ilavesinin askorbik asit stabilitesini artırdığı ifade edilmiştir (Campos ve ark., 2009).

Demlenen örneklerde filtrasyon aşaması sonrası askorbik asit tayini yapılmıştır. Ardından elde edilen ekstraktlardan toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizleri gerçekleştirilmiştir. Ekstraktlar analize kadar -18°C'de depolanmıştır.

Tablo 2. Demleme Koşulları (Brewing conditions)

Demleme Koşulları		
Sitrik Asit	Sıcaklık, °C	Süre, dk
Eklenmiş	50	1
		4
		7
	70	1
		4
		7
Eklenmemiş	50	1
		4
		7
	70	1
		4
		7

2.4. Askorbik asit içeriğinin belirlenmesi (Determination of ascorbic acid content)

Kuru havuç yapraklarının demlenmesiyle elde edilen çaylarda, askorbik asit içeriği yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) (Shimadzu, LC-20A/ Prominence, Columbia, USA), Giovanelli vd. (2002) tarafından belirtilen metotta birtakım modifikasyonlar yapılarak tayin edilmiştir. Demleme sonrası bekletilmeden filtre edilmiştir. Enjeksiyon yöntemi ile berrak ekstraktan örnek alınmıştır. Ardından süpernatant 0.45 µm şırınga filtresinden süzöldükten sonra örnek HPLC cihazında analiz edilmiştir. Sonuçlar "mg askorbik asit / 100 g kuru madde" olarak verilmiştir. HPLC analizleri için, kolon sıcaklığı 25 °C, akış hızı 0,8 mL/dak., enjeksiyon hacmi 20 µL, dedektörün dalga boyu 254 nm akış hızında ve ultra saf su (pH 2.2'de H₃PO₄ ile ayarlanmış) içeren mobil fazın izokratik elüsyonu ile bir ACE 5C18 (250 x 4,6 mm, ID: 5 µm) kolonu kullanılmıştır.

2.5. Toplam antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi (Determination of total antioxidant activity and total phenolic content)

Kuru havuç yapraklarının demlenmesinden sonra elde edilen çaylardaki toplam fenolik madde miktarı Singleton ve Rossi, (1965) tarafından önerilen yöntemle belirlenmiştir. Toplam fenolik madde tayini Folin – Ciocalteu metoduna göre uygulanmıştır. Folin-Ciocalteu yöntemi, gıdaların antioksidan kapasitesinin belirlenmesinde basit, tekrarlanabilir ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Singleton ve Rossi, 1965). Standart olarak gallik asit kullanılmış olup, ekstraktların absorbansları çizilen kalibrasyon eğrisinden toplam fenolik madde konsantrasyonu, eşdeğer gallik asit değeri olarak mg GAE/100g KM olarak hesaplanmıştır. Hazırlanan ekstraktlardan 40 µL alınarak 2.4 mL distile su eklenerek vortekslenmiştir. Daha sonra 0.2 mL Folin-Ciocalteu solüsyonu eklenmiş ve bir kez daha vortekslenmiştir. Ardından elde edilen karışımlara 0.6 mL doymuş sodyum karbonat (Na₂CO₃) ve 0.76 mL distile su ilave edilmiş ve 2 saat karanlıkta inkübe edilmiştir. Ardından örneklerin absorbansları bir spektrofotometre ile ölçülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen çayların antioksidan aktivitesi ABTS radikalini ortamdaki giderme etkisi ile belirlenmiş, sonuçlar “% inhibisyon” değerlerine karşılık gelen troluks eşdeğeri cinsinden verilmiştir. Yüzde inhibisyon değerleri 734 nm’de okunan absorbans değerleri üzerinden hesaplanmıştır (Re vd., 1999). ABTS çözeltisi, 734 nm’de 0.700 (±0.02)’lik bir absorbans elde etmek için etanol ile seyreltilmiştir. Hazırlanan çaylardan 10 µl ve 990 µl ABTS solüsyonu karıştırılmıştır. Absorbans değerleri başlangıçta ve altı dakika sonrası için okunmuştur. Sonuç denklem (1) ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{inhibisyon} = \left[\frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \right] \times 100 \quad (1)$$

2.6. İstatistiksel Analizler (Statistical Analysis)

Tüm deneyler, her numune için üç tekrür halinde gerçekleştirilmiştir. Tek yönlü varyans analizleri (ANOVA), SPSS istatistik yazılımı (IBM, Armonk, NY, ABD) ile analiz edilmiştir. Ortalamalar arasındaki minimum anlamlı farkı belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır (p < 0.05).

3. Bulgular ve Tartışma (Result and Discussion)

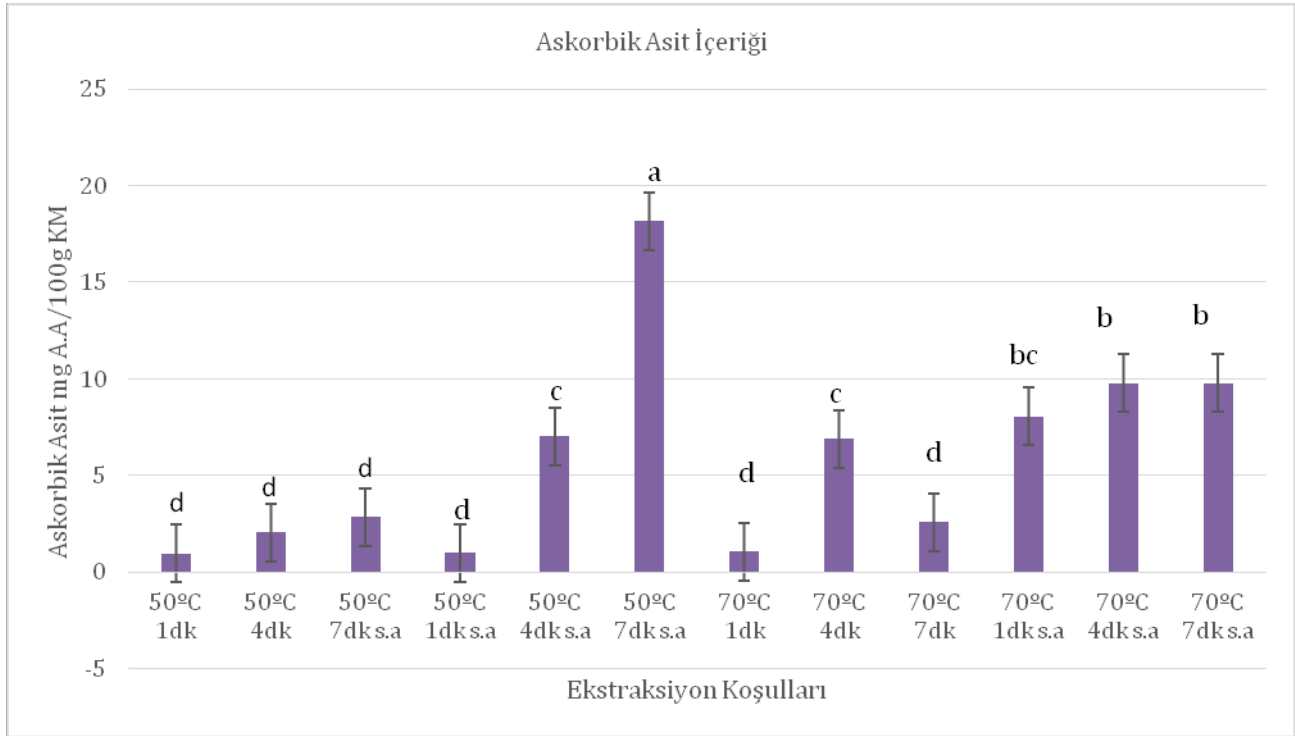
3.1. Askorbik asit içeriği (Ascorbic acid content)

Kurutulmuş havuç yapraklarının demlenmesi sonrasında tespit edilen askorbik asit miktarları (mg A.A./100 g K.M.) Şekil 1.’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 50 °C’de demleme süresinin artmasının askorbik asit içeriğine olan etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür (p > 0.05). 70 °C’de ise demleme süresinin 1 dakikadan 4 dakikaya çıkarılmasıyla askorbik asit içeriği istatistiksel olarak önemli düzeyde artarken, sürenin 7 dakikaya çıkmasıyla askorbik asit içeriğinin önemli derecede azaldığı görülmektedir (p < 0.05). Bilindiği gibi askorbik asit ısıya duyarlı ve suda çözünen bir bileşiktir (Cunha-Santos ve ark., 2019). Dolayısıyla demleme süresinin 1 dakikadan 4 dakikaya çıkarılmasıyla askorbik asit ekstraksiyonun kolaylaştığı ancak 7 dakikaya çıkarıldığında ise ısıya çok uzun süre maruz kalması sebebiyle sıcaklıkla bozulduğu düşünülmektedir. Sitrik asit eklenen örnekler bakıldığında ise özellikle düşük sıcaklıklarda artan demleme süresi ile askorbik asit içeriğinde önemli bir artış olduğu görülmektedir. Ayrıca uygulanan yüksek sıcaklıklarda sitrik asit eklemenin askorbik asit içeriğini önemli derecede koruduğu ancak demleme süresinin önemli bir farka neden olmadığı tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar sitrik asitin askorbik asit stabilitesine olumlu etkisinin olduğunu destekler niteliktedir. Literatürde de çalışma sonuçlarını destekler nitelikte organik asit ilavesinin askorbik asit içeriği üzerine olumlu etkisi rapor edilmiştir (Campos ve ark., 2009).

Demleme koşullarının (infüzyon süresi ve sıcaklık) kuşburnu çayı içeceğine etkisi üzerine yapılan bir çalışmada; askorbik asit tayini metafosforik asit muamelesi ile yapılmıştır. Çalışılan aralıklar, sıcaklık için 70-90°C ve infüzyon süresi için 2-10 dakika olarak belirlenmiştir. Kuşburnu çayının askorbik asit içeriği, 2.92 ila 3.29 mg/100 mL aralığında bulunmuştur. Askorbik asit içeriği, belirtilen süre ve sıcaklıklarda sürekli artış göstermiştir. Özellikle uzun infüzyon süreleri askorbik asit miktarını maksimum seviyeye çıkarmıştır (Ilyasoglu, 2017).

Nesreen ve ark., (2021) tarafından havuç yapraklarında yapılan teknolojik ve biyolojik çalışmada; taze ürünler fırın kurutucuda 50°C’de 6 saat kurutulmuş ve öğütülmüştür. Demleme yöntemi kullanılarak 2 gr kurutulmuş havuç yaprağı kullanılarak 150 ml kaynar suda en az 3-5 dakika kaynatılarak demleme işlemi yapılmıştır. Havuç yapraklarında askorbik asit miktarı 253.06 (mg/100g KM) olarak bulunmuştur. Yaprak ve sapların askorbik asit

içeriği 167.90 (mg/100g KM), yalnız sapoların askorbik asit içeriği ise 98.92(mg/100g KM) olarak tespit edilmiştir (Nesreen ve ark.,2021).



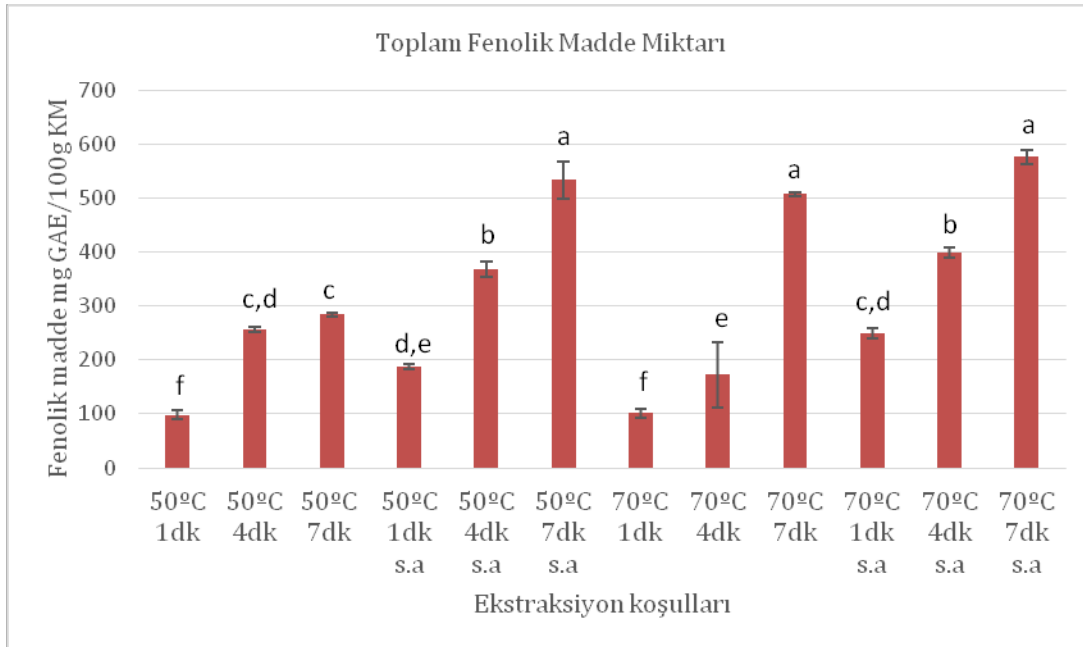
Şekil 1. Demleme yöntemi ile yapılan askorbik asit miktarları (mg/100g) ve ekstraksiyon koşulları (s.a.: sitrik asit ilaveli) (Amount of ascorbic acid obtained by brewing method (mg/100g) and extraction conditions (c.a.: citric acid added))

Dereotu, maydanoz ve kereviz üzerine yapılan bir çalışmada; askorbik asit miktarını belirlemek için, araştırmacılar belirtilen bitkileri metafosforik asit ile muamele etmiştir. Ekstraksiyon taze örneklerde yapılmıştır. En yüksek miktarda askorbik asit içeriği maydanozda (264 mg AA/100 g taze bitki) gözlemlenmiştir. Bunu dereotu (121 mg AA/100 g taze bitki) ve kereviz (103 mg AA/100 g taze bitki) takip etmektedir (Stan, 2014).

Kováčik ve ark., (2021), havuç ekiminden sonraki 100. günde C vitamini içeriği üzerine iki faktörün (I. solucan gübresi miktarı ve II. kırmızı solucan) etkisini incelemiştir. Havuç köklerinde en yüksek C vitamini içeriği 14.94 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Solucanların toprağa aşılmasından sonra havuç köklerinde C vitamini içeriğinin arttığı kaydedilmiştir. Buna rağmen solucan sayısının artmasının köklerdeki C vitamini içeriğini azaltma eğiliminde olduğu da görülmektedir. Havuç yapraklarındaki C vitamini içeriği köklerden 2.16 hatta 4.00 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Solucanların C vitamini içeriği üzerindeki etkisi genel olarak olumlu bulunmuştur (Kováčik vd. 2021).

3.2. Toplam fenolik madde içeriği (Total phenolic content)

Kurutulmuş havuç yapraklarından farklı koşullarda gerçekleştirilen demleme işlemleri sonucunda elde edilen çayların toplam fenolik içerikleri (mg GAE/100g KM) Şekil 2.'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak sitrik asit ilave edilen çaylarda her iki sıcaklıkta da toplam fenolik madde miktarında istatistiksel olarak önemli bir artış söz konusudur ($p<0.05$). En yüksek fenolik madde içeriği 70°C sıcaklıkta, 7 dakika demleme süresinde ve sitrik asit ilave edilerek demlenen havuç yaprağı çaylarında tespit edilmiştir. Yine demleme süresindeki artışta çaylardaki toplam fenolik madde içeriği üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Yapılan çalışmaya benzer olarak demleme koşullarının (sıcaklık ve süre) kuşburnu çayı içeceğine etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, toplam fenolik madde miktarı üzerine 5-10 dakikada 77 °C ve 86 °C sıcaklık koşullarının olumlu etki gösterdiği bildirilmiştir (İlyasoglu, 2017).



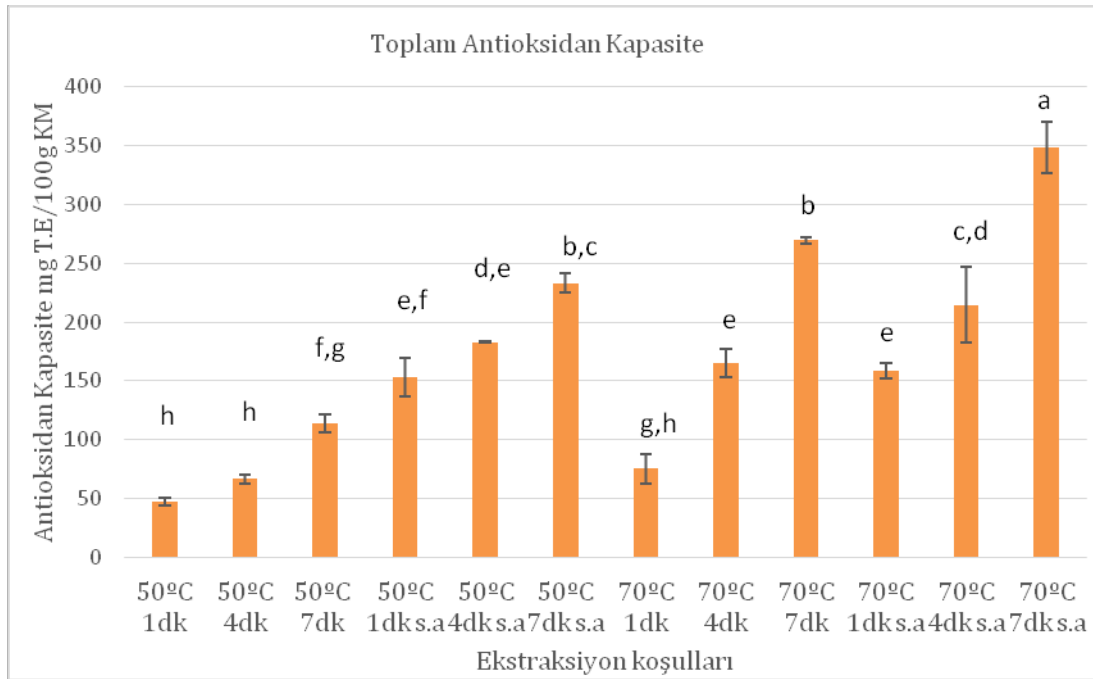
Şekil 2. Demleme yöntemi ile yapılan toplam fenolik madde miktarları (mg GAE/100g KM) ve ekstraksiyon koşulları (s.a.: sitrik asit ilaveli) ((Amounts of total phenolic contents (mg GAE/100g DM) obtained by the brewing method and extraction conditions (c.a.: citric acid added))

Priecina ve ark., (2018) kereviz üzerine yaptıkları çalışmada, taze örnekte toplam fenolik madde miktarları 466.63 ± 15.24 (mg 100 g^{-1} KM), konvektif kurutulmuş örnekte 853.60 ± 27.88 (mg 100 g^{-1} KM), mikrodalgalı vakumlu kurutulmuş örnekte 731.40 ± 23.89 (mg 100 g^{-1} KM) olarak tespit etmişlerdir (Priecina ve ark., 2018). Nguyen ve ark., (2020) dere otu üzerinde yaptıkları çalışmada; fırın kurutucuda kurutulmuş otun su ve etanol ile ekstraksiyonları yapılmış olup, toplam fenolik madde miktarı, kuru ekstraktın gramı başına 47.71 ± 1.30 ile 69.76 ± 1.57 mg galik asit eşdeğeri arasında değişmiştir. Aynı zamanda etanolik ekstrakttaki toplam flavonoid miktarı, kuru ekstraktın gramı başına sırasıyla 49.10 ± 1.30 ve 19.39 ± 0.61 mg galik asit eşdeğeri ile sudakinden daha yüksek olarak tespit edilmiştir (Nguyen ve ark., 2020).

3.3. Antioksidan aktivitesi (Antioxidant activity)

Kurutulmuş havuç yapraklarının demlenmesinin ardından elde edilen çayların antioksidan kapasiteleri (mg T.E/100g KM) Şekil 3' de gösterilmiştir.

Kuru havuç yapraklarının farklı sıcaklık ve demleme sürelerindeki antioksidan kapasitelerine bakıldığında 50°C sıcaklık parametresinde sitrik asit ilave edilen ve edilmeyen çaylardaki istatistiksel olarak önemli bir artış gözlemlenirken, sitrik asit ilave edilen çaylardaki toplam antioksidan miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 70°C sıcaklıkta demlenen havuç otunda ise sitrik asit ilavesi sonucunda antioksidan madde miktarında istatistiksel olarak önemli bir artış söz konusudur. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek antioksidan aktiviteye sahip çayın 70°C sıcaklıkta 7 dakikalık sitrik asit ilaveli demleme sürecinde elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Demleme yöntemi ile yapılan toplam antioksidan kapasite (mg T.E./100g KM) ve ekstraksiyon koşulları (s.a.: sitrik asit ilaveli) (Amount of total antioxidant capacity (mg T.E./100g DM) obtained by the brewing method and extraction conditions (c.a.: citric acid added))

Demleme koşullarının infüzyon süresi (2-10 dakika) ve sıcaklık (70-90°C) kuşburnu çayına etkisi üzerine yapılan bir çalışmada antioksidan aktivitesi ferrik indirgeyici antioksidan güç (FRAP) testi ile belirlenmiştir. En yüksek FRAP değeri 84 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda elde edilmiştir (Ilyasoglu, 2017). Gideon (2020) tarafından yapılan çalışmada kurutulmuş kereviz yapraklarında (*Apium Graveolens L.*) antioksidan kapasitesini tespit etmek amacıyla, kuru yaprakları etanol ve aseton kullanılarak oda sıcaklığında iki gün boyunca maserasyon yoluyla ekstrakte edilmiştir. Bulgular etanol ile yapılan ekstraksiyonun daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip ürünler olduğunu göstermiştir (Gideon, 2020). Geleneksel olarak 37 °C de hava kurutucuda kurutulan kereviz (*A. graveolens L.*)'in ekstraksiyonunda solvent ekstraksiyonu uygulanmış ve bitkinin farklı kısımları (gövde, yaprak, kök, bütün bitki) etanol (%70) ile soğuk maserasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulan kısımlardan bütün bitki ekstraktının antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Aboody 2021).

4.Sonuç (Conclusion)

Çalışmada havuç yaprakları vakum kurutucuda kurutulmuştur. Kurutulmuş havuç yapraklarının bitki çayı olarak değerlendirilmesinde infüzyon (demleme) yöntemi kullanılmıştır. Demleme sırasında sıcaklık ve süre ilişkisine bağlı değişimler incelenmiştir. Ayrıca havuç yaprağının askorbik asit içeriğini korumak amacıyla demlemeler sitrik asit ilaveli ve ilavesiz olmak üzere ikiye ayrılmış ve değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında havuç yaprağı çaylarının askorbik asit, antioksidan kapasitesi ve fenolik madde miktarı tespiti yapılmıştır. Genel olarak demleme sıcaklıkları ve sürelerinin demleme sonrası havuç yaprak çayının toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite ve askorbik asit içeriği üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Tarımsal bir atık olan havuç yaprağı, içerdiği askorbik asit, fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinden ötürü sağlıklı yaşamı destekleyecek nitelikte bir bitki çayı olarak önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aboody, M. S. A. (2021). "Cytotoxic, antioxidant, and antimicrobial activities of Celery (*Apium graveolens L.*)." *Bioinformation* 17(1): 147-156.
- Campos F.M., Riberio S. M. R., Della Lucia C. M., & Sant'Ana, H. M. P. (2009). Optimization of methodology to analyze ascorbic and dehydroascorbic acid in vegetables. *Quimica Nova*, 32, 87-91.
- Cunha-Santos, E. C. E., et al. (2019). "Vitamin C in camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh]: evaluation of extraction and analytical methods." *Food Res Int* 115: 160-166.

- Davey, M. W., Van Montagu, M., Inzé, D., Sanmartin, M., Kannellis, A., Smirnoff, N., et al. (2000). Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 825-860
- Gest, N., Gautier, H. & Stevens, R. (2013) Ascorbate as seen through plant evolution: the rise of a successful molecule? *J. Exp. Bot.* 64, 33-53.
- Gideon, M. M., et al. (2020). "Antioxidant Activities of Extracts from Celery Leaves (*Apium Graveolens* L.) Grown in Jos, Nigeria." *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*: 1-5.
- Giovanelli, G., Zaroni, B., Lavelli, V., Nani, R., (2002). Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. *Journal of food engineering*, 52(2), 135-141.
- Ilyasoglu, H. and T. E. Arpa (2017). "Effect of brewing conditions on antioxidant properties of rosehip tea beverage: study by response surface methodology." *J Food Sci Technol* 54(11): 3737-3743.
- Kaur, T. and M. S. Bhullar (2021). "Field evaluation of fluorochloridone for broad-spectrum weed control in carrot (*Daucus carota* L.) in north-west India." *International Journal of Pest Management*: 1-7.
- Kováčik, P., et al. (2021). "Weight of Carrot Phytomass and Content of Vitamin C 100 Days after Seeding in Dependence of Vermicompost Quantity and Earthworms (*Eisenia fetida*) in Soil Substrate." *Polish Journal of Environmental Studies*.
- Nesreen M. E.S.A., Nagib A.I., Asmaa M. K., Technological And Biological Studies On Carrot Leaves, Food Technology Research Institute, Agricultural Research Center (2007), 1-2-4-5
- Nguyen V.T., Nguyen N.Q., An T.N.T., Van N.T. and Anh N.H.T. (2020) Evaluation of polyphenol content and antioxidant activities of Dill leaves extract *Anethum graveolens* L., 2-4
- Priecina, L., et al. (2018). "The impact of steam-blanching and dehydration on phenolic, organic acid composition, and total carotenoids in celery roots." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 49: 192-201.
- Puspani, E., et al. (2020). "Performance, carcasses, cholesterol and beta-carotene of rabbit meat fed with concentrate and carrot (*Daucus carota*) leaves." *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 12(1): 041-047.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Sharma K.D., Karki S., Thakur N.S., Attri S. (2012) Chemical composition, functional properties and processing of carrot- a review. *J. Food Sci. Technol.* 49 (1), 22.
- Shete V and L Quadro. (2013). Mammalian Metabolism of β -Carotene: Gaps in Knowledge. *Nutrients*, 5, 4849- 4868
- Singleton, V.L., Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Stan, M., et al. (2014). "Extraction and HPLC determination of the ascorbic acid content of three indigenous spice plants." *Journal of Analytical Chemistry* 69(10): 998-1002.
- TÜİK. (2019). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737> (Erişim tarihi: 25.12.2021).
- Que F., Hou X.L., Wang G.L., Xu Z.S., Tan G.F., Li Tong, Wang Y.H.-Khadr A., Xiong, A.S. Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*. 6, 69, 2019.



STRUCTURAL FLOOD ANALYSIS BASED ON THE HYDRAULIC MODEL OF THE KÜÇÜK AKSU RIVER

Tahsin BAYKAL^{1*}, Özlem TERZİ², Erhan ŞENER³

¹ Suleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, Isparta, Türkiye

² Isparta Applied Sciences University, Technology Faculty, Civil Engineering Department, Isparta, Türkiye

³ Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Geology Engineering Department, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Flood risk analysis,
GIS,
Hec-RAS,
Structural flood analysis,
Küçük Aksu River.*

Abstract

In this study, flood risk areas were determined with Hec-RAS hydraulic model for the Küçük Aksu River in Antalya, Turkey. Firstly, Hec-RAS models were developed according to different recurrence flow rates and, flood propagation maps and flood depth maps were generated. As a result of the model that was developed by using a 100-year flood recurrence flow rate, it was seen that 6.04 ha of the residential area and 33.73 ha of the agricultural area is submerged. The maximum water level was determined as 11.60 m according to the 100-year flood recurrence flow rate. Then, structural flood analysis was performed using the depth-damage graph for the Küçük Aksu River. As a result of this analysis, it was seen that the economic loss caused by floods was between 1.152 million-1.946 million TL.

KÜÇÜK AKSU ÇAYI'NDA HIDROLİK MODELE DAYALI YAPISAL TAŞKIN ANALİZİ

Keywords

*Taşkın risk analizi,
CBS,
Hec-RAS,
Yapısal taşkın analizi,
Küçük Aksu Çayı.*

Öz

Bu çalışmada, Antalya ilinde bulunan Küçük Aksu Çayı'nda Hec-RAS ile taşkın riski olan alanlar belirlenmiştir. İlk olarak, farklı tekerrür debilerine göre Hec-RAS modelleri geliştirilmiş ve taşkın yayılım haritaları ile taşkın derinlik haritaları oluşturulmuştur. 100 yıllık taşkın tekerrür debisi kullanılarak geliştirilen model sonucunda 6,04 ha yerleşim alanı ile 33,73 ha tarım alanının su altında kaldığı görülmüştür. 100 yıllık taşkın tekerrür debisine karşılık gelen maksimum su yüksekliği 11,60 m olarak saptanmıştır. Daha sonra derinlik-hasar grafiği yardımıyla Küçük Aksu Çayı için yapısal taşkın analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda taşkınların neden olduğu ekonomik kaybın 1.152 milyon-1.946 milyon TL arasında olduğu görülmüştür.

Alıntı / Cite

Baykal, T., Terzi, Ö., Şener, E., (2022). Structural Flood Analysis Based on the Hydraulic Model of the Küçük Aksu River, Journal of Engineering Sciences and Design, 10(3), 1084-1096.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

T. Baykal, 0000-0001-6218-0826
Ö. Terzi, 0000-0001-6429-5176
E. Şener, 0000-0001-6263-8366

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.05.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	06.06.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.06.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Introduction

As a stream overflows from its bed, floods occur and we can define floods as flows that can damage the settlements, agricultural lands, and living things around the stream (Kılıçer and Özgüler, 2002). Floods occur as a result of precipitation that exceeds the long-term average precipitation, snow melting and, rarely collapsing and overflowing of dams (Onuşluel and Harmancıoğlu, 2002).

* İlgili yazar / Corresponding author: tahsinbaykal@hotmail.com

Floods are related to not only meteorological events but also the industrialization and the urbanization in developing countries. Also, the diversity and the intensity of human activity on river basins increase flood events significantly. For this reason, the hydrological balance of the basin deteriorates and as a result of this, a large amount of life and property losses occur. The land structure changes with the increase of settlements, newly constructed roads, and newly established facilities in the river basins and the lands are being used more intensively. Also, forests and pastures are destroyed with unsuitable agricultural practices. Because of all these reasons, flood disasters become more common (Özcan, 2008).

According to the data of the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) (AFAD, 2019), a total of 378 flood events occurred in Turkey between 2009-2019. In these flood events, 75 people lost their lives, 98 people were injured, 276 buildings collapsed, and 22053 buildings were damaged. For this reason, the determination of flood risks and areas affected by floods in any basin will enable the search and rescue activities in a quicker and more effective way in a possible flood event. The hydraulic model is known as the most suitable method for determining flood risk areas. Therefore, there are many studies about hydraulic models used in flood risk analysis in the literature (Shrestha *et al.*, 2020; Nigussie and Altunkaynak, 2019; Erana *et al.*, 2018). Komolafe (2021) investigated use of integrated 2-dimensional distributed flood model and terrain-based HAND model to define flood characteristics in the Ichinomiya River basin in Japan. Gumbel distribution was used to determine the intensity-duration-frequency of precipitation from 1996 to 2014 in the study area. Mu *et al.* (2021) determined the flood water depth and flood areas with the Flo-2D model using four different precipitation data, namely R1 (highest at the fifth hour), R2 (highest at 20th hour), R3 (highest in the first hour) and R4 (highest at 13th hour), in the city of Hue in Vietnam. Choo *et al.* (2020) used the Spatial Runoff Assessment Tool (S-RAT, Spatial Flow Assessment Tool) and the Flood Inundation model (FLO-2D model) to calculate the flood level in urban areas. In addition, during the analysis, rainfall-flood depth curve and Flood-Vehicle Speed curve were given, and a traffic disruption map was prepared with it. They compared the results of the study with previous studies and confirmed with rainfall events in 2011. As a result of the comparisons, they said that this study will help the driver to choose a route by using urban flood damage analysis and vehicle driving speed analysis.

Khattak *et al.* (2016) created flood maps with the Hec-RAS model to help actions taking precautions against floods in the Kabul River in Pakistan. They extracted the geometric data of the stream from the digital elevation model. To determine the recurrence flow rate, they applied the log-normal (LN), Gumbel (G), and log-Pearson type 3 (LP3) distributions to the flow data and determined that LP3 is the most appropriate distribution with the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. When they compared the created flood maps with the images of the flood that occurred in 2010, they stated that there is a close consistency between the images and the maps. Taş *et al.* (2016) determined the flood flow rates calculated for different recurrence periods and the water levels and the areas to be inundated by using Hec-RAS in Akarçay Afyon Sub-Basin. Then, they estimated flood damage with the help of average water depth and depth-loss curves. As a result of the estimation, they saw that the flood losses varied between approximately 10 and 130 million TL depending on the increase in recurrence intervals. Shirzad (2017) made a flood analysis with recurrence rates of 25, 50, 100 years at the Maden Creek in the province of Kocaeli. With Hec-RAS, the areas under flood risk were determined by producing flood propagation maps of the stream before and after the reclamation. Sönmez and Demir (2017) performed flood risk analysis on Yeşilçay and Göksu streams located in the east and west of Ağva district with a one-dimensional hydraulic model. They prepared the flood risk analysis according to six different flow rates scenario. They matched the obtained results with the urban information system and determined the water levels for each building. They found that the buildings in Ağva are at low and high risk. Khalfallah and Saidi (2018) mapped the precipitation distribution by using the geographical information system (GIS) in the Medjerda basin in Tunisia. They used Hyfran software for the prediction of the flood recurrence period caused by rainfall. They also modeled the floods that occurred in February and March 2015 by using Hec-RAS. When they compared the measurement data with the results of the model, they stated that there was a good correlation. Romali *et al.* (2018) used the Hec-RAS model in the development of flood maps for the urban area located in Segamat, Malaysian. They used Generalized Pareto, Generalized Extreme Value, LP3, triple-parameter log-normal (LN3), and Weibull distributions to determine the flood recurrence flow rates and the most appropriate distribution with the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. According to the result of the K-S test, they determined the most appropriate distribution as the Generalized Pareto distribution. They created flood maps with Hec-RAS for different recurrence flow rates. When the results were examined, they have seen that the flood areas that occurred with the flood event in the 2011 overlapped the flood areas calculated with the recurrence flow rate of 100 years. Tazın (2018) has developed one- and two-dimensional hydraulic models with Hec-RAS to create a flood hazard map of the Dharla River in the northwestern region of Bangladesh. He made the calibration and the verification of the hydrodynamic models according to the floodwater levels that occurred in 2013 and 2014.

In this study, it is aimed to minimize the possible life and property losses by determining the areas under flood risk in the Küçük Aksu River. Hec-RAS, a hydraulic model based on geographic information systems (GIS), was

used to identify flood risk areas. Structural flood analysis was done with the depth maps obtained with analysis that was conducted. Also, the flood risk areas were determined by overlapping the prepared flood risk maps with satellite images, and recommendations were made to reduce possible losses and damages in these areas.

2. Material and Method

2.1. Study Area and Data

Aksu River springs from Akdağ and Davras Mountain near the province of Isparta. Aksu River flows into the southeast direction and mixes with the groundwater in Kovada Lake and then flows into the south by joining the waters coming from Lake Eğirdir in the direction of south of Lower Gökdere Village. Here, it merges with Göksu and pours into the sea from Antalya Bay. Aksu River basin is located between 360 - 380 northern latitudes and 300 - 310 east longitudes. The water catchment area of the Aksu River basin is 8000 km². Many karstic springs, which give plenty of water to the limestone layers, feed the Aksu River. Although the water level decreases in the summer and autumn months, there is always plenty of water in the valley. In the winter and spring months, the flow of the stream increases with the downpour and snowmelt. Aksu River flows in the lower parts of the plains and it is widely used for irrigation. There are different types of drainage in the rivers that drain the Aksu River basin, and especially in the lower valley of the Aksu River, the braided drainage type can be seen frequently (Anonymous, 2014).

The Küçük Aksu River begins to flow near Haskızılören Village within the boundaries of Antalya Serik district, and then it passes through the Pınargözü District in this village and joins the Aksu Stream near Akçapınar Village Değirmen Burnu District. The Küçük Aksu River basin is 297 km². The Küçük Aksu River chosen as the study area is one of the branches of the Aksu River (Figure 1).

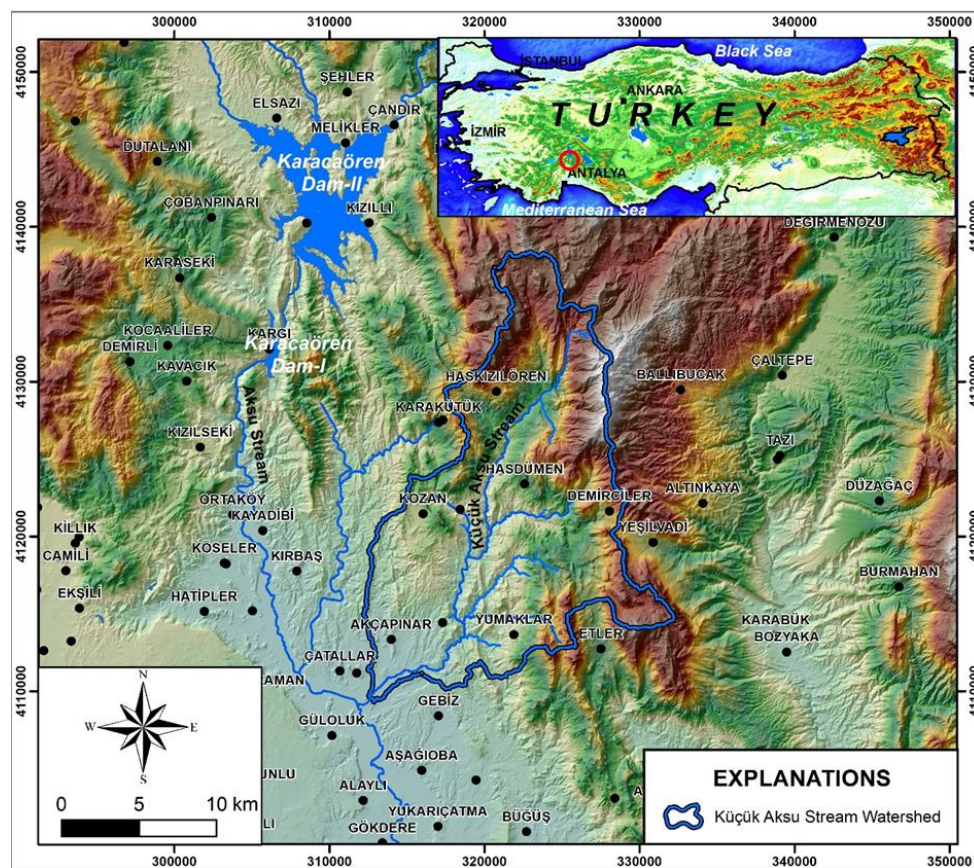


Figure 1. The study area map

The data required for hydraulic modeling includes the flow rates of different recurrence periods, streambed geometry, roughness coefficients, and digital elevation model (DEM) of the river basin. In order to determine the flood flow rates, the annual maximum flow values of the station number of 9-34, which is the only flow measurement station located in the basin and operated by The State Hydraulic Works, were used. The annual mean flow value of the station is 4,19 m³/s. Figure 2 shows the monthly average flow values observed for 17-year period from 1998 to 2014. The mean rainfall value is 124 mm for the region. The stream bed geometry was obtained from

satellite images. Roughness coefficients were determined according to the land usage. The DEM data were produced from 1/25000 scaled topographic maps taken from the General Directorate of Mapping.

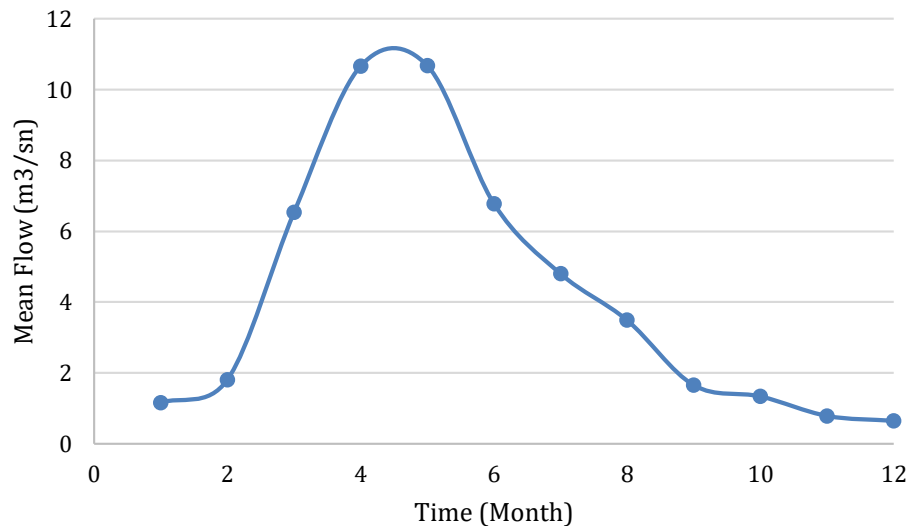


Figure 2. The monthly average flow values

2.2. Hec-RAS

Hec-RAS is a hydraulic model developed by the US Army's Hydrologic Engineering Center (HEC) for the analysis of river channels and the determination of floods in 1964 (Beavers, 1994). Hec-RAS is based on the principle of doing hydrological analysis before the hydraulic model. It is necessary to calculate the flood recurrence flow rates of the stream in determining the flood areas or projecting the flood structures. After the flood hydrographs are obtained, the river channels and their surrounding floodplains, flood areas, and water depths are determined (Usul, 2008).

In one-dimensional models, the behavior of the fluid based on time and space is examined with the continuity equation given in Eq. 1.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_0 \quad (1)$$

It is accepted that the river flow does not change with time and the flow type is expressed as steady flow (Eq. 2).

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

2.3. Structural Flood Damage Analysis Based on Depth – Damage Factor

In economic terms, the main consideration for flood damage estimation is the concept of depth-damage function or loss functions. These functions are related to the depth of the flood causing the greatest possible economic damage in the flood area. Depth-damage curves, first proposed in the 1960s, are accepted as the standard approach in determining the damages caused by floods nowadays (Smith, 1996).

Structural flood damages are determined in two steps in the areas where the buildings are located. These steps are given in Figure 3 (Pistrika and Jonkman, 2009). The first step is to analyze the structural damage caused by floods. These damages will be determined by flood effects and building resistance. The next step is the economic assessment of physical damages, in other words, the cost calculation of physical damages. In order to transform structural damage into economic estimates, the pre-disaster market value and the replacement cost of the building must be known (Pistrika, 2010).

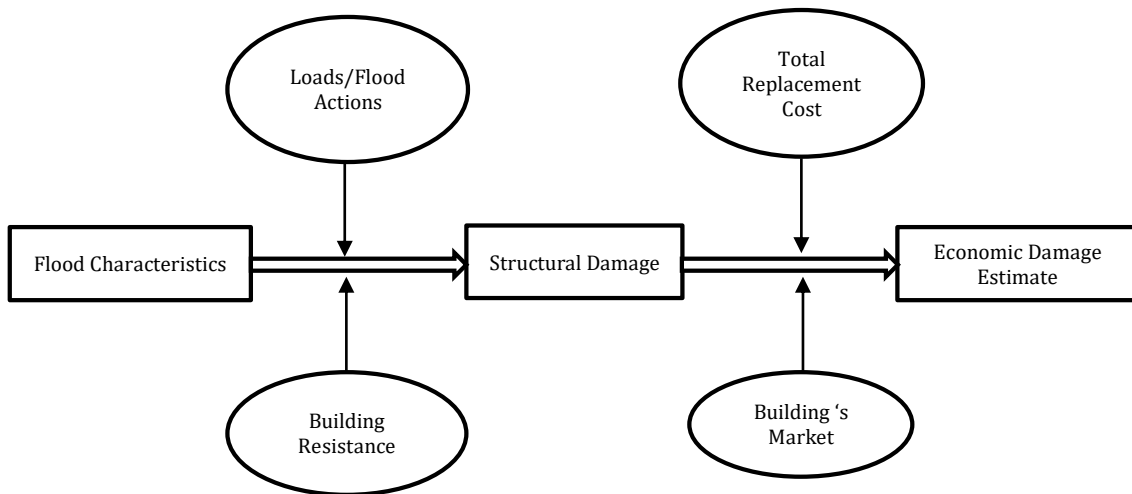


Figure 3. The flow chart of the flood-damage analysis (Pistrika & Jonkman 2009)

There are many depth-damage factor functions available in the literature. In this study, the function proposed by Jonkman et al. (2008), which is a function produced due to floods experienced in many parts of the world, was chosen. The depth-damage factor graph is given in Figure 4. The damage factor indicates what the percentage of the total cost of the buildings exposed to flooding will be damaged by flood (Taş et. al, 2016).

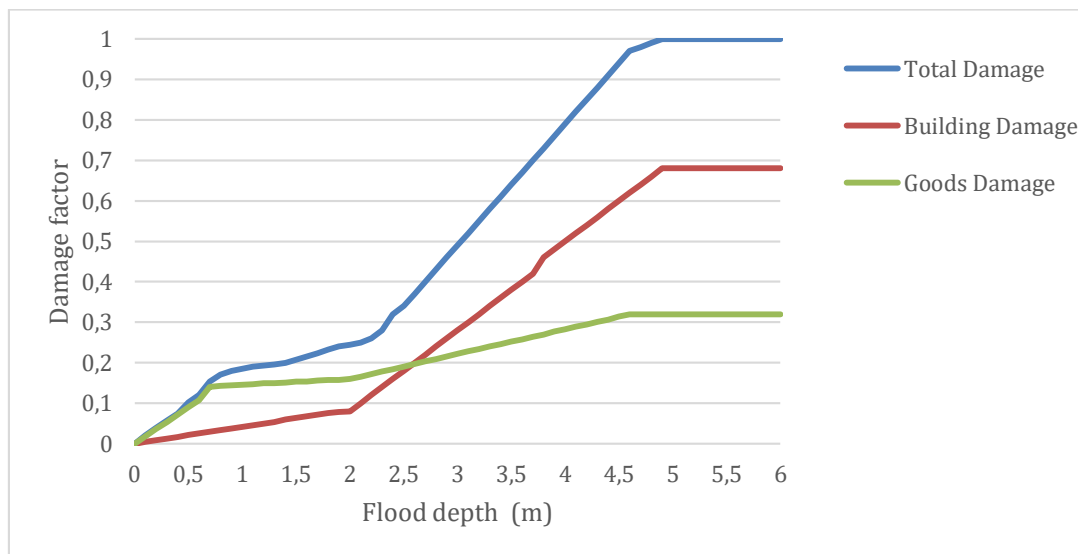


Figure 4. Depth-damage factor graph (Taş et. al 2016)

3. Results and Discussions

Flood recurrence flow rates and stream geometries are needed to develop hydraulic models in the Küçük Aksu River. For this, the results obtained by Baykal and Terzi (2017) in their study for the Küçük Aksu River were used. Baykal and Terzi (2017) calculated the flood recurrence flow rates of the Küçük Aksu River by using different probability distributions. They determined the most appropriate distribution as Log-Pearson Type 3 with Kolmogorov-Smirnov (K-S) test and the graphic method. The recurrence flow rates found with the Log-Pearson Type 3 distribution were given in Table 1. Also, the flow chart of the hydraulic model applied for flood mapping was given in Figure 5.

Table 1. The flood recurrence flow rates

Recurrence Periods	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
LP3 Distribution (m ³ /sec)	59,02	107,43	140,34	180,70	209,21	236,10	261,48	289,60	315,21

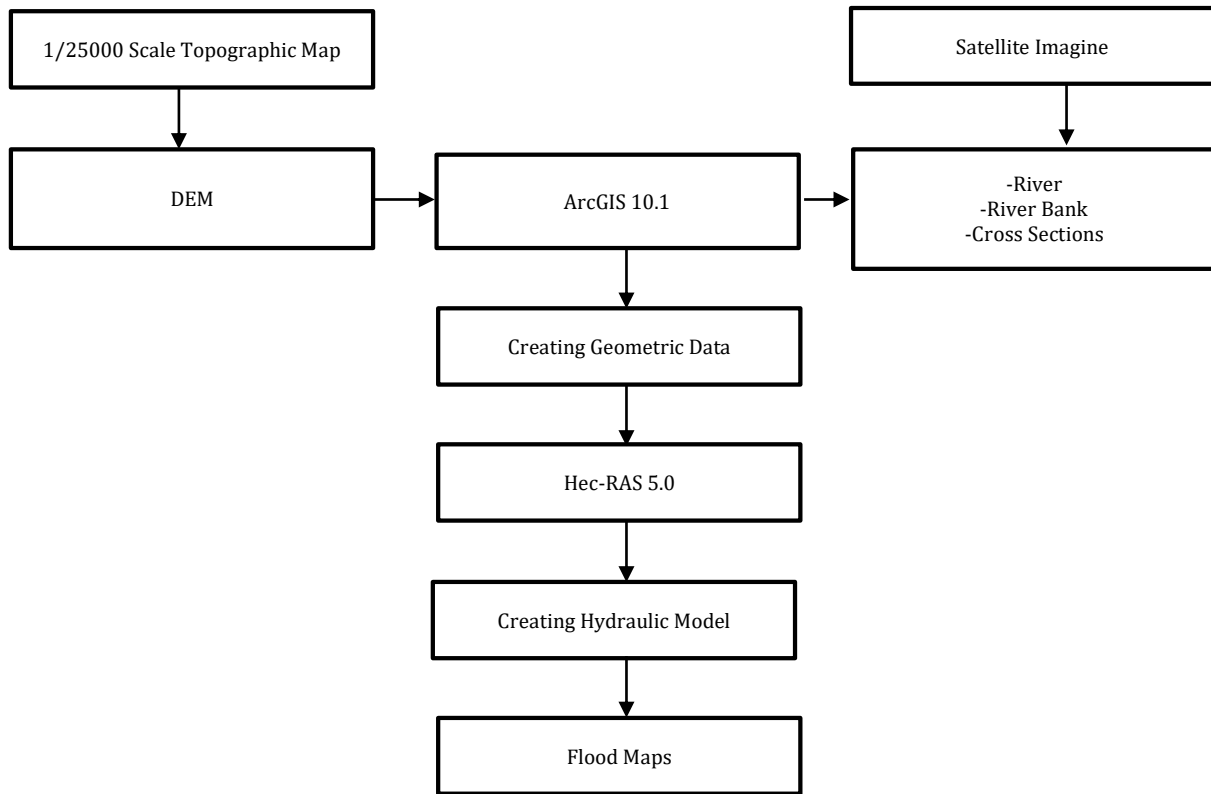


Figure 5. The flow chart of hydraulic model

After entering the required Hec-RAS software, the surface profiles of the Küçük Aksu River were determined for all scenarios. The water surface profiles obtained with Hec-RAS were transferred to the ArcGIS environment and they were mapped. The propagation map of the 100-year recurrence flow rate was given in Figure 6.

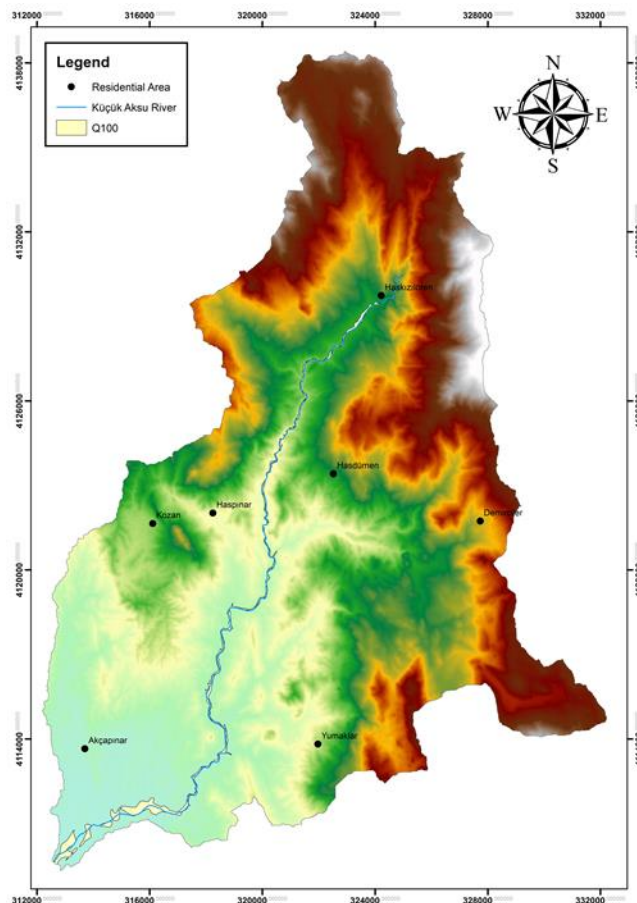


Figure 6. The propagation map of 100-year recurrence flow rate

Examining the distribution map of the 100-year recurrence flow rate, it has been determined that 6.04 ha of the residential area and 33.73 ha of agricultural land are inundated. Inundated settlements and agricultural lands belonging to other recurrence flow rates were given in Table 2 and flood propagation maps were given in Figure 7. The depth maps were also prepared in the study and the depth map of the 100-year flood flow rate was given in Figure 8. The depth maps of other recurrence flow rates were given in Figure 9.

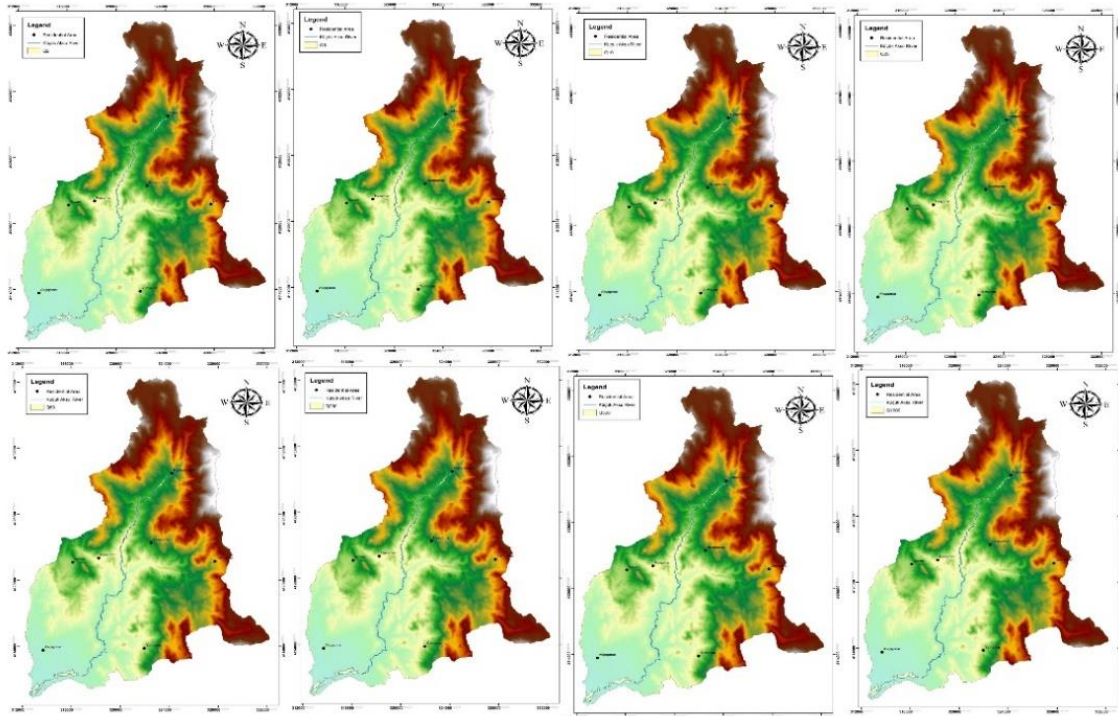


Figure 7. The propagation maps of other recurrence flow rates

Table 2. Underwater areas of different recurrence flow rates

Recurrence Period	Residential Area (ha)	Agricultural Area (ha)
Q ₂	5,33	22,27
Q ₅	5,56	29,63
Q ₁₀	5,63	30,80
Q ₂₅	5,80	32,11
Q ₅₀	5,91	32,61
Q ₁₀₀	6,04	33,73
Q ₂₀₀	6,09	34,35
Q ₅₀₀	6,10	34,64
Q ₁₀₀₀	6,20	35,58

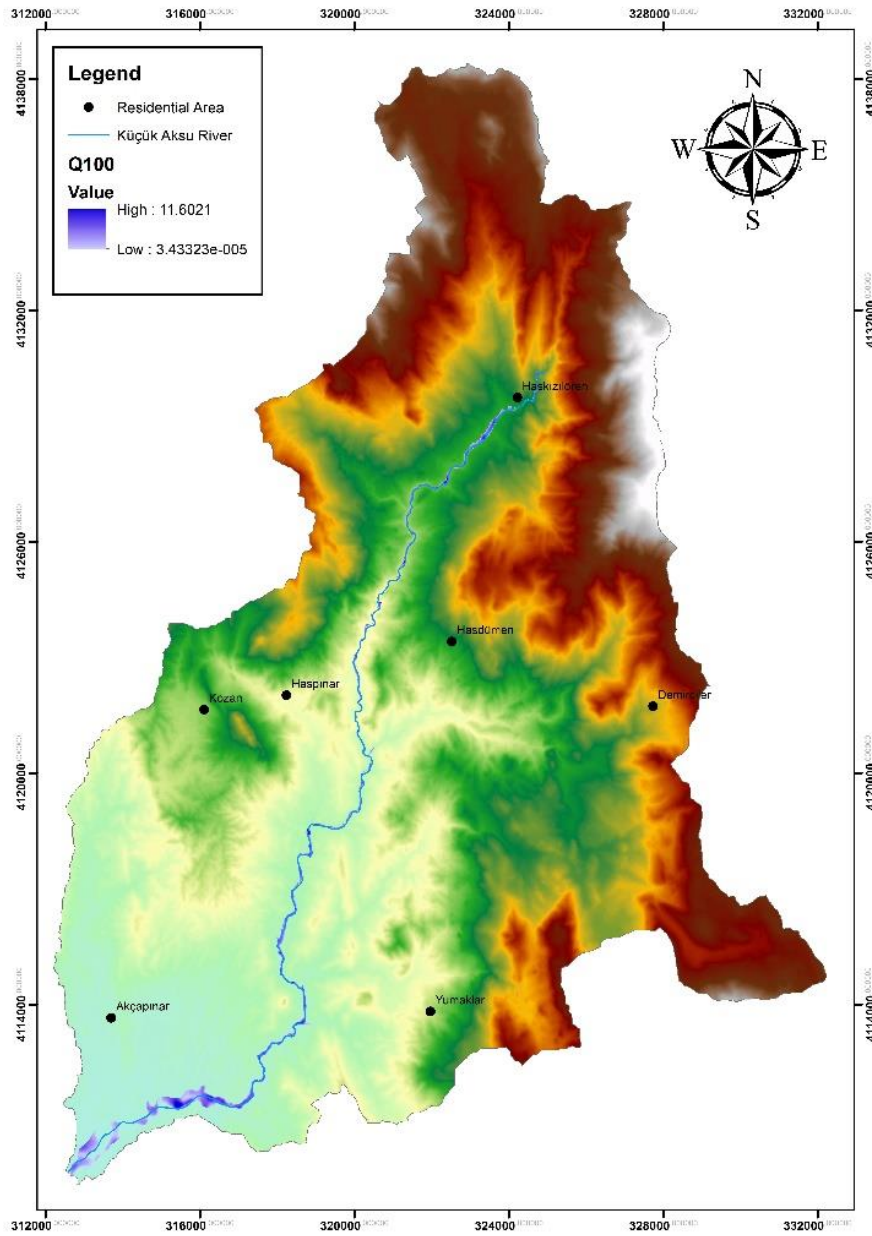


Figure 8. The depth map of 100-year recurrence flow rate

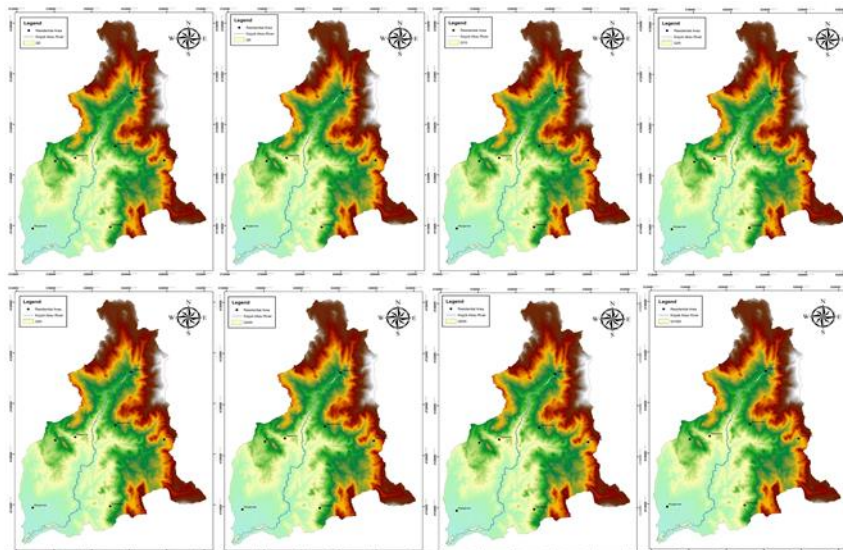


Figure 9. The depth maps of other recurrence flow rates

Calibration is required to demonstrate the suitability of hydraulic models. There are many studies on hydraulic model calibrations in the literature. Horritt and Bates (2002) and Prafulkumar et al. (2011) stated that the roughness coefficients in river and floodplain are limited to a single value for a model calibration. Uçar (2010) said that the model could not be calibrated because there was no rating curve. In this study, since the water level recorded related to the flood events in the region could not be reached, the flood traces observed during the field study were used for model calibration. For this purpose, the flood event occurred in Haskızılören Village on October 09, 2011 was used. In this flood incident, six people lost their lives and 20 residences, one health center, and one village headman mansion were demolished (Özmen 2015). Photographs of the damaged buildings that were taken in the field studies carried out in Haskızılören Village in 2015 were given in Figure 10.



Figure 10. View of Haskızılören village after the flood

When the Figure 10 was examined, it could be seen that the water level approximately 3 m from the stream bed during the flood. It was observed that this water level almost coincides with the level which was read from the depth map of the 100-year recurrent flow rate given in Figure 8. In addition, the maximum and average water level of the study area were given in Table 3.

Table 3. Maximum and average water depths

Recurrence Interval (year)	Maximum Water Depth (m)	Mean Water Depth (m)
2	10,72	2,08
5	11,04	2,15
10	11,21	2,18
25	11,40	2,22
50	11,51	2,24
100	11,60	2,27
200	11,68	2,28
500	11,72	2,29
1000	11,93	2,34

In Table 3, it can be seen that the maximum water level from the thalweg was 11.60 m for the 100-year recurrent flow rate along the Küçük Aksu River.

Then, structural flood analysis was performed. The building floor area, the damage factor corresponding to the floodwater depth, the approximate cost of the structure, and the structure depreciation are used while the structural flood analysis depending on the flood water depth was being done. The damage factor was calculated from Figure 5 according to the average water levels. There were semi-masonry buildings and plastic-covered greenhouses in the areas affected by the flood. While the cost of damage for the areas affected by floods was being calculated, the Communiqué published in the Official Gazette No. 31064 on March 10, 2020, was used (MEU 2020). It was decided that the buildings in the study area were in class IV and group B structures and the approximate unit cost of the structure was taken as 1470 TL/m². It was decided that the greenhouses were in class I and group

A structures according to the same Communiqué and the approximate unit cost of the structure was used as 185 TL/m² (MEU 2020). In addition, the depreciation of these structures was determined according to the chart published in the Official Gazette No. 17886 on February 12, 1982 (MTF 1982). The depreciation rates were taken as 25% for buildings and 45% for greenhouses. The calculated economic losses were given for buildings and greenhouses in Table 4 and 5, respectively.

Table 4. Economic losses for structures

Recurrence Interval (year)	Area (m ²)	Mean Flood Depth (m)	Damage Factor (DF)	Structure Depreciation Rates (%)	Approximate Unit Cost of the Structure (TL/m ²)	Economic Loss (TL)
2	2783	2,08	0,25	0,75	1850	965353
5	3023	2,15	0,26			1090547
10	3521	2,18	0,27			1319055
25	3521	2,22	0,28			1367909
50	3521	2,24	0,28			1367909
100	3807	2,27	0,28			1479020
200	3807	2,28	0,29			1531842
500	3807	2,29	0,29			1531842
1000	3807	2,34	0,30			1584664

Examining Table 4, the total building floor areas in the recurrence interval of 10-, 25- and 50- years and the total building floor areas in the recurrence interval of 100-, 200-, 500- and 1000- year show similarities. These similarities may occur due to the fact that the study area is a rural and scattered residential area. The reason that the damage factors in the recurrence interval of 25, 50, and 100 years and the factors in the 200 and 500-year recurrence interval are the same, may be because of the average flood heights that are very close to each other.

Table 5. Economic losses for greenhouses

Recurrence Interval (year)	Area (m ²)	Mean Flood Depth (m)	Damage Factor (DF)	Structure Depreciation Rates (%)	Approximate Unit Cost of the Structure (TL/m ²)	Economic Loss (TL)
2	6497	2,08	0,25	0,55	210	187601
5	6738	2,15	0,26			202342
10	7325	2,18	0,27			228430
25	7726	2,22	0,28			249859
50	8284	2,24	0,28			267605
100	8944	2,27	0,28			289249
200	9071	2,28	0,29			303833
500	9129	2,29	0,29			305776
1000	10430	2,34	0,30			361400

In Table 5, it can be seen that the economic loss for greenhouses varies between approximately 187000 and 361000 TL. In Table 6, it was given the total economic damages of the structures in the study area due to structural damages. Examining Table 6, it can be seen that the economic loss according to different recurrence intervals vary between approximately 1,152 million and 1,946 million TL.

Table 6. Total economic loss of building and greenhouse

Recurrence Interval (year)	Building Economic Loss (TL)	Greenhouse Economic Loss (TL)	Total Economic Loss (TL)
2	965353	187601	1152954
5	1090547	202342	1292889
10	1319055	228430	1547485
25	1367909	249859	1617768
50	1367909	267605	1635614
100	1479020	289249	1768269
200	1531842	303833	1835675
500	1531842	305776	1837618
1000	1584664	361400	1946064

5. Conclusions

Floods occur as a result of the overflow of rivers from their beds due to the natural events such as excessive precipitation and snow melting. Flood is one of the most common natural disasters after earthquakes in Turkey. According to data from the Turkey Disaster Knowledge Base created by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), the 5663 flood events were recorded between 1940 and 2019 in Turkey. In these flood events, hundreds of people lost their lives, thousands of people were injured, and buildings were damaged. Due to these reasons, it is important to estimate floods that cause the most loss of life and property after earthquakes accurately.

In this study, flood models have been developed with Hec-RAS for the Küçük Aksu River in Antalya, Turkey. Hydraulic models were created according to the recurrence flow rates of 2-, 5-, 10-, 25-, 50-, 100-, 200-, 500- and 1000- year, and flood propagation maps and flood depth maps were obtained.

According to the results of hydraulic models, 6.04 ha residential area and 33.73 ha agricultural area are inundated in the Küçük Aksu River basin as a result of the model realized with 100-year flood recurrence flow rate. The maximum water level from the thalweg line, which corresponds to the 100-year flood recurrence flow rate along the stream, has been determined as 11.60 m.

In the flood that occurred in Pınargözü District, which was established on the floodplain on October 09, 2011, it was seen that the water level increased up to 3 m during the field studies. At the same time, it was determined that the flood water level obtained from hydraulic models is around 2-3 m. This situation shows that the result of the hydraulic model coincides with the flood that occurred on October 09, 2011, and it also shows the accuracy of the analyzes.

In this study, also economic damages that may be caused by floods were also calculated according to the recurrence flow rates. The loss was estimated as 1,152 million TL according to the 2-year recurrence flow rate at which the lowest economic loss may occur, while the highest loss was estimated as 1,946 million TL according to the 1000-year recurrence flow rate. Only buildings and greenhouses were considered in the calculation of these values. However, it is thought that the economic loss may increase even more if agricultural areas are included. It is expected that if the study area was urban rather than rural, the economic loss would be much higher.

- By following Law No. 6306 on the "Transformation of Areas Under Disaster Risk", adopted on May 16, 2012, the areas under flood risk can be determined and declared as "risky areas". Thus, the loss of life and property can be prevented by this way. Besides, it would be appropriate to prevent such areas from being used as residential areas.
- Flood protection structures can be built in areas where agricultural lands are located, and flood damage in these regions can be minimized.
- Flood warning systems can be set up in the region, and practical training can be given to the people of the regions about what should be done during the flood.

Acknowledgement

This study was carried out within the scope of the project numbered 4236-YL1-14, which was supported by the Scientific Research Projects unit of Suleyman Demirel University, "Flood Risk Analysis with Geographic Information Systems Based Hydraulic Model and Multi-Criteria Decision-Making Analysis: Case of Small Aksu Stream".

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Anonymous, 2014. Aksu River. Retrieved in September, 09, 2019 http://tr.wikipedia.org/wiki/Aksu_%C3%87ay%C4%B1.
- Baykal, T., Terzi, Ö., 2017. Flood Frequency Analysis of Küçük Aksu River. *Cumhuriyet Science Journal* 38(4): 639-646.
- Beavers, M. A., 1994. Floodplain Determination Using HEC-2 and Geographic Information Systems. Master Thesis, The University of Texas, United States of America.
- Choo, K. S., kang, D. H., Kim, B. S., 2020. Impact Assessment of Urban Flood on Traffic Disruption Using Rainfall-Depth-Vehicle Speed Relationship. *Water*, 12(4): 926.
- Erena, S. H., Worku, H., De Paola, F., 2018. Flood Hazard Mapping Using Flo-2d and Local Management Strategies of Dire Dawa City, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19: 224-239.
- Horritt, M. S., Bates, P. D., 2002. Evaluation of 1D and 2D Numerical Models for Predicting River Flood Inundation. *Journal of Hydrology* 268: 87-99.
- Jonkman, S. N., Bočkarjova, M., Kok, M., Bernardini, P., 2008. Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological economics* 66(1): 77-90.
- Khalfallah, C. B., Saidi, S., 2018. Spatiotemporal Floodplain Mapping and Prediction Using HEC-RAS-GIS Tools: Case of the Mejerda River, Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 142:44-51.
- Khattak, M. S., Anwar, F., Saeed, T. U., Sharif, M., Sheraz, K., Ahmed, A. 2016. Floodplain Mapping Using Hec-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering* 41(4): 1375-1390.
- Kılıçer, Ü., Özgüler, H., 2002. Flood Situation in Turkey. *Turkey Engineering News Journal* 420-421-422 4-5-6.
- Komolafe, A. A., 2021. Integrated Methodology for Urban Flood Inundation Modeling: A Case Study of Ichinomiya River Basin, Japan. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-10.
- Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), 2019. Turkey Disaster Knowledge Base. Retrieved in February, 09, 2019 <https://tabb-analiz.afad.gov.tr/Genel/Sorgulama.aspx>.
- Mu, D., Luo, P., Lyu, J., Zhou, M., Huo, A., Duan, W., Nover, D., He, B., Zhao, X., 2021. Impact of Temporal Rainfall Patterns on Flash Floods in Hue City, Vietnam. *Journal of Flood Risk Management*, 14(1): 12668.
- Nigussie, T. A., Altunkaynak, A., 2019. Modeling the effect of urbanization on flood risk in Ayamama Watershed, Istanbul, Turkey, using the MIKE 21 FM model. *Natural Hazards*, 99(2): 1031-1047.
- Onuşluel, G., Harmancıoğlu, N.B., 2002. Water Caused Natural Disaster: Flood. *Turkey Engineering News* 420-421-422 4-5-6.
- Özcan, O., 2008. Evaluation of Flood Risk Analysis in Sakarya River Sub Basin by Using Remote Sensing and GIS. Master Thesis, Istanbul Technical University, Turkey.
- Özmen, M. T., 2015. Floods in Turkey and Antalya. Kutlu and Avcı Bookstore, Antalya.
- Pistrika, A., 2010. Flood Damages Estimation based on Flood Simulation Scenarios and a GIS Platform. *European Water* 30: 3-11.
- Pistrika, A., Jonkman, S. N., 2009. Damage to residential buildings due to flooding of New Orleans after Hurricane Katrina. *Natural Hazards* 54(2): 413-434.
- Prafulkumar, V., Timbadiya, P. V., Paterl, P. L., Porey, P. D., 2011. Calibration of HEC-RAS Model on Prediction of Flood for Lower Tapi River, India. *Journal of Water Resource and Protection* 3: 805-811.
- Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanisation (MEU), 2020. Year 2020 to be Used in Calculation of Architecture and Engineering Services Unit Cost Structure Around About Communication. Official Gazette No. 31064, dated 10.03.2021.
- Republic of Turkey Ministry of Treasury and Finance (MTF), 1982. Regulation on the Amendment of Some Articles of the Regulation Regarding the Appreciation of Tax Values to be Base on Real Estate Tax and Adding an Additional Article to this Regulation. Official Gazette No. 17886, dated 02.12.1982.
- Romali, N. S., Yusop, Z., Ismail, A. Z., 2018. Application of Hec-RAS and ArcGIS for Floodplain Mapping in Segamat Town, Malaysia. *International Journal* 14(43): 125-131.
- Shirzad, M. R., 2017. Flood risk evaluation with remote sensing and GIS technologies, case study: Kocaeli Maden valley. Master Thesis, Kocaeli University, Turkey.
- Shrestha, A., Bhattacharjee, L., Baral, S., Thakur, B., Joshi, N., Kalra, A., Gupta, R. 2020. Understanding suitability of MIKE 21 and HEC-RAS for 2D floodplain modeling. In *World Environmental and Water Resources Congress 2020: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis* (pp. 237-253). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Smith, D. I., 1996. Flood damage estimation- A review of urban stage-damage curves and function. *Water SA* 20(3): 231-238.
- Sönmez, O., Demir, F., 2017. Determination of flood inundation maps and water levels of buildings in Ağva district centre. *Sakarya University Journal of Science* 21(2): 105-112.
- Taş, E., İçağa, Y., Zorluer, İ., 2016. Constitution of Flood Inundation Maps and Flood Damage Analysis: A Case Study of Akarçay Afyon Subbasin. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering* 16: 711-721.

- Tazin, T., 2018. Flood Hazard Mapping of Dharla River Floodplain Using Hec-RAS 1D/2D Coupled Model. Master Thesis, Bangladesh University, Bangladesh.
- Uçar, İ., 2010. Flood analysis of Trabzon Değirmendere basin using geographic information systems and a hydraulic model. Master Thesis, Gazi University, Turkey.
- Uslu, N., 2008. Preparation of Flood Risk Maps Using Geographical Information Systems Techniques. In: Proceedings of Flood Conference, 19-20 June, Edirne, pp 97-109.



MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNE SENTETİK ESASLI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN YIKAMA İŞLEMLERİNİN ETKİSİ

Fatma GÜNDÜZ BALPETEK^{1*}, Aşlı DEMİR², Esen ÖZDOĞAN²

¹ Ege Üniversitesi, Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mikroplastik, Sentetik Lifler, Yıkama.</i>	Plastik ürünlerin kullanımı sırasında ve atıklarının birikimi konusunda bilinçli hareket edilmediğinde, mikroplastik tehlikesiyle karşılaşılması söz konusudur. Mikroplastikler genel olarak boyutu 1 nm ile 5 mm arasındaki partiküller olarak ifade edilmektedir. Tekstil ürünlerinin yıkanması sonucu salınan mikro ve nano boyutlu liflerin, toplam mikroplastiklerin önemli bir kısmını oluşturduğu çeşitli kaynaklarda gösterilmektedir. Sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin yıkanmasıyla çevreye salınan, mikroplastik kirliliğine ilişkin araştırmalar daha da önem kazanmıştır. Bu derlemede, yıkama sırasında salınan mikroplastik lif miktarına, yıkama parametrelerinin etkilerinin değerlendirildiği çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmektedir.

THE EFFECTS OF WASHING PROCESSES OF SYNTHETIC BASED TEXTILE PRODUCTS ON MICROPLASTIC POLLUTION

Keywords	Abstract
<i>Microplastic, Synthetic Fibers, Washing.</i>	Microplastics dangers are encountered when conscious action is not taken about the accumulation of waste and during use of plastic products. Microplastics are generally expressed as particles between 1 nm and 5 mm in size. It is stated in the various literature that micro and nano-sized fibers released as a result of washing textile products constitute a significant amount of the total microplastics. Researches on microplastic pollution released to the environment by washing textile products produced from synthetic fibers have gained more importance. A detailed literature search on the effect of washed materials and washing parameters on the microplastic fibers shed during washing are reviewed in this study.

Alıntı / Cite

Gündüz Balpetek, F., Demir, A., Özdoğan, E., (2022). Mikroplastik Kirliliğine Sentetik Esaslı Tekstil Ürünlerinin Yıkama İşlemlerinin Etkisi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1097-1106.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. Gündüz Balpetek 0000-0002-9179-4824

A. Demir 0000-0002-6642-1604

E. Özdoğan 0000-0001-8071-9100

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 20.05.2021

Revizyon Tarihi / Revision Date 21.02.2022

Kabul Tarihi / Accepted Date 28.02.2022

Yayın Tarihi / Published Date 30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Yunanca "plasticos" kelimesinden gelen ve "şekillendirmek", bir kalıba uydurmak anlamını taşıyan plastiklerin, dayanıklılığı, işlenebilirliği, hafifliği ve düşük maliyeti gibi özellikleri sayesinde, paketleme, inşaat, otomotiv, elektrikli ve elektronik aletler, tarımsal üretim, giyim ve ayakkabı, ev ve kişisel temizlik ürünleri gibi günlük yaşamın her yerinde ve pek çok uygulamada kullanımı mümkündür. (Ergen, 2017;Boucher ve Friot, 2017).

Dünya ekonomisinde önemli bir yere sahip olan plastik sektöründe, tüketim özellikle 1950'li yıllardan itibaren hızla artış göstermiştir. 2019 yılında dünyada yaklaşık 368 milyon ton olan plastik üretimine (Tiseo, 2021), 2050 yılına gelindiğinde 33 milyar ton eklenmesi beklenmektedir (Aslan, 2018). 2019 yılında Türkiye'de plastik ürün

* İlgili yazar / Corresponding author: fatma.gunduz@mail.ege.edu.tr, +90-232-311-3890

üretimi 9,46 milyon ton olmuş ve bu rakamın yaklaşık %40'ı ambalaj malzemesi olarak üretilmiştir (Pagev, 2019). Plastik ambalajlar, tüm plastiklerin %36'sını ve plastik atıkların %47'sini oluşturmaktadır. Tüm plastik materyallerin %90'ı bir kez kullanılıp atılmakta ve bunlar üretilen toplam plastik kütleinin yaklaşık %50'sine karşılık gelmektedir (Rhodes, 2019).

Plastik ürünlerin kullanılması ve atıklarının birikimi konusunda bilinçli hareket edilmediğinde, mikroplastik tehlikesiyle karşılaşılması söz konusudur. (Rhodes, 2019; Arslan, 2018). Genellikle 5 mm'den küçük plastik atıklara mikro plastik denilmektedir (Sillanpää ve Sainio, 2017). Mikroplastik, 1 nm-5 mm arasında uzunluk ve ağırlıkça \geq %1 olan partiküller ile 3 nm -15 mm uzunluk ile uzunluk/çap oranı $>$ 3 olan lifleri de içeren parçacıklardan oluşan bir malzeme olarak da tanımlanabilmektedir Mikroplastik terimi önceleri 5 mm'den daha küçük plastik parçacıkları belirtmekte iken (Boucher ve Friot, 2017; Belzagui vd, 2019; De Falco vd., 2018a; Zambrano vd., 2019; Cesa vd., 2017; Fahrenfeld vd., 2019; Hoang, 2019), bazı araştırmacıların çalışmalarında, son yıllarda 1 mm'den daha küçük plastik parçacıklar için de kullanılmaya başlanmıştır (Carney vd., 2018; Browne vd., 2011; Paula vd., 2019)

Mikroplastik kaynakları genellikle birincil mikroplastikler ve ikincil mikroplastikler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Birincil mikroplastikler, mikroplastik boyutlarında karasal ve sucul alanlara terk edilen malzemelerdir. İkincil mikroplastikler ise, UV ışığa maruz kalma, donma, ısı, rüzgâr ve fiziksel aşınma gibi çevresel nedenlerle parçalanmış plastik atıkların deniz ortamına maruz kalmasından ve daha küçük parçalara ayrılmasından oluşan plastiklerdir (Boucher ve Friot, 2017; Belzagui vd, 2019; Zambrano vd., 2019; Hoang, 2019). Diğer deyimle, orijinal olarak küçük boyuta göre üretilen mikroplastikler birincil, daha büyük plastik maddelerin parçalanması ile ortaya çıkan mikroplastikler ikincil olarak sınıflandırılmaktadır (GESAMP, 2016).

Kişisel bakım, temizlik, hijyen ve kozmetik ürünlerinde kullanılan mikro boncuklar, imalat ve şekil verme gibi işlemler sırasında toprak veya okyanus, deniz gibi ortamlara bırakılan plastik hammaddeleri, kalıntıları ve atıkları birincil mikroplastik kaynaklarını oluşturmaktadır (Arslan, 2018).

İkincil mikroplastikler, günlük yaşamda ev, mutfak ve dış ortamlarda kullanılan plastiklerin yıpranması, daha küçük parçalara ayrılması sonucu ortama bırakılan plastiklerdir. Poliamid, poliester, akrilik gibi liflerden üretilen tekstiller, ıslak mendil, çanta, ayakkabı, giysi, halı gibi birçok malzeme ve bu tip malzemelerin yıkanması sırasında oluşan mikrolifler de ikincil mikroplastiklerdir (Arslan, 2018).

Mikroplastikler, deniz canlılarının yaşamını doğrudan olumsuz yönde etkilemekle beraber, tek kullanımlık plastik malzemelerin üretiminde kullanılan polimerler, tüketicilerin vücut içine kadar ilerleyebilmektedir. Greenpeace Akdenizin, "Tek Kullanımlık Plastikler Yasaklansın" projesi kapsamında yayınlanan raporunda, balık, karides ve midye gibi deniz canlılarında 13 farklı polimer çeşidinden mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. En fazla karşılaşılan polimerlerin, poşet üretiminde kullanılan polietilen (PE), soğuk içecek şişelerinin üretiminde kullanılan polipropilen (PP) ve su şişesi hammaddesi olan polietilen tereftalat (PET) olduğu belirlenmiştir. (Gündoğdu ve Çevik, 2019).

Mikroplastiklerin yaşadığımız her yerde bulunma olasılığı, insanların bu mikro parçacıklara maruz kalmasına neden olmaktadır. Bağışıklık sisteminin sentetik partikülleri uzaklaştıramaması, kronik inflamasyona yol açabilmektedir. Ayrıca, mikroplastikler bileşenlerindeki, adsorbe edilmiş kirleticileri ve patojenik organizmaları serbest bırakabilmektedir. Bununla birlikte, mikroplastik toksisite hakkındaki bilgiler hala sınırlıdır ve maruz kalma konsantrasyonundan, partikül özelliklerinden, adsorbe edilen kirleticilerden, ilgili dokulardan ve bireysel duyarlılıktan büyük ölçüde etkilenmektedir ve daha fazla araştırılması gerekmektedir (Correia vd., 2020).

Mikroplastiklerin solunum veya yutma yoluyla vücuda girdiğinde, dokularda yer değiştirebileceğini gösteren bir çalışmaya göre, farelere verilen floresan polistiren mikrokürelerin 10 gün sonra dalakta bulunabileceği gösterilmiştir (Eyles vd., 2001).

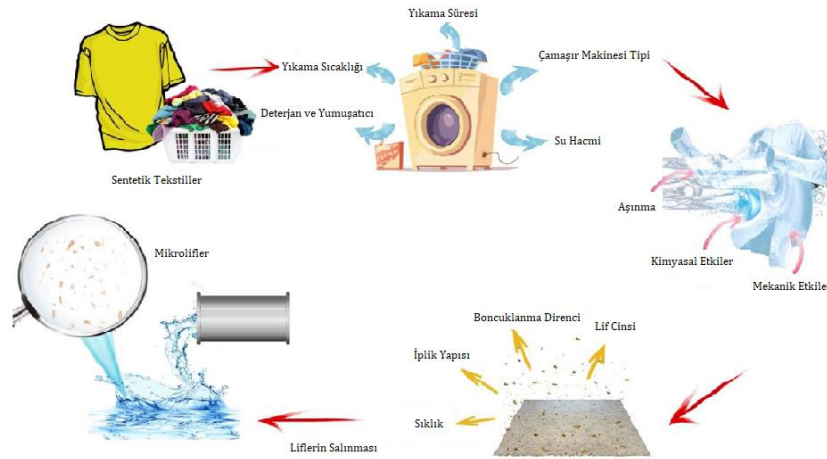
Mikroplastikler, karasal ve sucul ekosistemlerde heterojen olarak yayılmış şekilde bulunmaktadır. Toprak içindeki mikroplastikler, toprakta depolanabildiği gibi, erozyonla başka bir yere de taşınabilmektedir ve çevresel faktörlerle bozunma sonucunda, yeraltı sularına kadar sızabilmektedir. Böylece, birçok canlı suda bulunan mikroplastikleri vücuduna alarak organlarına yayabilmektedir. Ayrıca mikroplastikler, organo-klor yapısındaki pestisitler ve hormon bozucular başta olmak üzere toksik yapıdaki kimyasal maddeleri ve ağır metalleri adsorblayabildiği için, yüzeylerinde zamanla biriktirerek, içinde bulunduğu karasal veya sucul çevreye son derece zararlı olabilmektedir. (Arı ve Söğüt, 2021).

Boucher ve Friot, okyanuslardaki tüm plastiğin %15 ila %31'inin birincil kaynaklardan kaynaklanabileceğini ifade etmektedir (Boucher ve Friot, 2017). Hoang'ın çalışması ise mikroplastiklerin %34,8'inin tekstillerin

yıkınmasından, %28,3'ünün sürüş sırasında lastiklerin aşınmasından, %24,2 oranında şehirleşme kaynaklı meydana gelen tozlanmadan, %12,7'sinin yol yapımı, gemilerin dış yüzey kaplaması, kişisel bakım ürünleri ve plastik peletlerden oluştuğunu ortaya koymuştur (Hoang, 2019).

Tekstil ürünlerinin yıkınması sonucu mikroplastik boyutlu salınan liflerin, büyük bir mikroplastik kaynağı olduğu birçok kaynakta yer almaktadır (Piñol vd., 2015; Browne vd., 2011; Napper ve Thompson, 2016; Mishra vd., 2019). Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN), her yıl yaklaşık 0,8- 2,5 milyon ton arasında mikroplastığın okyanusa salındığını bildirmiştir. Bu miktarın %35'inin sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin evsel ve/veya endüstriyel yıkama işlemleri sırasında kaynaklandığı belirtilmektedir (Boucher ve Friot, 2017; Zambrano vd., 2019). Sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin yıkınmasıyla çevreye salınan, mikroplastik kirliliğine ilişkin araştırmaların önemi daha da artmıştır (Cesa vd., 2017; Hoang, 2019; Mishra vd., 2019). Yapılan bir çalışmada sentetik giysilerin yıkınması sırasında mikroliflerin ortalama emisyonunun yıkama başına giysi kütlesinin %0,3'ü olduğu belirtilmiştir (Hartline vd., 2016). Bu durum, her yıkamada 3 kg sentetik lif yükü için yaklaşık 10 g mikrolif çıktığı anlamına gelmektedir (Schöpel ve Stamminger, 2019)

Yıkama sırasında dökülen mikroplastik lif miktarının tekstil materyalinin özelliklerine, uygulanan işlemlere ve yıkama parametrelerine etkisi çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Bu derlemede, yıkama parametrelerinin mikrolif salınımına etkisinin incelendiği araştırmalara yer verilmiştir.



Şekil 1. Mikrolif salınımının şematik gösterimi (Schematic representation of microfiber release) (Rathinamoorthy ve Balasaraswathi, 2021b)

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kelly vd. (2019) çalışmalarında, %100 poliester siyah tişörtlerden mikrolif salınımı üzerine, su hacminin, çalkalama hızının, sıcaklığın ve yıkama süresinin etkisini, tergotometre ve çamaşır makinesi (Miele W3622) kullanarak araştırmışlardır. Tergotometre ile yapılan yıkama işlemlerinde, su hacminin (300 ml, 600 ml) ve çalkalama hızının etkisi (100 rpm, 200 rpm) 30°C'de 60 dakika yıkama programı ile incelenmiştir. Sıcaklığın (15°C ve 30°C) ve yıkama süresinin (15 dakika ve 60 dakika) etkisi, 200 rpm çalkalama hızında, 300 ml su hacminde yapılan yıkama işlemleri ile araştırılmıştır. Yıkama suyu, önce 20 µm CellMicroSieve filtre ile daha sonra 22 µm gözenek boyutlu Whatman 541 filtre kağıdı ile filtrelenmiş, kurutulmuş ve filtreler DigiEye görüntü yakalama makinesi /yazılımı kullanılarak görüntülenmiştir.

Çamaşır makinesi ile yapılan yıkamalarda ise, pamuklu kısa programı (85 dakika, 1600 rpm, 36 L, 30 °C), soğuk hızlı programı (30 dakika, 1600 rpm, 30 L, 13-15 °C) ve hassas programı (59 dakika, 600 rpm, 69 L, 30 °C) kullanılmıştır. Çamaşır makinesinden gelen yıkama suyu doğrudan çıkış borusundan toplanmış ve filtrelenmiştir. Mikrolifleri içeren filtreler bir mikro terazide tartılmıştır. İlk yıkamada, daha yüksek su hacmi kullanılan hassas yıkama programı, daha düşük su hacmindeki standart yıkamaya göre yıkama başına 800.000 daha fazla mikrolif (94 mg / kg) salmıştır. Sonuçlar, çalkalamadan ziyade, yüksek bir su hacmi-kumaş oranının mikrolif salınımı için en etkili faktör olduğunu göstermiştir. Hem tergotometre hem de çamaşır makinesi yıkamaları, daha yüksek su hacminin mikrolif salınımını arttırdığını, sıcaklık ve sürenin önemli bir etkiye sahip olmadığını ve en büyük mikrolif salınımının ilk yıkamada olduğunu göstermiştir (Kelly vd., 2019).

Yang vd. farklı çamaşır makinesi tiplerinin (pulsatör, merdaneli çamaşır makinesi) ve yıkama koşullarının (sıcaklık ve deterjan), en fazla bulunan sentetik lifler olan poliester, poliamid ve asetat liflerinden yapılan kumaşlarda mikroliflerin salınımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çamaşır makinesi tipi, sıcaklık (30, 40 ve 60°C) ve deterjan (5 ml/15 L deterjanlı, deterjansız) etkisinin karşılaştırılması için deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, bir pulsatör

çamaşır makinesi ile yıkamanın, bir merdaneli çamaşır makinesi ile yıkamadan daha fazla mikrolif açığa çıkardığını göstermiştir. Her ne kadar tüm malzemelerden mikrolif dökülmüş olsa da en fazla mikrolif, yıkama başına $74,816 \pm 10,656$ mikrolif/m²'ye kadar olan asetat kumaşından salınmıştır. Ayrıca, yıkama sıcaklığı arttıkça sentetik kumaşlardan salınan mikrolif sayısında artış eğilimi bulunmuş ve kumaşları sadece suyla değil, deterjanla birlikte yıkarken daha fazla mikrolif salınımı meydana geldiği belirtilmiştir (Yang vd., 2019).

Hernandez vd. çalışmasında, %100 poliester ipliklerden örülmüş interlok kumaş ve %98 poliester ve %2 Spandex ile örülmüş süprem kumaştan numuneler, aynı boyutta kesilmiş, kenarları dikilmiş, tartılmış ve deney işlemlerinden önce bir ön yıkamaya (5 dakika durulama) tabi tutulmuştur. Yıkama işlemleri ISO 105-C06: 2010 standardına göre, sıvı ve toz deterjan çözeltileri ile 1, 2, 4, 8 saat yıkama süresinde, 25, 40, 60 ve 80°C sıcaklıkta, 5 ardışık yıkama ile yapılmıştır. Yıkama suyu, 0,45 µm gözenek boyutlu Whatman filtre kağıdından bir vakum pompası yardımıyla filtrelenmiştir. Filtre kağıtlarını görüntülemek için dijital mikroskop sistemi kullanılmıştır. Yıkama sonrası tekstil ürününden salınan lifler taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir. Test edilen tüm değişkenler arasında, deterjan kullanımının, salınan toplam lif kütlelerini etkilediği ancak, deterjan bileşiminin (sıvı veya toz) veya deterjanın aşırı doz kullanılmasının, mikroplastik salınımını önemli ölçüde etkilemediği bulunmuştur. Bir yüzey aktif maddenin eklenmesi (deterjansız yıkanmış 0,025 mg lif/g tekstil; deterjanla yıkanmış yaklaşık 0,1 mg lif/g tekstil) nedeniyle farklı miktarlarda lif salınmasına rağmen, genel mikroplastik lif uzunluğu profili, yıkama durumuna veya kumaş yapısına bakılmaksızın benzer kalmıştır. Liflerin büyük çoğunluğunun, yıkama sayısına bakılmaksızın, uzunluğunun 100 ila 800 µm arasında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlar, kısa liflerin ve/veya kumaşın içine iplik eğirme işleminden geçen döküntülerin, yıkama sırasında salınan liflerin kaynağı olabileceğini göstermektedir (Hernandez vd., 2017).

Zambrano vd., kumaş yapısı (dokuma, örme, dokusuz yüzey), iplik yapısı (bükümü, düzgünlüğü, tüylülüğü ve lif cinsi) ve işlem geçmişi (ağartma, boyama, terbiye ve kurutma işlemleri) aynı olan kumaşlarla çalışmıştır. Yıkama işlemleri, AATCC Monograph 6-2016 standardına göre, deiyonize su ve deterjan çözeltisi ile 25 ° C ve 44 ° C sıcaklıkta yapılmıştır. Yıkama sırasında salınan mikrolifler, Whatman (GF/C sınıfı, 47 mm, 1,2µm partikül tutabilen) cam mikrolif filtre kağıdıyla süzülmüştür ve HiRes Fiber Kalite Analiz Cihazı (FQA) ile her bir lifin miktarı, uzunluk ve genişlik dağılımı elde edilmiştir. Yıkama işlemi, sıcaklık kontrol sistemli (Quick Temp SDL ATLAS) çamaşır makinesinde (Whirlpool, WTW57005WO), kurutma işlemi (Whirlpool, WED57005WO) kurutma makinesinde yapılmıştır. Yıkama işlemine başlamadan önce, çamaşır makinesinin tahliye borusuna, naylon bir filtreleme eleği sabitlenmiştir. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra, kumaş numunesi 60 dakika süreyle yüksek sıcaklık (ağır yük) ayarında kurutma makinesinde kurutulmuştur. Test edilen tüm kumaş tiplerinde önemli miktarda mikrolif salınımı gözlenmiştir. Aynı örgü yapısındaki suni ipek, pamuk ve poliester-pamuk kumaşlar, hızlı yıkama sırasında poliester kumaşlardan çok daha fazla mikrolif ortaya çıkarmıştır. Test edilen tüm kumaşlar için, deterjan kullanımının ve sıcaklık artışının mikrolif salınımını arttırdığı görülmüştür. (Zambrano vd.,2019)

Almroth vd. tarafından, tekrarlanan yıkama ve giyme ile oluşan lif kaybının, poliester, poliakrilonitril ve poliamid gibi farklı sentetik liflerin kullanılmasıyla değişimini incelenmiştir. Kumaşlar hem kesikli hem de multifilament iplikler kullanılarak, süprem örgü olarak üretilmiştir. Kumaş kenarlarından lif kaybını önlemek için lazer kesici ile kesilen kumaşlar, ayırt edilebilmesi için farklı renklerde boyanmıştır. Kumaşlardaki gevşek lif ve tozları gidermek için, deterjan kullanılmadan, 40°C'de 15 dakika ön yıkama yapılmıştır. Ana yıkama işlemi, piyasada satılan renkliler için sıvı deterjanı kullanılarak Gyrowash cihazında 30 dakika, 60°C'de yapılmıştır. Kullanım sırasında giysilerde meydana gelen aşınma ve yıpranmayı taklit etmek üzere bazı kumaşlar, laboratuvar ortamında aşındırılmıştır. Yıkama suyu, gözenek boyutu 1,2 µm olan bir Whatman GF/C cam filtre ile filtrelenmiştir. Filtreler, ışık mikroskobu kullanılarak analiz edilmiş ve SPSS 23 kullanılarak istatistik değerlendirme yapılmıştır. Mekanik olarak tüyendirilen ya da kesilen kumaşların, diğer örme kumaşlara kıyasla yıkandıklarında önemli ölçüde daha fazla sayıda lif saldırdığı, yaklaşık 1 m² kumaş kullanıldığında, giysinin yaklaşık 110.000 lifi serbest bırakabileceği, daha sıkı örülmüş kumaşın (aynı kumaş alanında daha fazla lif olmasından) daha büyük lif kaybına yol açtığı gözlenmiştir. Poliamid ve poliakrilik kumaşların poliester benzer miktarlarda lif döktüğü, eskitilmiş giysilerin yeni giysilere göre daha yüksek lif kütleleri saçtığı, deterjanla yıkamanın test edilen dört kumaştan üçü için salınan lif miktarında önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir (Almroth vd., 2018).

Hartline vd., çoğunluğu poliester liflerinden oluşmuş ceket veya kazaklarla, önden ve üstten yüklemeli ev tipi çamaşır makinelerinde, deterjansız yıkama deneyleri yapmıştır. Yıkama suyu, farklı boyutlarda mikrolifleri tutabilen iki filtreden (> 333 µm ve 20 ila 333 µm arasında) süzülmüştür. Filtreler, dijital fotoğraf makinesi kullanılarak görüntülenmiş ve mikrolif kütleleri hesaplanmıştır. Tüm işlemlerde, giysi başına mikrolif kütlelerinin, yaklaşık 0-2 g arasında olduğu ve yıkanmamış giysi kütlelerinin %0,3'ünü aştığı bulunmuştur. Üstten yüklemeli makinelerde, önden yüklemeli makinelere kıyasla yaklaşık 7 kat daha fazla mikrolif kütleleri bulunmuştur. Aynı yıkama protokolü altında, 24 saat süreklilikle yıkama ile mekanik olarak eskitilen giysilerden, yeni giysilere göre daha fazla kütlede lif salınımı olmuştur (Hartline vd., 2016).

Napper ve Thompson çalışmasında, poliester, poliester-pamuk karışımı ve akrilik kumaşlardan liflerin salınımını incelemek üzere, çeşitli sıcaklık (30°C ve 40°C), deterjan ve yumuşatıcı kullanımıyla çamaşır makinesinde yıkama işlemi yapmıştır. 25 µm gözenekli bir filtre ile yıkama sonrası lifler toplanmıştır. Ortalama lif boyutu 11,9 ile 17,7 µm çapında ve 5,0 ile 7,8 mm uzunluğunda değişmektedir. Poliester-pamuklu kumaştan, poliester veya akrilik kumaşa göre tutarlı olarak daha az lif dökülmüştür. Bununla birlikte, lif salınımı çeşitli karmaşık etkileşimlerle, yıkama işlemine göre değişmektedir. Akrilik kumaşın ortalama 6 kg'lık yıkama yükünden 700.000'den fazla lifi serbest bırakabileceği tahmin edilmiştir (Napper ve Thompson, 2016).

Pirc vd. çalışmasında, polar (mikrolif poliester) tekstil ürününün önden yüklemeli çamaşır makinesinde deterjan ve yumuşatıcı ile yıkanmasından ve kurutulmasından kaynaklanan mikrolif salınımı incelemiştir. Çamaşır makinesinden gelen atık su, 200 µm gözenek boyutlu filtre ile filtrelenmiştir. Filtrelerden toplanan lifler analiz edildiğinde, 10 ardışık yıkama sırasında salınımın başlangıçta azaldığı, daha sonra ağırlıkça yaklaşık %0,0012'de dengeye geldiği gösterilmiştir. Deterjan ve yumuşatıcı kullanımı salınımı önemli ölçüde etkilememiştir. Kurutma sırasında salınan lifler, yıkama sırasındakinden yaklaşık 3,5 kat daha fazla bulunmuştur (Pirc, vd., 2016).

Yıkama işlemlerinin Linitest cihazında yapıldığı, De Falco vd. çalışmasında, poliester, akrilik ve poliester-pamuk liflerden yapılmış süveterlerden gelen mikro lif salınımı, 30 ve 40°C sıcaklıkta, bir deterjan ve bir yumuşatıcı varlığında/yokluğunda gerçekleştirilen evsel yıkama sonrasında incelenmiştir. Yıkama çözeltileri 5 µm gözenek boyutuna sahip bir filtreden süzölmüş ve filtreler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Farklı deterjanların, yıkama parametrelerinin (sıcaklık, zaman, su sertliği vb.) ve yıkama koşullarının (evsel ve endüstriyel) mikrolif salınımına etkisi değerlendirilmiştir. Endüstriyel bir yıkama işlemi simüle etmek için başka bir yıkama testi yapılmıştır. Sonuçlar, dokuma poliesterin, kullanılan deterjandan bağımsız olarak, evsel koşullar altında yıkama sırasında, örme poliester ve dokuma polipropilene göre en fazla sayıda mikrolif serbest bıraktığını göstermiştir. Dokuma poliester ile yapılan denemelerden, yumuşatıcı kullanıldığında mikrolif salınımının en düşük olduğu tespit edilmiştir. Çamaşır suyunun salınan mikro lif sayısına etkisinin anlaşılması için, daha ileri çalışmalara ihtiyaç bulunduğu belirtilmiştir. Sonuçlar toz deterjan, yüksek sıcaklık, daha yüksek su sertliği ve mekanik hareketin, mikroplastik salınımını arttırdığını göstermiştir. Endüstriyel yıkamalar önemli miktarda mikrolif salınımı oluşturmaktadır (De Falco vd., 2018a)

Cocca ile çalışma grubunun yaptığı bir çalışmada, dokuma poliester, örme poliester ve dokuma polipropilen kumaşlar, hem endüstriyel hem de evsel yıkama koşullarına göre Linitest cihazında yıkanmıştır. Evsel yıkama koşullarını temsil eden yıkamalarda sıvı deterjan, toz deterjan, oksijen-ürün, ağartıcı ve yumuşatıcı ürünler kullanılmıştır. Endüstriyel yıkama koşullarını temsil eden yıkamalarda referans standart alkali deterjan ve iki ticari deterjan kullanılmıştır. Yıkama suları toplanmış, PVDF (Poliviniliden florür) membran filtrelerinden (gözenek genişliği = 5 µm) süzölmüş ve filtreler, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlenmiştir. Filtre yüzeyinin birkaç mikrografi alınarak bir sayım yöntemi geliştirilmiştir. Sadece su, sıvı deterjan ve toz deterjan ile yapılan yıkamalar değerlendirildiğinde, deterjan kullanıldığında tüm kumaşlar için salınan mikro lif miktarında artış olduğu görülmüştür. En fazla salınım, toz deterjanın kullanıldığı durumda bulunmuştur. Dokuma poliester kumaşın, en fazla miktarda mikro lif saldırdığı görülmüştür. Dokuma poliester kumaş, farklı tipte yıkama ürünleri (ağartıcı, yumuşatıcı ve oksitleyici ürünler) kullanılarak ve yıkama koşulları (sıcaklık, süre, mekanik hareket ve su sertliği) değiştirilerek, endüstriyel yıkama koşullarında daha detaylı araştırılmıştır. Sıvı deterjan, yumuşatıcı ve ağartıcı madde kullanımının, küçük bir mikrolif salınımına neden olduğu; yüksek sıcaklık, yıkama süresi ve mekanik hareketin ise mikrolif salınımında artışa neden olduğu bulunmuştur. Endüstriyel yıkama koşulları ise, daha sert yıkamalar olduğundan, ev tipi yıkamalara kıyasla daha fazla sayıda mikrolif salınmasına neden olmuştur.

Yıkama işlemi sırasında açığa çıkan mikroplastik miktarını azaltmak için dokuma poliester kumaşa akrilik reçine, silikon emülsiyonu ve poliüretan/akrilik reçine gibi farklı apre işlemleri uygulanmıştır. Apreli kumaşların deterjanlı ve deterjansız ev tipi yıkama sonuçlarına göre, silikon emülsiyon ile kaplanan kumaşlardan gram başına salınan lif sayısı, yalnızca su ile yapılan yıkamadan bile daha az miktarda mikro lif salınımı göstermiştir. (Cocca vd., 2017)

Linn Åström tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, deterjan kullanımının yıkama sırasında mikrolif dökülmesine etkisi incelenmiştir. Deterjan kullanılmayan yıkama işlemine göre, deterjan kullanıldığında mikrolif dökülmesinde önemli bir artış olduğu bulunmuştur. Farklı deterjanların (biyo-deterjanlar ve biyo olmayan-deterjanlar) mikrolif dökülme üzerindeki etkisinin analizi ise her iki deterjanın da dökülmeyi artırdığını ancak biyo-deterjan kullanımının biyo olmayan-deterjanlara göre daha az dökülmeye neden olduğu bulunmuştur. (Rathinamoorthy ve Balasaraswathi, 2021a).

De Falco vd. (2019), çeşitli renk, lif ve kumaş yapılarında ticari giysilerden mikroplastiklerin salınımı ve tekstil özelliklerinin salınım üzerindeki olası etkilerini belirlemek için 40°C'de 107 dakika ve 1200 rpm'de, sentetikler için yıkama programı ve 2-2,5 kg yıkama yükü kullanılarak ev tipi çamaşır makinesinde yıkama denemeleri

yapmıştır. Yıkama sayısının mikrolif salınımına etkisini belirlemek için, ardışık on yıkama yapılmıştır. Giysiler, gerçek çamaşır yıkama alışkanlıklarını simüle etmek için ardışık yıkama işlemleri arasında kurutulmuştur. Mikrolif salınımının değerlendirilmesi için, doğrudan çamaşır makinesinin drenaj borusundan gelen atık su, gözenekliliği azalan ardışık filtrelerden (400 µm, 60 µm, 20 µm ve 5 µm gözenek boyutundaki) toplanmış, süzölmüş, mikroliflerin miktarı ve boyutları belirlenmiştir. Sonuçlar, yıkanmış çamaşırın cinsine bağlı olarak, yıkanmış kumaşın kg'ı için 124 ile 308 mg arasında değişen mikro lif dağılımını göstermiştir ve bu 640.000 ile 1.500.000 arasında değişen bir miktarda mikrolife karşılık gelmektedir. İplikleri oluşturan liflerin türü ve ipliklerin bükümü gibi özellikler yıkama sırasında mikro liflerin salınımını etkilemiştir. Poliester/selüloz lif karışımı ile yapılan giysilerin yıkanması sırasında büyük miktarda selülozik yapıdaki mikro lifler de salınmıştır. En fazla miktarda mikrolif döküntüsü, 60 µm gözenek boyutuna sahip filtreler tarafından tutulmuştur. Mikrolif döküntüsü, ortalama olarak 360-660 µm uzunluğunda ve 12-16 µm ortalama çapında bulunmuştur. %100 poliester giysilerden salınan mikrolifler 4-5 yıkamadan sonra sabitlenirken, poliester /pamuk /modal bileşimine sahip giysilerden mikroliflerin salınımı, 10 yıkamadan sonra hala oldukça fazla bulunmuştur (De Falco vd., 2019).

De Falco vd (2018b) başka bir çalışmada, %100 poliester tişörtlerden salınan mikrolif miktarını, hem ev tipi çamaşır makinesinde 40°C'de, 1200 rpm'de, sentetikler için yıkama programı kullanarak hem de Gyrowash cihazında 40°C'de 45 dakika yıkama işlemi ile incelemiştir. Mikrolif salınımının değerlendirilmesi için, çamaşır makinesinin drenaj borusundan gelen atık su 400 µm, 60 µm ve 20 µm gözenek boyutuna sahip üç filtrelemeden geçirilmiştir. Gyrowash yıkama testlerinde, kesilen kumaş parçalarının kenarları ısı ile yapılandırılmış (liflerin kesilmiş kenarlardan salınımını önlemek için), 10 çelik bilye eklenmiş, sıvı deterjan (üretici tarafından önerilen dozda) kullanılmıştır. Yıkama suyu, ortalama 5 µm gözenek genişliğine sahip filtre ile filtrelenmiştir. Laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen yıkamalar sırasında salınan toplam mikro lif sayısı, yıkanmış kumaşın gramı başına 1733 ± 428 mikrolif, yani, yıkanmış kumaşın kg'ı başına yaklaşık 1.733.000 mikrolif olarak hesaplanmıştır. Mikrolif boyutlarının uzunluğunun 376 ± 82 µm, çapının 18 ± 4 µm olduğu, yıkanmış kumaşın kg başına salınan mikrolif miktarının 219 mg olduğu SEM mikrografları kullanılarak hesaplanmıştır (De Falco vd., 2018b).

Dalla Fontana vd. çalışmasında, ev tipi çamaşır makinesinde yıkanan %100 poliester kumaşlardan, yıkama süresi, sıcaklığı, tambur uzunluğu, santrifüjleme süresi gibi farklı koşullar uygulandığında salınan mikroliflerin miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, tek başına deterjan ile deterjan ve leke çıkarıcının birlikte kullanımı karşılaştırılmıştır. 1., 2., 3., 4. ve 5. yıkamalardan sonra veriler alınmıştır. Çamaşır makinesi atık sularından, 40 µm gözenekli bir elek kullanılarak filtre edilen mikroplastikler, nitel ve nicel yöntemlerle karakterize edilmiştir. Mikroplastik salınımının yıkama sayısı artışı ile azalmadığı, kalıntı değerleri dağılımının, pamuk yıkama programı için 40,19 mg/kg iken, hassas/ipek programı için 33,86 mg/kg olduğu bulunmuştur. "Pamuk" yıkama programı; yıkama süresi, sıcaklığı, santrifüjleme hızı, tamburların ters çevrilme sayısı, tamburun sabit kaldığı tambur uzunluğu ve % hareketsiz tambur nedeniyle daha fazla salınım etkisi oluşturmuştur. "Hassas" yıkama programında ise, kumaşa uygulanan stres/sürtünme daha az olduğundan, daha düşük bir mikroplastik salınımı bulunmuştur. "Hassas" ipek yıkama programında sadece deterjan ile deterjan ve leke çıkarıcı kullanımı karşılaştırıldığında istatistiksel önemli bir fark (yaklaşık %4) olmadığı gözlenmiştir (Dalla Fontana vd., 2020).

Cesa vd. çalışmasında, yıkama ve tekstil parametreleri kombinasyonlarının lif salınımını nasıl etkilediğini, kimyasal etki (deterjan) ve mekanik etki (10 ardışık yıkama) ile ilgili faktörler kullanarak, pamuk, akrilik, poliester ve poliamid kumaşta incelemiştir. Deneyler için, 1 kg kapasiteli, üstten yüklemeli, mini çamaşır makinesi su ısıtması olmadan (ortalama 24°C) kullanılmıştır. Makinede, gözenek boyutu ortalama 450 µm olan dahili bir filtre bulunmaktadır. Makine filtresinden geçtikten sonra, her yıkamadan çıkan atık sular 500 µm ve 63 µm gözenek boyutlu iki ardışık paslanmaz çelik elek içinde manuel olarak filtrelenmiştir. Her bir alımdan elde edilen hacim (lifli damıtılmış su), 8 µm gözenek boyutlu bir filtre kağıdı üzerinde bir cam filtre tutucu düzeneğine bağlı bir vakum pompasında ayrı ayrı süzölmüştür. Filtre kağıtları, filtrasyondan önce ve sonra tartılmıştır. Deterjan kullanılan ve deterjan kullanılmayan yıkamalarda salınan lif kütleleri karşılaştırıldığında, deterjan kullanımında istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az lif salınımı bulunmuştur. Pamuk yıkamasında deterjan kullanılması ya da kullanılmaması lif salınımında istatistiksel olarak anlamlı fark yaratmamıştır. Deterjan kullanımı, poliakrilnitril, poliamid ve poliester için liflerin tutulmasında daha etkili olmuştur. Denemelerde kullanılan tüm giysi ve filtreleme malzemeleri göz önüne alındığında, ilk 3 yıkama, ortalama %53 ile salınan toplam lif kütesinin minimum %37'sinden ve maksimum %76'sından sorumlu bulunmuştur. Çamaşır makinesi filtresi (450µm), toplam filtrasyonun minimum %25'ini ve maksimum %60'ını korumuştur. Poliester ve poliamid için değerler %45'den küçük, pamuk ve poliakrilnitril için değerler %50 ile %60 arasında bulunmuştur (Cesa vd., 2019).

Lant vd. çalışmasında, İngiltere'de 79 evden toplanmış ve laboratuvarında sabit miktarda kirletilmiş çamaşırlardan mikrolif salınımını incelemiştir. Avrupa yıkama alışkanlıklarına göre yıkamalar, önden yüklemeli çamaşır makinesinde (Miele W3622) 40°C Pamuk Kısa (85 dak., 1600 dev/dak) veya 15°C Soğuk Hızlı (30 dk., 1600 rpm) programları ile Kuzey Amerika alışkanlıklarına göre yıkamalar ise üstten yüklemeli çamaşır makinesi (64 L dolun hacimli, bir durulamalı, 18 dak. Süper yıkama programı) ya da üstten yüklemeli bir diğer çamaşır makinesi (30 L

dolum hacimli, 18 dakika yıkama, toplam 47 dakikalık Casual yıkama programı) ile yapılmıştır. Avrupa yıkamalarında, kumaşlar yıkamalar arasında kurutulmamış, Kuzey Amerika yıkamalarında ise yıkama aralarında kumaşlar, 1 saat boyunca düşük bir sıcaklık ayarında (50°C) kurutma makinesi kullanılarak kurutulmuştur. Çamaşır makinesinin tahliye hortumundan atık su toplanmış ve 20 µm CellMicroSieve filtre içinden süzölmüştür. Buradan toplanan lifler, Whatman No 541 filtre kağıdıyla vakum altında süzölmüş, 50°C'de gece boyunca kurutulmuştur. Lif tanımlama, ilk olarak Yüksek Güçlü Mikroskop ve Polarize Işık Mikroskobu (Ortholux, Leica) kombinasyonu kullanılarak yapılmıştır. Lif tanımlama için daha sonra, %100 doğrulanmış numuneler ve FT-NIR Spektrometresine bağlı bir FT-IR Mikroskobu kullanılmıştır ve lifler karakterize edilmiştir. 1,0-3,5 kg kütle aralığında ortalama 132,4±68,6 ppm mikrolif salınımı, 3,5-6,0 kg aralığında ortalama 66,3±27,0 ppm mikrolif salınımı bulunmuştur. Bu iki yük aralığı birbiriyle karşılaştırıldığında, 3,5-6,0 kg yük aralığında %50 daha düşük mikrolif salınımı olduğu görölmektedir. Ortalama çamaşır kütlesi 2,69 kg olan Avrupa yıkamalarında, 40°C yıkama programı için ortalama 181,6 ± 87,1 ppm lif salınımı; "Soğuk Hızlı" yıkama programı için 129,5±42,9 ppm lif salınımı olmuştur. Bu iki yıkama programı birbiriyle karşılaştırıldığında, soğuk hızlı yıkama programı için %30 daha düşük mikrolif salınımı olduğu görölmektedir. Yumuşatıcı kullanımının mikrolif salınımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Mikrolif salınımının sekiz yıkamadan sonra sabit bir düşük seviyeye ulaştığı ve daha sonraki 48 yıkama süresinde artmadığı bulunmuştur. Kuzey Amerika testlerinde kullanılan, yüksek verimli üstten yüklemeli makineler, geleneksel üstten yüklemeli makinelere kıyasla önemli ölçüde daha düşük seviyelerde mikrolif salınımına neden olmuştur. (Lant vd., 2020)

Ross ve vd. çalışmasında, poliester kumaş özellikleri ile mikroplastik salınması arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Numuneler ya makasla ya da ultrasonik kesme makinesiyle kesildikten sonra, 40°C'de 60 dakika Gyrowash ile deterjan kullanarak ve kullanmadan yıkanmıştır. Yıkama suyu, 100 µm, 5 µm ve 0.65 µm filtrelerden süzölmüş ve optik mikroskop ile değerlendirilmiştir. Optik mikroskop, parçacıkların sayısını, malzeme özelliklerini ve boyut dağılımını tanımlayan otomatik bir lif tanımlama yazılımına bağlanmıştır. Bu yöntem, farklı türdeki partikülleri saymak ve liflerle diğer kirlilik türlerini ayırt etmek için etkili olmuştur. Ancak, iki veya daha fazla lif birbiri üzerinden geçtiğinde, yazılım bu lifleri bir olarak saymıştır.

Fırçalama işlemi yapılmadan, mekanik olarak geri dönüştürölmüş poliesterden yapılmış ve yeni poliesterden yapılmış aynı özelliklere sahip 2 kumaşın yıkama sonuçları karşılaştırıldığında geri dönüştürölmüş poliesterden toplam 843 lif dököldüğü, yeni poliesterden 1890 lif dököldüğü gözlenmiştir.

Bir numune kumaş makası ile diğeri ultrasonik kesme makinesi ile kesilmiştir. Ultrasonik kesimli kumaştan toplam 890 adet, makaslı kesimli kumaştan ise 1927 adet lif dököldüğü bulunmuştur.

Fırçalama azaltılarak, kesme-dikme işleminde ultrasonlu kesim uygulanarak ve kumaşlardaki mikropartiküller daha üretim aşamasında uzaklaştırılarak, giysilerden mikroplastik dökölmeye riskinin azaltılacağı ön görölmüştür (Roos vd., 2017).

3. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

1950'li yıllardan bu yana birçok alanda kullanılmaya başlayan, dayanıklılığı, hafifliği ve işlenebilirliği gibi nedenlerle her geçen gün üretimi artan plastikler beraberinde artan çevre yükünü de getirmiştir. Özellikle plastik malzemelerin gerek zamanla çeşitli faktörler yardımıyla daha küçük parçalara ayrılması ve gerekse üretim kaynaklı mikro boyutta olmaları sebebiyle ortaya çıkan mikroplastikler, ekolojik açıdan önemli bir risk oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin, suda ve karada yaşayan canlılar tarafından sindirildiği ve besin zincirine girerek toksik etkiler gösterdiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Acharya vd, 2021)

Bu derlemede, sentetik liflerden oluşan tekstillerin yıkama işlemlerinde kullanılan değişken parametrelerinin lif salınımı ve mikroplastik kaynağı oluşturması hakkındaki literatürlere yer verilmiştir. Yıkama sıcaklığı, deterjan kullanımı, yumuşatıcı kullanımı, yıkama programının süresi ve su hacminin rolü, yıkama makinesinin çeşidi gibi parametrelerin mikrolif salınmasına etkisi incelenmiştir. Yıkama suyunun özelliklerinin değişken olduğu, ağartıcı madde, leke çıkarıcı gibi kimyasal etkilerin değerlendirildiği çalışmaların yetersiz olduğu, bu konularda daha fazla çalışma yapılmasına gerek olduğu görölmüştür.

İncelenen çalışmalardan; yıkama sıcaklığının artmasıyla mikrolif salınımının arttığı (Napper ve Thompson, 2016; Yang vd, 2019; De Falco vd, 2018a; Cocca vd., 2017; Zambrano vd. 2019), yıkama sırasında deterjan kullanımının mikrolif salınımını arttırdığı (Hernandez vd., 2017; Cocca vd., 2017; Cesa vd., 2019; De Falco vd, 2018a; Yang vd, 2019; Zambrano vd, 2019), üstten yüklemeli çamaşır makinelerinin önden yüklemeli çamaşır makinelerine göre daha fazla (Hartline vd, 2016), pulsatör tipi çamaşır makinelerinin merdaneli tip çamaşır makinesine göre daha fazla (Yang vd., 2019) mikrolif salınımına neden olduğu, daha yüksek su hacminin mikrolif salınımını arttırdığı (Kelly vd., 2019) gibi genel sonuçlara varılabilmektedir. Yumuşatıcı kullanımının mikrolif salınımını azalttığı (De

Falco vd, 2018a; Cocca vd.,2017) yönünde bulgular olduğu gibi herhangi bir etkisinin olmadığını (Napper ve Thompson, 2016; Pirc vd., 2016) ifade eden çalışmalar da bulunmaktadır. Yıkama süresinin etkisi ile ilgili çalışmalardan genel bir sonuç çıkarılamamaktadır. Mikro lif salınımı için incelenen standart tekstil örneği olmaması, yıkama parametrelerinin değişkenliği, ölçüm tekniklerindeki farklılıklar nedeniyle çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması zor hale gelmektedir. Bu kapsamda, yıkanmış tekstil ürünlerinin özelliklerinin, mikrolif oluşumuna etkisinin tüm parametreler bazında incelendiği çalışmalar konusundaki literatür eksikliği hala devam etmektedir.

Yıkama sırasında çevreye salınan mikrolif miktarı büyük ölçüde lifin cinsi, uzunluğu, iplik cinsi, numarası, bükümü, kumaşın doku tipi, sıklığı, yeni ya da geri dönüştürülmüş liflerden olması, boncuklanmaya yatkınlığı, bitim işlemi gibi tekstil malzemesi ve ona uygulanan işlemlerin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yıkamada kullanılan suyun sertliği, miktarı, pH'ı, sıcaklığı, yıkama devri, süresi, sayısı, programı, yıkama makinesinin tipi, yıkamanın endüstriyel veya evsel olması, kurutma devri, deterjan ve yumuşatıcı tipi gibi çeşitli yıkama koşulları da salınan mikroplastik miktarına etki etmektedir (Mermaids Consortium vd., 2017; Prata, 2018; Adner, 2018; Cai vd., 2020).

Sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin tüketici kullanımına sunulmadan önce, mikrolif dökülmesini azaltacak şekilde tasarlanması, üretim sırasında gevşek liflerin ortadan kaldırılması, ön yıkama ve vakumla çektirme yapılması (Almroth vd., 2018) gibi önlemler tüketici kullanımında ilk yıkamalarda salınması beklenen mikroplastiklerin miktarını azaltmada yardımcı olacaktır.

Bu konudaki mevcut literatürler incelendiğinde, tekstil ürünlerinden kaynaklanan mikro liflerin salınımını azaltmak için çeşitli çözüm olanakları arasında ev tipi çamaşır makinelerinde daha verimli filtrelerin kullanılması (Almroth vd., 2018), susuz çamaşır makinelerinin (Adner, 2018) ve ultrason yıkama teknolojilerinin kullanılması, (Cai vd., 2020) su yerine basınçlı karbondioksit ile yıkama (Adner, 2018) yapılmasının da etkili olduğu görülmüştür.

Mikroplastik kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik çalışmaların daha sistematik bir şekilde incelenmesi, gelecekteki çalışmalar için standartlaştırılmış protokollerin ve prosedürlerin oluşturulması son derece önemlidir. Bir tekstil ürününün yıkama işlemi sırasında suya bırakabileceği mikroplastik miktarının ölçülmesi ve değerlendirilmesine ilişkin bir düzenlemenin getirilmesi, açığa çıkan mikroplastik miktarının sınırlandırılmasına ilişkin zorunlulukların oluşturulması ve bu işlem adımlarına yardımcı olacak standartların veya yöntemlerin oluşturulması için kapsamlı bir çalışmanın yürütülmesi son derece önem taşımaktadır. Bu nedenle hammaddeden tedarik zincirine ve imha etmeye kadar olan her aşamada standart yöntemlerin belirlenmesi ve uygulanmasına en kısa sürede başlanması ve tüm paydaşların bu konuda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Sürdürülebilir bir dünya için plastik malzeme kullanımı konusunda toplum bazında yeterince bilinç oluşturulması, üretici, tüketici ve tüm paydaşların gereken hassasiyeti göstermesinin ön koşul olduğu değerlendirilmektedir. Mümkün olduğunca iyi bir geri dönüşüm ve atık yönetimi yapılarak plastik kaynaklı çevre yükünün azaltılması ve bunların canlılar üzerindeki olumsuz etkilerinin düşürülmesi tüm tarafların birlikte yapacağı çalışma ve bilinçle gerçekleştirilebilecektir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Acharya, S., Rumi, S. S., Hu, Y., Abidi, N., 2021, Microfibers From Synthetic Textiles As A Major Source Of Microplastics In The Environment: A Review, Textile Research Journal, Vol. 91(17-18) 2136-2156, <https://doi.org/10.1177/0040517521991244>
- Adner, J., 2018, Management Of Microplastics In Apparel Value Chain – Design- And Production Process, M.S. Thesis, University of Borås, Sweeden.
- Almroth B. M. C., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., Persson, N. K., 2018, Quantifying Shedding Of Synthetic Fibers From Textiles; A Source Of Microplastics Released Into The Environment, Environmental Science and Pollution Research, 25(2), 1191-1199.
- Arı, M., Ögüt, S., 2021, Mikroplastikler ve Çevresel Etkiler, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 864-877.
- Arslan, R., 2018, Mikroplastikler: Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike, Ayrıntı Dergisi, 6(66), 61-67.
- Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A., Gutiérrez-Bouzán, C., Vilaseca, M., 2019, Microplastics' Emissions: Microfibers' Detachment From Textile Garments, Environmental Pollution, 248, 1028-1035.

- Boucher, J. and Friot D., 2017, Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources, ch.4, 20-24, Gland, Switzerland: IUCN.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011, Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks, *Environ. Sci. Technol.*, 45, 9175–9179.
- Cai, Y., Mitrano, D. M., Heuberger, M., Hufenus, R., Nowack, B., 2020, The Origin of Microplastic Fiber In Polyester Textiles: The Textile Production Process Matters, *Journal of Cleaner Production*, 267, 121970.
- Cesa, F. S., Turra, A., Baruque-Ramos, J., 2017, Synthetic Fibers As Microplastics In The Marine Environment: A Review From Textile Perspective With A Focus On Domestic Washings, *Science of The Total Environment*, 598, 1116-1129.
- Cesa, F. S., Turra, A., Checon, H. H., Leonardi, B., Baruque-Ramos, J., 2019, Laundering And Textile Parameters Influence Fibers Release In Household Washings, *Environmental Pollution*, 257, 113553.
- Cocca M., De Falco F., Gullo M. P., Gentile G., Di Pace E., Gelabert L., Brouta-Agnésa M., Rovira A., Escudero R., Villalba R., Mossotti R., Montarsolo A., Gavignano S., Tonin C. And Avella M., 2017, Microplastics From Synthetic Clothes: Environmental Impact And Mitigation Strategies, 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece
- Correia, J., Costa, PJP, Lopes, I., Duarte, A., Rocha-Santos, T., 2020, Environmental Exposure To Microplastics: An Overview On Possible Human Health Effects, *Science of The Total Environment*, 702, 2020, Article number: 134455
- Dalla Fontana, G., Mossotti, R., Montarsolo, A., 2020, Assessment Of Microplastics Release From Polyester Fabrics: The Impact Of Different Washing Conditions, *Environmental Pollution*, 264, 113960.
- De Falco, F., Pia Gullo, M., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnésa, M., Rovira, A., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C., Avella, M., 2018a, Evaluation Of Microplastic Release Caused By Textile Washing Processes Of Synthetic Fabrics, *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- De Falco, F., Gentile, G., Di Pace, E., Avella, M., Cocca, M., 2018b, Quantification Of Microfibres Released During Washing Of Synthetic Clothes In Real Conditions And At Lab Scale, *The European Physical Journal Plus*, 133, Article number: 257.
- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M., Avella, M., 2019, The Contribution Of Washing Processes Of Synthetic Clothes To Microplastic Pollution, *Scientific Reports*, 9, Article number: 6633.
- Ergen, O. G., 2017, Plastik Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahisi İçin Başvuran Hasta Profiline İncelenmesi: Özel ve Kamu Hastanelerinin Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye.
- Eyles, J.E., Bramwell, V.W., Williamson, E.D., Alpar, H.O., 2001, Microsphere Translocation And Immunopotentiality In Systemic Tissues Following Intranasal Administration. *Vaccine* 19, 4732-4742
- Fahrenfeld, N.L., Arbuckle-Keil, G., Naderi Beni, N., L.Bartelt-Hunt, S., 2019, Source Tracking Microplastics In The Freshwater Environment, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 112, 248-254.
- GESAMP Working Group 40, 2016, Sources, Fate And Effects Of Microplastics In The Marine Environment: Part Two Of A Global Assessment, (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/ UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), London, England: International Maritime Organization, GESAMP No. 93.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., 2019, Plastikten Kurtul, Oltaya Gelme, Greenpeace Akdeniz, Türkiye, Rapor. Türkiye'deki Deniz Canlılarında Mikroplastik Kirliliği.
- Hartline, N. L., Bruce, N. J., Karba, S. N., Ruff, E. O., Holden, P. A., 2016, Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments, *Environ. Sci. Technol.* 50, 11532–11538.
- Hernandez, E., Nowack, B., Mitrano, D. M., 2017, Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing, *Environmental Science&Technology*, 51, 7036–7046.
- Hoang, H. N., 2019, Washing Machine Microplastics, Bachelor's Thesis, Tampere University of Applied Sciences, Finland.
- Kelly, M. R., Lant, N. J., Kurr, M., Burgess, J. G., 2019, Importance of Water-Volume on the Release of Microplastic Fibers from Laundry, *Environ. Sci. Technol.* 53 (20), 11735-11744.
- Lant, N. J., Hayward, A. S., Pethhawadu, M. M. D., Sheridan, K. J., Dean, J. R., 2020, Microfiber Release From Real Soiled Consumer Laundry And The Impact Of Fabric Care Products And Washing Conditions, *PLoS ONE* 15(6): e0233332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233332>.
- Mermaids Consortium, Plastic Soup Foundation, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Polysistec, Leitat Technological Center, Ocean Clean Wash, 2017, Microfiber Release From Clothes After Washing: Hard Facts, Figures And Promising Solutions, Mermaids Consortium, European Community, Rep. Position Paper.
- Mishra, S., Rath, C. C., Das, A. P., 2019, Marine Microfiber Pollution: A Review On Present Status And Future Challenges, *Marine Pollution Bulletin*, 140, 188-197.
- Napper, I. E., Thompson, R. C., 2016, Release Of Synthetic Microplastic Plastic Fibres From Domestic Washing Machines: Effects Of Fabric Type And Washing Conditions, *Marine Pollution Bulletin* 112 (1–2), 39-45.
- Pagev, 2019, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı, Rapor: 2019, Türkiye.
- Paula, F.C., Nora, B., Ruth, G. C., Lorenzo, B., 2019, Textile Microplastics: A Critical Overview, AUTEX 2019 –19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads, Ghent, Belgium.
- Piñol, L., Rodriguez, L., Brouta, M., Escamilla, M., Escudero, R., 2015, Mitigation of microplastics impact caused by textile washing processes, Mermaids Ocean Clean Wash, Plastic Soup Foundation, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Polysistec, Leitat Technological Center, Ocean Clean Wash, European Community, Rep. LIFE13 ENV IT 1069.
- Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A., Kržan, A., 2016, Emissions Of Microplastic Fibers From Microfiber Fleece During Domestic Washing, *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 22206–22211.
- Prata, J. C., 2018, Microplastics In Wastewater: State Of The Knowledge On Sources, Fate And Solutions, *Marine Pollution Bulletin*, 129, 262-265.
- Rathinamoorthy, R., Balasaraswathi, S. R., 2021a, Investigations On The Impact Of Handwash And Laundry Softener On Microfiber Shedding From Polyester Textiles, *The Journal of The Textile Institute*, <https://doi.org/10.1080/00405000.2021.1929709>

- Rathinamoorthy, R., Balasaraswathi, 2021b, S. R., A Review Of The Current Status Of Microfiber Pollution Research In Textiles, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 33 No. 3.
- Rhodes, C. J., 2019, Solving The Plastic Problem: From Cradle To Grave, To Reincarnation, Science Progress, 102 (3), 218–248.
- Roos S., Arturin O. L., Hanning A.-C., 2017, Microplastics shedding from polyester fabrics, ISBN: 978-91-88695-00-0, Mistra Future Fashion report number: 2017:1
- Schöpel, B., Stamminger, R., 2019, A Comprehensive Literature Study on Microfibres from Washing Machines, Tenside Surfactants Detergents, 56 (2), 94-104.
- Sillanpää, M., Sainio, P., 2017, Release Of Polyester And Cotton Fibers From Textiles In Machine Washings, Environmental Science and Pollution Research, 24 (23), 19313–19321.
- Tiseo, I., [2021, Jan 27]. Global Plastic Production 1950-2019 [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/#:~:text=In%202019%2C%20the%20global%20production,quarter%20of%20the%20global%20production>
- Yang, L., Qiao, F., Lei, K., Li, H., Kang, Y., Cui, S., An, L., 2019, Microfiber Release From Different Fabrics During Washing, Environmental Pollution, 249, 136-143.
- Zambrano, M.C., Pawlak, J.J., Daystar, J., Ankeny, M., Cheng, J. J., Venditti, R. A., 2019, Microfibers Generated From The Laundering Of Cotton, Rayon And Polyester Based Fabrics And Their Aquatic Biodegradation, Marine Pollution Bulletin, 142, 394-407.



TÜRK TEKSTİL VE HAZIR GİYİM İŞLETMELERİNDE DÖNGÜSEL EKONOMİYE GEÇİŞ-KISA BİR DEĞERLENDİRME

Şule ALTUN KURTOĞLU*

Artisan Teknik Danışmanlık, Bursa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Tekstil,
Döngüsel Ekonomi,
Sürdürülebilirlik,
Geri Dönüşüm.*

Öz

Döngüsel ekonomi bir süredir, diğer sektörlerde olduğu gibi tekstil sektöründe de önemli bir gündem haline gelmiştir. Özellikle Avrupa Birliği'nin ısrarla takip ettiği ve hızlı bir geçiş planı uyguladığı döngüsel ekonomi konusunda küresel ölçekli tekstil firmaları da önemli adımlar atmaya başlamıştır. Ancak bu konuda en önemli problemlerden biri döngüsel ekonomi kavramının doğru anlaşılabilmesidir. Bu çalışmada, sektörün bu alanda şimdiye kadar en önemli kılavuzu olan ve Ellen MacArthur Foundation tarafından 2017 yılında yayımlanan rapor temel alınarak ve bu raporda yer alan prensipler kullanılarak, Türkiye'de tekstil sektörünün döngüsel ekonomiye geçişte avantaj ve dezavantajları kısaca değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur. Özellikle dijitalleşme, hammadde üretme (örneğin yeni nesil liflerin üretilmesi), katma değeri yüksek geri dönüştürülmüş ürün üretme ve malzeme kullanım ömrünü uzatma konularında önemli eksiklikler göze çarpmaktadır. İç piyasaya yönelik üretim yapan firmalarda yasaklı/kısıtlı kimyasal kullanımından henüz çıkılmaması da söz konusu geçişte önemli bir engeldir. Tekstil sektörünün güçlü alt yapısı, nitelikli işgücü ve geri kazanım kapasitesi ise geçişi kolaylaştıracak üstünlükler olarak öne çıkmaktadır. Geçiş hızlandıracak temel itici güç ise ar-ge çalışmalarının ve tekstil üreticileri, geri kazanım firmaları ve araştırma kurumları arasındaki iş birliğinin artırılmasıdır.

TRANSITION TOWARD A CIRCULAR ECONOMY IN TURKISH TEXTILE AND CLOTHING COMPANIES- A BRIEF EVALUATION

Keywords

*Textile,
Circular Economy,
Sustainability,
Recycling.*

Abstract

Circular economy has become an important agenda in the textile industry, as in other industries, for some time. Global-scale textile companies have already taken important steps in this area, which is dominated by the European Union, which has implemented a rapid transition plan. However, one of the most important problems is that the concept of a circular economy has not been understood correctly. In this study, based on the report and principles published by Ellen MacArthur Foundation in 2017, which is the one of most important guides for the industry in this field, the advantages and disadvantages of the textile industry in Turkey in transition toward a circular economy were briefly evaluated. There are significant shortcomings in digitalization, raw material production (especially new generation fibres), high value added recycled material production, and increasing the utilisation of materials. For companies working for the domestic market using banned/restricted substances is also an important obstacle in this transition. The strong infrastructure, qualified workforce, and recycling capacity of the textile sector stand out as advantages that will facilitate the transition. However, increasing R&D and close cooperation between textile manufacturers, recycling companies and academia will be major driving forces that will speed up the transition considerably

Alıntı / Cite

Altun Kurtoğlu, Ş. (2022). Türk Tekstil Ve Hazır Giyim İşletmelerinde Döngüsel Ekonomiye Geçiş-Kısa Bir Değerlendirme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1107-1116.

* İlgili yazar / Corresponding author: slaltun54@gmail.com, +90-534-278 77 81

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ş. Altun Kurtuğlu, 0000-0002-2544-4711	Başvuru Tarihi / Submission Date	29.08.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date	04.12.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	28.12.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Sanayi devrimleri ile ilişkilendirilen lineer ekonominin doğal ekosistemlerin bütünlüğünü ve ekonomilerin istikrarını tehdit etmesi nedeniyle, günümüzde yeni bir ekonomik kavram-döngüsel ekonomi- tartışılmaya başlanmıştır (Andrews, 2015; Ghisellini vd., 2016). Al-yap-at tüketim modelini temel alan lineer ekonominin planlı eskitme (planned obsolescence) stratejisi, artan nüfus ve artan satın alma gücü tüm dünyada tüketimi ve bağlantılı olarak tüketim kaynaklı çevre problemlerini önemli ölçüde artırmıştır (Andrews, 2015). Tekstil bu artıştan en yüksek oranda etkilenen sektörlerdendir, 2018 yılında yapılan bir çalışmaya göre moda endüstrisi toplam sera gazı emisyonunun % 4'ünden sorumludur (McKinsey & GFA, 2020). Yenilenebilir/yenilenemeyen hammadde kullanımının ve su, kimyasal, enerji tüketiminin çok yüksek miktarlarda olması; çalışan hakları ile ilgili problemler, artan, su, toprak ve hava kirliliği, uzun zamandır tekstil endüstrisinin geleceğini tehdit etmektedir. Tekstil firmalarının bu üretim şekline devam etmesi durumunda 2030 yılına kadar faiz ve vergi öncesi kazançlarında (Earnings before interest and taxes-EBIT) % 3'den fazla düşüş yaşanması beklenmektedir. Bu düşüşe yol açan başlıca faktörler işçilik, su ve enerji maliyetleri olacaktır (Eder-Hansen vd., 2017).

Bilindiği gibi endüstri uzun yıllardır, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine uyum sağlamaya çalışmaktadır ancak, sürdürülebilirlik kavramının "muğlak" olması, hatta "teorik bir rüya" olarak tanımlanması bu kavramın ivme kaybetmesine yol açmıştır (Kirchherr vd., 2017). Bu şartlar altında döngüsel ekonomi konseptinin endüstrinin sürdürülebilirlik çabaları için önemli bir kılavuz olacağı; ekonomi, çevre ve toplum arasında daha iyi bir denge oluşturarak, daha sürdürülebilir bir yol sunacağı öngörülmektedir (Murray vd., 2015; Ghisellini vd., 2016; Kirchherr vd., 2017).

Bu çalışmada, tekstil sektöründe döngüsel ekonomiye geçişin en önemli kılavuzlarından olan ve Ellen MacArthur Foundation tarafından yayınlanan rapor (Ellen MacArthur Foundation, 2017) temel alınarak, bu raporda yer alan dört temel prensip üzerinden Türk tekstil sektörünün döngüsel ekonomiye geçiş süreci kısaca değerlendirilmiştir.

2. Döngüsel Ekonomi (DE) Nedir? (Definition of Circular Economy (CE))

İlgili literatür incelendiğinde döngüsel ekonomi konsepti ile ilgili farklı tanımlar bulunduğu görülmektedir. Kirchherr ve arkadaşları, literatürde yer alan 114 farklı DE tanımını incelemiştir (Kirchherr, vd., 2017). Farklı tanımlar kavramın yanlış anlaşılmasına ve yanlış uygulanmasına da yol açabilmektedir. Örneğin Türkiye ve dünyada genel olarak döngüsel ekonomi atık geri kazanımı ile yoğun olarak ilişkilendirilmekte ve bu durum döngüsel ekonominin diğer önemli ayaklarının göz ardı edilmesine yol açmaktadır (Ghisellini vd., 2016; Kirchherr vd., 2017).

Bu çalışmada, döngüsel ekonomi konusunda çok önemli çalışmaları olan ve 2012 yılında Davos'ta yayınladıkları raporla süreci önemli ölçüde etkileyen Ellen MacArthur Vakfının tanım ve kapsamı temel alınmıştır (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Bu tanıma göre, döngüsel ekonomi amacı ve tasarımı gereği, onarıcı/yenileyici bir endüstriyel sistemi ifade eder. Üç temel prensip üzerinde temellenmiştir; atığı ve kirliliği önlemek, ürün ve malzemeleri uzun süre ekonomide tutmak (kaynak verimliliği) ve doğal sistemleri iyileştirmek/onarmak (Ellen MacArthur Foundation, 2013) (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

Tekstil sektörünün döngüsel ekonomiye geçiş sürecini planlamak için, yukarıda tanımlanan üç prensip tekstile uygulanmıştır, bu durumda tekstilde döngüsel ekonomi konsepti;

1. Yasaklı/kısıtlı kimyasalları kullanmamayı, mikroplastik salınımını azaltmayı,
2. Ürünlerin kullanım ömrünü uzatmayı,
3. Geri kazanımı önemli miktarda artırmayı,
4. Kaynakları verimli kullanmayı ve yenilenebilir kaynaklara yönelmeyi odağına koymaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Bir sonraki bölümde bu dört prensibin Türk tekstil endüstrisinde uygulanabilirliği tartışılmıştır. Her bir prensip için Türk tekstil endüstrisi açısından avantaj, dezavantaj ve çözüm önerilerine yer verilmiştir.

3. Tekstil Endüstrisinde Döngüsel Ekonomiye Geçişin Temel Prensipleri (Main Principles of Transition Toward a Circular Economy in The Textile Industry)

3.1 Yasaklı/Kısıtlı Kimyasalların Kullanılmaması ve Mikroplastik Salınımının Engellenmesi (Phase out Substances of Concern and Microfibre Release)

Tekstil kimyasalları/Kirleticiler

Tekstil işlemlerinde, özellikle yaş proseslerde önemli miktarda kimyasal madde kullanılmaktadır. Sonuç olarak tekstil atık sularında da halojenlenmiş organik bileşikler (AOX), alkilfenol etoksilatlar (APEOs), hidrokarbonlar, pestisitler, boyarmaddeler, tuzlar, asitler, alkaliler, metaller, nano-malzemeler gibi çok sayıda kimyasal madde bulunmaktadır (Altun Kurtoğlu, 2021). Kullanılan bu kimyasal maddelerin bir bölümünün karsinojen, mutajen ve üreme sistemine toksik etkisi olan maddeler olduğu (Swedish Chemical Agency, 2013) literatürde yer almaktadır. Tekstil kimyasalları, tekstil atıklarının geri kazanılmasında da önemli riskler oluşturmaktadır (Norin vd., 2020).

Yüksek oranda kimyasal kullanımının yol açtığı sorunları azaltabilmek amacı ile küresel ölçekli tekstil firmaları özellikle 2011 yılında Greenpeace tarafından yayınlanan "Dirty Laundry" raporu ile tetiklenen bir süreç ile tehlikeli kimyasal kullanımına yönelik ciddi kısıtlamalar getirmeye başlamıştır (Greenpeace, 2011). 2014 yılında ilk listesi yayınlanan ve şu anda küresel firmaları da barındıran 160'dan fazla katılımcısı olan Tehlikeli Kimyasalların Sıfır Deşarjı (Zero Discharge of Hazardous Chemicals-ZDHC) programı bu konuda önemli bir kilometre taşı olmuştur (ZDHC Foundation, 2021). Öko-tekstil sertifikaları, AB eko-etiketi, farklı ülkelerin ve bölgelerin ekolojik etiketleri (Nordic Swan, bluesign, vb), firmaların özel kriterleri (Nike, Adidas vb.) gibi çok sayıda tekstil eko-etiketi (Ecolabel Index, 2021) ve sertifikası da bu sürece önemli katkı sağlamıştır. Ancak tüm bu çalışmalara rağmen halen küresel ölçekte hedeflere ulaşılamamıştır (Greenpeace Germany, 2021).

Tekstil fabrika süreci haricinde, tekstil liflerinin üretimi sırasında da, özellikle pamuk üretiminde, tarla aşamasında yüksek oranda kimyasal madde kullanılmaktadır, kullanılan kimyasallar vahşi hayata zarar verme, su kaynaklarını kirletme ve biyo-çeşitliliği azaltma gibi çok sayıda olumsuz etkiye yol açmaktadır (Soth vd.,1999).

Mikroplastikler

Mikroplastikler, son yıllarda tekstilin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerine yönelik en önemli endişe kaynaklarından biri haline gelmiştir. Bilindiği gibi mikroplastiklerin başlıca kaynakları arasında sentetik esaslı ürünlerin çamaşır makinalarında yıkanması sırasında/öncesinde kopan liflerin çamaşır makinaları vasıtasıyla alıcı ortamlara ulaşması bulunmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada, bir giysinin çamaşır makinasında her yıkanmasında 1900'dan fazla lifin döküldüğü gözlenmiştir (Browne, ve diğerleri, 2011), bir başka çalışmada ise farklı tekstil ürünlerinin bir yıkamasında 7360 lif/m²/L⁻¹ - 87 lif/m²/L⁻¹ arasında lif döküldüğü bulunmuştur (Almroth vd., 2018). Ayrıca, tekstil üretim işlemleri sırasında da mikroplastikler atık sulara karışmaktadır (Almroth vd., 2018).

Mikroplastikler su, toprak, hava gibi farklı ortamlarda bulunabilmektedir. Greenpeace tarafından Türkiye'deki denizlerde mikroplastik kirliliğine yönelik olarak yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye'de balıkların % 44,3'ünde ve midye dolmaların % 91,2'sinde mikroplastığe rastlanılmıştır. Mikroplastikler, formlarına göre incelendiğinde % 50,6 lif; % 49,6 oranında parçacık; polimer türlerine göre incelendiğinde ise, başlıca % 26 polipropilen (PP) ve % 21,9 polietilen (PE) içerdiği görülmüştür (Gündoğdu ve Çevik 2019; Gündoğdu, vd.2020). Türkiye'de Mersin ve İskenderun Körfezi'nde yapılan bir başka çalışmada ise, mikroplastiklerin % 70'inin lif yapısında olduğu görülmüştür (Güven vd., 2017).

Avantajlar:

Türkiye'de tekstil ihracatı yapan ve/veya küresel firmaların tedarik ağında bulunan firmalar, özellikle ZDHC kapsamında yasaklı/kısıtlı kimyasalların kullanımını önemli ölçüde azaltmışlardır. Ayrıca firmalardan talep edilen eko-etiketler ve sertifikaların da kısıtlı/yasaklı kimyasal kullanımının önemli ölçüde terk edilmesinde dikkate değer bir etkisi olmuştur.

Dezavantajlar:

Kimyasallar

İç piyasaya yönelik üretimlerde özellikle Çevre Bakanlığının atık su kriterleri ve Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği dikkate alınmaktadır. Bu kriterler tehlikeli kimyasal kullanımını yeterli ölçüde sınırlandırmamaktadır.

İhracat yapan firmalar genellikle kullandıkları kimyasal gelen talepler doğrultusunda değiştirmekte, kalıcı bir kimyasal madde yönetim sistemi kullanmamaktadır.

Çevre dostu kimyasallar firmalar tarafından yeterince tanınmamakta ve ikame ürün kullanımı performans problemlerine yol açabilmektedir.

Mikroplastikler

Mikroplastiklerle ilgili akademik çalışmalar Türkiye’de henüz çok sınırlı sayıdadır. Ulakbim Tr Dizin, Aperta ve Dergi Park’ta tekstil ve mikroplastikler başlığı altında 11 makale bulunmuştur (Kasım 2021 itibarı ile) (Tübitak Ulakbim, 2021)

Küresel firmalardan talep gelmediği ve mikroplastiklerle ilgili kısıtlamalar küresel ölçekte henüz uygulanmadığı için firmalar mikroplastik konusuna yeterince önem vermemektedir. Örneğin Temmuz 2021 yılı itibarı ile TEYDEB projelerinde tekstil kaynaklı mikroplastiklerle ilgili herhangi bir projeye rastlanmamıştır (TÜBİTAK, Ulakbim, 2021).

Öneriler:

İhracat yapan firmaların, gelen taleplere göre kimyasal seçimi yapmak yerine, tüm etiket ve sertifikalarda büyük ölçüde ortak olan tehlikeli kimyasallar üzerinden bir kimyasal yönetim sistemi kurmaları gerekmektedir. Bu konuda çeşitli bilgisayar programlarından faydalanılabileceği gibi, firmalar kendileri de basit programlar geliştirerek kullandıkları kimyasalların yasaklı/kısıtlı olma durumlarını kontrol edebilir ve ürünü üretmeden risk durumunu görebilirler (Search the SINimilarity tool, 2021) (ZDHC Foundation, 2013) (Cahn ve Clifford, 2014).

İç piyasaya yönelik firmalar için Çevre Bakanlığı’nın yeni uygulaması olan tekstil ürünleri çevre etiketinin yaygınlaştırılması Türk tekstil sektörünün döngüsellğine önemli bir katkı sağlayacaktır. 2018 yılında yayımlanan yönetmelikle uygulanmaya başlayan Türkiye Çevre Etiketleri Sistemi’nde kriterleri belirlenen ilk üç sektörden biri tekstildir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Ayrıca, bu etiketin tekstil kriterlerinin AB eko-etiketi ile ortak olması nedeni ile bu etiketi almak, ihracat yapan firmalar için benzeri etiketleri almakta kolaylık sağlayacaktır. Nisan 2021 tarihinde Devlet Malzeme Ofisi ile çevre etiketine sahip ürünlerin teşvik edilmesine yönelik imzalanan protokol, bu tür ürünlerin kullanımının yaygınlaştırılmasında önemli bir adımdır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

Mikroplastik kirliliğinin önemli bir bölümü ev tipi çamaşır makinalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ev tipi makinalarda mikrolif kopmalarını azaltmaya yönelik Ar-Ge çalışmaları çözüme önemli katkı sağlayacaktır. Bu çalışmalar ürünün tasarımı aşamasından başlamalıdır. Lif türü, büküm miktarı ve tipi, yüzey oluşturma tekniği, sıklık gibi pek çok üretim faktörüne bağlı olarak dökülen lif miktarı değişmektedir (Almroth vd., 2018). Ayrıca, atık arıtma çamurlarında da önemli miktarda mikroplastığe rastlanması nedeni ile sanayi bölgelerinde ve fabrikaların kendi atık su arıtma sistemlerinde mikroplastikleri yakalayabilecek filtreleme sistemlerinin kullanılması kirliliğin azaltılmasına önemli katkı sağlayacaktır (Almroth vd., 2018). Mikroplastik kirliliğini önlemeye yönelik olarak tekstil üreticilerine kimyasal madde kısıtlamalarına benzer kısıtlamaların gelme ihtimali olduğu da göz ardı edilmemelidir (Microplastics, 2021)

3.2. Ürünlerin Kullanım Ömrünü Uzatma/Verimli Kullanma (Increase Clothing Utilisation)

Bilindiği gibi döngüsel ekonominin en önemli ayaklarından biri malzemelerin, uzun süre ekonomik sistem içerisinde kalmasıdır. Bu kapsamda tekstil ürünlerinin kullanım ömrünün artırılmasına yönelik olarak da çeşitli çalışmalar yapılmaktadır

Ürünlerin kullanım ömrünü artıran en önemli yöntemlerden biri, yeniden kullanım/ikinci el tekstil ürünü kullanımıdır. Bu alanda yaygın olan ise ikinci el giysi kullanımıdır. Tekstil ürünlerinin yeniden kullanımı, çevresel etkileri düşürmede de en etkili yöntemdir. Örneğin, yapılan bir çalışmaya göre bir ton polyester giysinin yeniden kullanımı için gerekli enerji, orijinal polyester giysi üretiminde kullanılan enerjinin yalnızca % 1,8’dir, pamuk için bu rakam % 2,6’dır (Woolridge vd., 2006).

2000 yılında İngiltere’de yapılan bir ankette katılımcıların % 40’ı ikinci el mağazalardan alışveriş yaptıklarını belirtmişlerdir. Bu pazar dünyada son 20 yılda hızlı bir büyüme göstermektedir (Guiot ve Roux, 2010). Pandemi sürecinin ekonomik sonuçlarının da ikinci el ürün satışlarını artıracığı ve 2029 yılında ikinci el satışlarının fast-fashion’ı aşacağı şeklinde de tahminler yapılmaktadır (thredUP, 2021). Ancak, Türkiye’de ikinci el ürün pazarı

Avrupa ve Amerika'ya kıyasla oldukça küçüktür. Türkiye'de ikinci el giysi alışverişinde en fazla tercih edilen yöntem ise internet siteleridir (Çakır ve Dedeoğlu, 2020).

Tekstil materyallerinin kullanımda kalma süresini artırabilmek amacıyla farklı yenilikçi çözümler de önerilmektedir. Örneğin müşterilerin aylık ücret ödeyerek belirli sayıda ürünü ödünç aldığı sistemler ve kısa süreli kiralama servisleri dünyada olduğu gibi Türkiye'de de girişimciler için önemli fırsatlar sunmaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Ürünün kullanımda kalmasını artırmanın bir diğer yolu da dayanıklı ürün üretmektir. Özellikle zamansız kıyafetler, her gardropta olması gereken parçalar gibi ürünlerde dayanıklılık ve kalite ön plandadır. Mevcut giysi firmalarının bu ürünlere yönelik uzun süreli garanti vermesi ve/veya tamir hizmeti sunması da son dönemlerde ön plana çıkmağa başlayan uygulamalardandır (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Avrupa Birliği'nin Mart 2020'de yayımladığı yeni dögüsel ekonomi eylem planında da bu konu ile bağlantılı olarak, uzatılmış/genişletilmiş üretici sorumluluğu gibi bir dizi öneri yer almaktadır (European Commission, 2020).

Avantajlar:

Türkiye'de son yıllarda kişilerin kendi kıyafetlerini satabildiği internet siteleri açılmıştır, ikinci el kıyafet satan mağaza ve internet siteleri de artmaktadır.

Türkiye'de önemli bir tekstil geri kazanım sektörü bulunmaktadır.

Dezavantajlar:

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de fast fashion ürün kullanımı yaygınlaşmaktadır. Tekstil tüketiminin son yıllarda hızla artmasının en önemli nedenlerinden biri fast-fashion ürünlerdir. Fast fashion ürünler kısa üretim ve dağıtım süreleri olan, haftalık olarak değişen koleksiyonlarda kullanılan, düşük fiyatlı, düşük kaliteli ve *kısa kullanım ömürlü* ürünlerdir (Tokatlı, 2008; Annamma vd., 2012). Bu ürünler aynı zamanda tüm dünyada artan, örneğin AB'de yılda 5,8 milyon tona varan, kullanılmış tekstil atığı probleminin de en önemli sebebidir (ETC/WMGGE, 2019).

Türkiye ikinci el giysi pazarı, Avrupa ve ABD'ye göre daha küçüktür. Ayrıca Türkiye'de ikinci el giysi alımında, sürdürülebilirlik ile ilgili kaygıların satın almaları birinci derecede etkilemediği görülmüştür (Deniz, 2020; İşçiöglü ve Yurdakul, 2018). İkinci el giysi satan sitelerde de yetersiz pazar denetimi ve düzenlemesi nedeniyle tüketiciler yüksek riskler algılayabilmektedir (Arsel, 2010; Çakır ve Dedeoğlu, 2020)

Malzemelerin uzun süre kullanımda kalması, henüz firmalar için yeni ve üzerinde çalışılmayan bir konudur.

Öneriler:

İkinci el giysi kullanımı: İkinci el giysi satan sitelere yönelik olarak alıcı ve satıcıları koruyan önlemlerin alınması, ikinci el giysi satan pazar ve mağazaların belediyeler ve ilgili sivil toplum kuruluşlarının işbirliği ile daha güvenli hale getirilmesi ikinci el giysi satın alma miktarını artırabilir (İşçiöglü ve Yurdakul, 2018).

Tekstil ürünlerinin tamiri: Dünyada firmalar kullanılmış giysileri için tamir hizmeti vermeye başlamıştır, örneğin Houdini dijital bir tamir servisi kurmuştur (Houdini Repair, 2021). Türkiye'de de geniş perakende ağı olan firmalar için bu seçenek düşünülebilir. Ancak sadece tamir işlemi yapan firmalar için de önemli imkânlar söz konusu olabilecektir, sanal ortamda tamir siteleri kurmak girişimciler için önemli bir alan olabilir.

Üyelik ile ürün satın alınması/kiralanması: Dünyada Kleideri firması bu alanda iyi bir örnektir (2021). Türkiye'de ise özellikle abiye kıyafetler için bu tür örnekler vardır. Diğer kıyafetleri de içerecek şekilde sistemin genişletilmesi özellikle, genç kuşakta karşılık bulabilir (McKinsey & Company ve BoF, 2021).

Dayanıklı/zamansız ürünlerin üretilmesi: Mevcut firmalar, koleksiyonlarının bir bölümünü bu ürünlere ayırabilir. Sadece bu tür ürünlere yönelik yeni firmaların kurulması ya da markaların, koleksiyonların oluşturulması da düşünülmelidir.

İhracat yapan firmalar, AB'de tekstil ürünleri için düşünülen, uzatılmış/genişletilmiş üretici sorumluluğuna yönelik olarak kendilerine gelebilecek yükümlülüklerle karşı (MWE, 2021), hazırlıklı olmalıdır. Ayrıca Türkiye'de mevcut tekstil geri kazanım altyapısının avantajlarından da faydalanılabilir.

3.3. Geri Kazanımın İyileştirilmesi (Radically Improve Recycling)

Tekstil atıklarının geri dönüştürülmesi işlemi, neredeyse tekstil üretimi kadar eski olmasına rağmen, yıllar içerisinde teknolojik ve kullanım alanı açısından önemli ilerlemeler gösterememiştir. Sentetik, doğal ve rejenere esaslı tüm liflere uygulanabilen mekanik geri kazanım yöntemi, halen en yaygın metottur. Bu metotta atıklar sınıflandırılmakta, kesilmekte, açma makinalarında tülbent formuna getirilmekte ve elde edilen tülbent iplik üretiminde veya çeşitli dokusuz yüzey uygulamalarında kullanılmaktadır (Gulich, 2006).

Mekanik geri kazanım işlemi ile elde edilen ürünler, özellikle maliyeti düşürmek amacı ile Türkiye’de uzun yıllardır döşemelikten, battaniye üretimine, çoraptan keçeye kadar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Altun, 2012). Mekanik yöntemle elde edilen elyafın lif boyunun kısa olduğu, dolayısıyla elde edilen ipliklerin kopma mukavemetlerinin düşük ve tüylenme özelliklerinin yüksek olduğu bilinmektedir (Bartl, 2011). Döngüsel ekonominin en önemli ayaklarından biri tekstil atıklarının yeniden tekstil ürünlerinin üretiminde, özellikle giysi üretiminde kullanılmasıdır, bu oran küresel ölçekte % 1’in altındadır (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Bu oranın artırılması ve elde edilen lif, iplik ve tekstil yüzeylerinin özelliklerinin iyileştirilebilmesi için iyi kurgulanmış ar-ge çalışmaları hayati önem taşımaktadır.

Tekstil atıklarının geri kazanımında bir diğer önemli yöntem termoplastik özellikteki atıkların eritilerek geri kazanılmasıdır. Bu metot özellikle polietilen tereftalat (PET) atıklarının geri kazanımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Global olarak, tekstilde kullanılan malzemelerin yaklaşık % 3’ü geri dönüştürülmüş malzemelerdir (Ellen MacArthur Foundation, 2017) ve bu malzemelerin de büyük bir kısmı geri dönüştürülmüş polyesterdir (Textile Exchange, 2021). Geri dönüştürülmüş PET pazarı dünyada son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir, 2008 yılında % 7 olan pazar payı 2017 yılında % 14’e çıkmıştır (Şajn, 2019). Türkiye’de ise 2014 yılı rakamlarına göre PET şişelerden 132.000 ton elyaf üretilmiştir (Güneş, 2014).

Kimyasal geri dönüşüm yöntemlerinden glikoliz, PET lifi üreticileri tarafından PET üretim atıklarının geri kazanımında uzun yıllardır kullanılıyor olsa da, kimyasal yöntemler istenilen başarıyı gösterememiş ve ticarileşme oranları çok sınırlı kalmıştır.

Son yıllarda özellikle kullanılmış tekstil atıklarının renk ve hammaddelerine göre otomatik olarak sınıflandırılması konusunda yoğun çalışmalar vardır. Diğer önemli konu ise tekstil atıklarının önemli bir bölümünü oluşturan polyester ve selüloz esaslı liflerden yapılan ürünlerin kimyasal yöntemlerle ayrıştırılarak, bu iki hammaddenin yeniden lif üretiminde kullanılmasıdır. Bu teknolojilerin önemli bir kısmı deneysel aşamada olsa da ticarileşmeye başlayan yeni teknolojiler de bulunmaktadır (mistrafuturefashion, 2017; SIPTex , 2018; Lacy vd. 2020; nweurope, 2020).

Avantajlar:

Türkiye, mekanik geri dönüşüm alanında önemli bir pratik tecrübeye ve kapasiteye sahiptir. Türkiye’de mekanik yöntemle yılda yaklaşık olarak 300.000 ton tekstil atığı açılmaktadır (Güneş, 2014) Uşak ili üretim miktarları açısından, şifanöz açmada % 80, garnet açmada % 70, PET şişe geri kazanımında % 34 ve OE iplik üretiminde % 75 ile tekstil geri kazanımında önemli bir kümelenme örneğidir (Güneş, 2014). Uşak ili dışında, İstanbul, Gaziantep, Düzce, Kahramanmaraş gibi illerde de tekstil geri dönüşüm işletmeleri bulunmaktadır.

Coğrafi konum açısından Avrupa’ya yakınlığı, özellikle kullanılmış tekstil atıklarının ikincil hammadde olarak kullanılması açısından Türkiye geri dönüşüm sektörüne önemli bir üstünlük sağlayabilir. Özellikle uzatılmış/genişletilmiş üretici sorumluluğu kapsamında “yalnızca geri alım garantili” kullanılmış tekstil atıkları Türkiye’de ikincil hammaddeye dönüştürülerek önemli bir ihracat ve istihdam alanı oluşturulabilir.

Dezavantajlar:

Uşak özelinde konuya bakıldığında, tekstil geri dönüşüm sektöründe Ar-Ge kapasitesinin ve mühendis istihdam etme oranlarının düşük olduğu görülmektedir (Zafer Kalkınma Ajansı, 2019). Bu geri kazanım sektöründe Ar-ge çalışmalarını ve ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Öneriler:

Geri dönüşüm firmalarının ar-ge kapasitesi ve mühendis istihdam etme konularında en kısa sürede iyileştirilmeleri, döngüsel ekonominin oluşturacağı fırsatları yakalama açısından elzemdir. Özellikle Kosgeb proje desteklerinde bu alanların ön plana çıkarılması ve özel çağrılar açılması Ar-Ge çalışmalarını artıracaktır.

İşbirliği, döngüsel ekonominin en önemli araçlarından biridir. Tekstil üreticisi firmalar ile geri dönüşüm firmalarının ortak çalışmaları da bu sürece katkı sağlayacaktır.

Türkiye’de son 15 yılda geri dönüştürülmüş PET şişe üreten firmalardan bir bölümünün kapanması ve geri dönüştürülen ipliklerin kalitesi ile ilgili yaşanan problemler geri dönüştürülmüş PET iplik pazarında Türkiye açısından tehdit olarak değerlendirilebilir. Özellikle ihracat yapan tekstil firmaları kalite problemleri nedeni ile geri dönüştürülmüş PET ipliğini önemli ölçüde ithal etmektedirler. Yerli üreticilerin, gelişen pazar şartlarını dikkate alarak, üst giysilik kumaşlara yönelik beklenen kalitelere hitap edecek ürünlere yönelmeleri, firma ve ülke açısından katma değeri artıracaktır. Bu açıdan geri dönüşüm firmalarının, üniversite ve araştırma kurumları ile işbirliklerini artırmaları önemlidir.

Türkiye’de akademik çalışmaların ise kimyasal geri kazanım konularında yoğunlaşması gerektiği söylenebilir.

3.4. Kaynakların Verimli Kullanılması Ve Yenilenebilir Kaynaklara Yönelme (Make Effective Use of Resources and Move to Renewable Inputs)

Bu konu geri dönüştürülmüş hammadde kullanma (Bölüm 3.3) ve malzemelerin mümkün olduğunca uzun süre kullanımda kalması (Bölüm 3.2) konularıyla da yakından ilgilidir. Döngüsel ekonomi prensiplerine göre, orijinal (virgin) hammadde kullanımı gerektiğinde bu hammaddeler yenilenebilir kaynaklardan elde edilmelidir. Bu amaçla, petrol esaslı hammaddelerin yenilenebilir kaynaklardan üretilen eşdeğerleri ile değiştirilmesi konusunda uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Polyester lifleri bu alanda önemli bir örnektir, 1,3 propandiol’ün bitkilerden elde edildiği politrimetilen teraftalat lifi Sorona ve % 100 bitkisel kaynaklardan üretilen polilaktik asit (PLA) lifi ticari olarak görece uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu tür liflerin kullanımı, döngüsel ekonomi yaklaşımında da teşvik edilmektedir. Biyobazlı Evo® lifi, atık portakallardan üretilen portakal lifi, atık sütlerden üretilen Qmilk lifi gibi çevre dostu yeni lifler de bu kapsamda ticari olarak kullanım alanı bulmağa başlamışlardır (Bio-based fiber-Evo®, 2021) (Stenton vd.2021).

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hammaddelerin kullanılmasının yanısıra, üretim sırasında oluşan atıkların ve su, enerji ve kimyasal maddelerin azaltılması da yenilenemeyen/yenilenebilir kaynak kullanımına katkı sağlayacaktır. 2015 uluslararası tekstil makinaları fuarında (ITMA) “Sürdürülebilir İnovasyonun” ana tema olarak seçilmesi, 2019 ITMA’da yeşil ürünlerin ön plana çıkarılması, sektörün konuya verdiği önemi göstermesi açısından önemlidir (Hauser, 2016; Wilson, 2019). Özellikle düşük miktarlarda su ve enerji kullanan yaş işlem makinaları, çevre dostu kimyasallar, düşük enerji tüketimine sahip iplik, dokuma, örme ve dokusuz yüzey makinaları tekstilin toplam çevresel etkisini azaltma açısından önemli görevler üstlenmektedir. Gözden kaçırılan bir konuyu da hatırlatmakta yarar var, her ne kadar atık geri kazanımına odaklanılmış olsa da, atık hiyerarşisinde ilk adım atığı önlemedir. Özellikle yüksek tekstil atığı oluşan doğal iplik üretim hatları ve konfeksiyon kesim işleminde (Altun, 2012) atık azaltılmasına yönelik olarak yapılacak iyileştirmeler, tekstilde kısıtlı hammadde kaynaklarının yönetimine kayda değer bir katkı sağlayacaktır.

Dijitalleşme

Dijital teknolojiler döngüsel ekonomiye geçişin önemli araçlarından biri sayılmaktadır (European Commission, 2020). Bir ürünün gerçek çevresel etkisinin hesaplanabilmesi ve bu etkinin azaltılması ancak şeffaf ve izlenebilir bir tedarik zinciri ile mümkün olmaktadır. Bilindiği gibi tekstil sektörü, küresel bir tedarik zincirine sahiptir ve ağdaki tüm paydaş ve ürünleri kontrol etmek ise önemli bir sorundur. Son yıllarda özellikle blockchain teknolojisini kullanarak ürünün hammaddeden başlayarak tüm aşamalarda takibi mümkün olmaktadır (Kumar, Hallqvist, & Ekwil, 2017). Takip edilebilirliğe ilave olarak, sanal ürün kataloglarının oluşturulması, sanal defileler, atık toplama sitelerinin gerçek zamanlı izlenmesi, makine performanslarının uzaktan takibi gibi pek çok alanda da dijital teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır ve yakın gelecekte de daha yoğun olarak kullanımın devam etmesi beklenmektedir (Hedberg vd., 2019).

Avantajlar:

Tekstil sektörünün yenilikleri yakından takip etmesi, güçlü alt yapısı ve nitelikli iş gücü sürece hızlı adapte olmasını sağlamaktadır.

Dezavantajlar:

Türkiye çok sınırlı sayıda lif çeşidi üretmektedir, pamuk, polyester, akrilik ve polipropilen üretimi dışında, önemli bir lif üretimi yapılmamaktadır. Petrol türevi olan liflerde de hammaddelerde dışa bağımlılık vardır. Rejenere selüloz liflerinin üretiminde gecikme, Türkiye’nin bu alanda inovasyon çalışmalarından da uzak kalmasına yol

açmıştır. Oysa örneğin atık malzemelerden kimyasal yöntemlerle selüloz esaslı lif üretimi son yılların en gelecek vaat eden konularından biridir.

Türk kimya sektörünün yurtdışı bağımlılığı, tekstil lifleri üretimini olduğu gibi tekstil sektörü kimyasallarının geliştirilmesini de olumsuz etkilemektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Dijitalleşme

Türkiye’de yapılan bir çalışma dijital dönüşüm yetkinlik düzeyinin büyük ölçekli şirketlerde %50, küçük ölçekli şirketlerde ise %33 olduğunu göstermiştir (BSTB, 2018). Türkiye’deki işletmelerin 2016 yılı verilerine göre % 99,22’sinin KOBİ kapsamına girdiği de göz önüne alınmalıdır (Bayülken, 2017). Tekstil işletmelerine yönelik olarak Tekstil Mühendisleri Odası’nca 2018 yılında yapılan Tekstil Endüstrisinde 4.0 Çalıştay’ına göre, tekstil endüstrisinin Endüstri 4.0 farkındalığı düşüktür (Tekstil Mühendisleri Odası, 2018).

Öneriler:

Tekstil sektöründe yatırımların lif ve hammadde üretimine kayması, Türkiye’nin tekstil üretiminde yüksek katma değerli ürünler üretmesi açısından son derece önemlidir.(Bu alanda tekstil sektörü, ithal ikamesi anlamında desteklenen kimya sektörü ile doğrudan irtibatlıdır ve tekstil sektörünün gelişmesi, önemli ölçüde kimya sektörünün gelişmesine bağlıdır.

Dijitalleşme esaslı yeni imalat teknolojisi diye adlandırabileceğimiz Sanayi 4.0 iyi yetişmiş yazılım ve yapay zekâ uzmanları, büyük veri çözümleyicileri, benzetimciler, robot, algılayıcı ve akıllı tezgâh/makina uzmanları, bulut teknolojisi, nesnelerin interneti, bilgisayar ağ sistemleri, ürün geliştirme uzmanları, yenilikçi ürün geliştirmeciler, veri ve bilgisayar ağları güvenlik uzmanları, fikrî mülkiyet hakları uzmanları vb personel gerektirecektir. Yetişmiş insan gücünün yanı sıra teknolojik altyapı, yönetim, ARGE, yenilikçilik ve malî ve teknik gereksinimler de işletmelerin en çok gerek duyduğu alanlardır (BSTB, 2018). Bu bilgiler ışığında, tekstil sektörünün dijitalleşmeyi kendi başına yakalamasının güçlükleri kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Bir üst örgütlenmenin konuyu sahiplenmesi elzem görünmektedir.

4. Sonuç (Result)

Bu çalışmada, Türk Tekstil Sektörünün döngüsel ekonomiye geçiş süreci dört temel prensip üzerinden, kısaca değerlendirilmiştir. Bu geçişte avantaj ve dezavantajlar belirtilerek öneriler sunulmuştur.

Tekstil sektörünün son on yılına bakıldığında, sürdürülebilirlik kavramının, tekstil firmalarının kısa ve uzun vadeli stratejik planlarının temel elemanlarından biri haline geldiği görülmektedir. Döngüsel ekonomi dağınık ve bazen de karmaşık olan sürdürülebilirlik hedeflerine bütüncül bir bakış açısı ile yaklaşan bir kılavuzdur. Tekstilde yalnızca tehlikeli kimyasallardan çıkışa odaklanan stratejiler bir başlangıç olmakla birlikte kaynak verimliliği gibi diğer önemli konuların gözardı edilmesine neden olarak, ciddi bir zaman kaybına yol açmıştır. Günümüzde döngüsel ekonomi ile bütüncül bir yaklaşıma geçiliyor ise de, henüz firmalar dünya ölçeğinde de bu konsepti doğru kavrayamamıştır.

Genel Öneriler

Türkiye’de tekstil firmaları tehlikeli kimyasallardan çıkış yolunda önemli bir yol kat etmiş olsalar da bütüncül yaklaşım eksikliği Türk tekstil firmalarında da gözlenmektedir. Önemli bir küresel tedarikçi olan Türkiye’deki firmaların büyük bir bölümü, yalnızca tedarikçi talepleri doğrultusunda hareket etmektedir. Sürdürülebilirlik henüz stratejik planlarda yer almadığı ve bu alanda bir yönetim sistemi de kurulmadığı için, her talebe yönelik yeni bir çalışma yapılmaktadır. Ciddi zaman ve efor kaybına yol açan bu durumu önleyebilmek için, firmalarda sürdürülebilirlik departmanları kurulmalı, firma üst yönetimi ile birlikte çalışılmalı ve genel bir plan uygulanmalıdır. Doğru bir sürdürülebilirlik planı yapıldığında, her talep için yeni bir çalışma yapmaya gerek kalmadan, uzun vadeli, talepleri önceden öngörebilen, ekonomik avantaj sağlayan bir yapı kurulabilir.

Türkiye’nin mutlaka güçlü tekstil geri dönüşüm altyapısından faydalanması ve bu altyapıyı geliştirmesi gerekmektedir. Geri dönüşüm sektörü katma değeri yüksek ürünlere yönelmelidir. Sektörün mevcut durumunu koruması ve yeni fırsatlardan yararlanabilmesi için devlet desteği ve yönlendirmesi elzemdir.

Firmaların dijital alt yapılarını gecikmeden kurmaları yalnızca döngüsel ekonomiye geçiş açısından değil, Türk tekstil sektörünün varlığını sürdürebilmesi açısından da son derece önemlidir.

Bu çalışma bir giriş çalışmasıdır, konunun sektöre ait kurumlar tarafından, bir konsensüs içerisinde çok daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesi ve acil bir yol haritası oluşturması kolaylaştırıcı olacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Almroth, B., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., Persson, N.K., 2018. Quantifying Shedding Of Synthetic Fibers from Textiles; A Source of Microplastics Released into The Environment. *Environ Sci Pollut Res*, 25(Ekim), 1191-1199.
- Altun Kurtoğlu, Ş., 2021. Case Study:Textiles. Aiduan Borrior, Mairi J. Black and Onesmus Mwabonje (Edt.) *Life Cycle Assessment: A Metric for the Circular Economy*, içinde (s. 178-211). The Royal Society of Chemistry. Cambridge.
- Altun, Ş., 2012. Prediction of Textile Waste Profile and Recycling Opportunities in Turkey. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 94(5), 16-20.
- Andrews, D., 2015. The Circular Economy, Design, Thinking and Education for Sustainability. *Local Economy*, 30(3), 305-315.
- Annamma, J., Sherry Jr., J. F., Venkatesh, A., Wang, J., Chan, R., 2012. Fast Fashion, Sustainability, and the Ethical Appeal of Luxury Brands. *Fashion Theory*, 16(3), 273.
- Arsel, Z., 2010. Other People's Things: Perspectives on Ownership Transfer and Sharing. *NAAdvances in Consumer Research*. M., Campbell, J. Inman, & R. P. Duluth içinde, *Association for Consumer Research Volume 37* (s. 135-138).
- Bartl, A., 2011. Textile Waste. T. Letcher, & D. Vallero (Edt.), *Waste: A Handle for Management*, içinde (s. 167-179). Academic Press.
- Bayülken, Y., 2017. Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi İşletmeleri Kobi'ler. Ankara: TMMOB Makina Müh. Odası.
- Bio-based fiber-Evo®. 2021. 07 12, 2021 tarihinde <https://www.fulgar.com/eng/insights/bio-based-fiber-evo> adresinden alındı.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galoway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide:Sources and Sinks. *Environ. Sci. Technol.*, 45(21), 9175-9179.
- BSTB, 2018. Türkiye'nin Sanayi Devrimi Türkiye Dijital Yol Haritası. Ankara.
- Cahn, D., Clifford, R., 2014. Best Practices in Best Practices in Textile Manufacturing. Inter-American Development Bank.
- Çakır, İ., Dedeoğlu, A.Ö., 2020. İkinci El Giyim Sitelerinde Algılanan Risklerin Satın Alma Niyeti Üzerine Etkisi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*(27), 55-72.
- Deniz, E., 2020. Çevrimiçi İkinci-el Giyim Eşyası Satın Almaya Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 1487-1519.
- Ecolabel Index., 2021. All ecolabels on textiles. 05 30, 2021 tarihinde <http://www.ecolabelindex.com/ecolabels/?st=category,textiles> adresinden alındı.
- Eder-Hansen, J., Chalmer, C., Tarneberg, S., Tochtermann, T., Seara, J., Boger, S., Jager, K., 2017. Pulse of the fashion industry. *Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group*, Copenhagen.
- Ellen MacArthur Foundation., 2013. Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. 07 06, 2021 tarihinde <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> adresinden alındı.
- Ellen MacArthur Foundation., 2017. 12 26, 2018 tarihinde <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications> adresinden alındı.
- Ellen MacArthur Foundation., 2017. What is a circular economy. 07 07, 2021 tarihinde <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept> adresinden alındı.
- ETC/WMGE., 2019. Textiles and the environment in a circular economy, Eionet Report. Boeretang: ETC/WMGE.
- European Commission., 2020. A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe. 06 27, 2020 tarihinde https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en adresinden alındı.
- Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016. A Review on Circular Economy: The Expected Transition to A Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- Greenpeace., 2011. Dirty Laundry Report. Amsterdam: Greenpeace International.
- Greenpeace Germany., 2021. Self regulation:a fashion fairytale. Hamburg: Greenpeace e.V.
- Guiot, D., Roux, D., 2010. A Second-hand Shoppers' Motivation Scale: Antecedents, Consequences, and Implications for Retailers. *Journal of Retailing*, 86(4), 355-371.
- Gulich, B., 2006. Development of Products Made of Reclaimed Fibres. Y. Wang (Edt.), *Recycling in Textiles*, içinde (s. 117-13). Woodhead Publishing.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., 2019. Plastikten kurtul oltaya gelme: Türkiye'deki deniz canlılarında mikroplastik kirliliği. İstanbul: Geenpeace Akdeniz.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., Temiz Ataş, N., 2020. Occurrence Of Microplastics İn The Gastrointestinal Tracts Of Some Edible Fish Species. *Turkish Journal of Zoology*(44), 312-323.
- Güneş, İ., 2014. Uşak İlinin Geri Dönüşümdeki Önemi Ve Sektörün Sorunlarına İlişkin. TBMM Genel Kurulu, Yasama Yılı 4, Birleşim 131. Ankara, Türkiye: TBMM Genel Kurul Tutanakları. Ankara: Yasama Yılı 4, Birleşim 131. TBMM Genel Kurul Tutanakları. <https://www.tbmm.gov.tr/tutanak/donem24/yil4/ham/b13101h.htm> adresinden alındı.
- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., Kideys, A.E., 2017. Microplastic Litter Composition of The Turkish Territorial Waters of The Mediterranean Sea, and Its Occurrence in The Gastrointestinal Tract of Fish. *Environmental Pollution*, 223(Nisan), 286-294.
- Hauser, P., 2016. ITMA 2015 Technology: Wet Processing. 07 13, 2021 tarihinde <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2016/04/itma-2015-technology-wet->

- processing/#:~:text=The%20theme%20of%20ITMA,with%20more%20sustainable%20wet%20processing. adresinden alındı.
- Hedberg, A., Šipka, S., Bjerkem, J., 2019. Creating a Digital Roadmap for A Circular Economy. European Policy Center. Brussel.
- Houdini Repair., 2021. 07 22, 2021 tarihinde <https://houdinisportswear.com/en-se/explore/houdini-repair> adresinden alındı.
- İşciöğlü, T.E., Yurdakul, D., 2018. İkinci El Giyim Motivasyonları ve Sürdürülebilirlik Üzerine Keşifsel Bir Araştırma. Pazarlama Teorisi ve Uygulamaları Dergisi, 4(2), 253-280.
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing The Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. Resources, Conservation & Recycling(127), 221-232.
- Kumar, V., Hallqvist, C., Ekwall, D., 2017. Developing a Framework for Traceability Implementation in the Textile Supply Chain. Systems, 2(5), 1-21.
- Lacy, P., Long, J., Spindler, W., 2020. The Circular Economy Handbook. Palgrave Macmillan, London.. s.185-195.
- McKinsey & Company and BoF., 2021. The State of Fashion 2019. <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/the-end-of-ownership-for-fashion-products> adresinden alındı.
- McKinsey&Company and GFA., 2020. Fashion on Climate. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/retail/our%20insights/fashion%20on%20climate/fashion-on-climate-full-report.pdf> adresinden alındı.
- Microplastics., 2021. ECHA. 06 20, 2021 tarihinde <https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics> adresinden alındı.
- Mistrafuturefashion., 2017. Blend Re:wind, a new process that recycles both cotton and polyester is now demonstrated in Sweden. 06 28, 2021 tarihinde <http://mistrafuturefashion.com/rewind-recycles-cotton-polyester/> adresinden alındı.
- Murray, A., Skene, K., Haynes, K., 2015. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. J Bus Ethics, 3(140), 369-380.
- MWE., 2021. Position paper on Extended Producer Responsibility (EPR) for Textiles. Brüksel: Municipal Waste Europe AISBL.
- Norin, H., Oskarsson, H., Brodin, M., Sallermo, R., 2020. Control of Substances of Very High Concern in Recycling. Stockholm: The Swedish Environmental Protection Agency.
- Nweurope., 2020. The fibersort machine is ready to start valorising global textile waste. 06 28, 2021 tarihinde <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/bringing-the-fibersort-technology-to-the-market/news/the-fibersort-machine-is-ready-to-start-valorising-global-textile-waste/> adresinden alındı.
- Šajn, N., 2019. Environmental impact of the textile and clothing industry. European Union., EPRS, European Union Search the SINilarity tool. 2021. 07 11, 2021 tarihinde SinList: <https://sinilarity.chemsec.org/> adresinden alındı.
- SIPTex., 2018. Swedish Innovation Platform for Textile sorting. 06 28, 2021 tarihinde <https://boergroup-recyclingsolutions.com/projects/siptex-swedish-innovation-platform-for-textile-sorting/> adresinden alındı.
- Soth, J., Grasser, C., Salerno, R., 1999. The Impact of Cotton on Fresh Water Resources and Ecosystems A Preliminary Synthesis. Gland: WWF.
- Stenton, M., Houghton, J.A., Kapsali, V., Blackburn, R.S., 2021. The potential for regenerated protein fibres within a circular economy: lessons from the past can inform sustainable innovation in the textiles industry. Sustainability. 13(4), 2328.
- Swedish Chemical Agency. 2013. Hazardous chemicals in textiles, report of a government assignment. Stockholm.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı., 2018. Türkiye’de Çevre Etiketleri Dönemi Başladı. 05 30, 2021 tarihinde <https://cevreetiketi.csb.gov.tr/> adresinden alındı.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı., 2021. Çevre Etiketli Ürünlerin Desteklenmesine Yönelik Protokol İmzalandı. 05 30, 2021 tarihinde <https://cevreetiketi.csb.gov.tr/cevre-etiketli-urunlerin-desteklenmesine-yonelik-protokol-imzalandi-haber-260446> adresinden alındı.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı., 2018. Onbirinci Kalkınma Planı Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu. Ankara.
- Tekstil Mühendisleri Odası., 2018. Tekstil Endüstrisinde 4.0. Çalışmayı Raporu. 07 15, 2021 tarihinde <https://www.tmo.org.tr/images/ediorimages/uploads/tektstil-endustrisinde-4.0-calistayi-raporu.pdf> adresinden alındı.
- Textile Exchange., 2021. Preferred Fiber & Materials Market Report. Textile Exchange.
- thredUP. (2021, March). 2020 Resale Report. 06 03, 2021 tarihinde <https://www.thredup.com/resale/#resale-growth> adresinden alındı.
- Tokatlı, N., 2008. Global sourcing: insights from the global clothing industry—the case of Zara, a fast fashion retailer. J. Econ. Geogr., 8(1), 21-38.
- Tübitak Ulakbim., 2021. Kasım 26, 2021 tarihinde Tübitak Ulakbim: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/results?vid=32&sid=400bb2bd-d450-403f-a71b-b84fc6f2b928%40redis&bquery=microplastics+and+textiles&bdata=JkF1dGhUeXBIPXNzbyZjbGkwPUZUMSZjbHYwPVkmbGFuZz10ciZ0eXBIPAmc2VhcmNoTW9kZT1BbmQmc210ZT1lZHMtbGl2ZSZZy29wZT1zaXRl> adresinden alındı.
- TÜBİTAK, Ulakbim., 2021. TR Dizin Tarama Sonuçları. 07 07, 2021 tarihinde <https://app.trdizin.gov.tr/ara?from=1960&to=2021&database=Proje&query=defaultSearchField-AND-mikroplastik&order=score-DESC> adresinden alındı.
- Wilson, A., 2019. ITMA 2019 is open for sustainable innovation. 07 13, 2021 tarihinde <https://itma.com/blogs/sustainability-and-circularity/2019/sustainability/itma-2019-is-open-for-sustainable-innovation> adresinden alındı.
- Woolridge, A.C., Ward, G.D., Phillips, P.S., Collins, M., Gandy, S., 2006. Life Cycle Assessment for Reuse/Recycling of Donated Waste Textiles Compared to Use of Virgin Material: An UK Energy Saving Perspective. Resour., Conserv. Recycl., 46(1), 94-103.
- Zafer Kalkınma Ajansı., 2019. Uşak İli Tekstil Geri Dönüşüm Sekörü Raporu. Uşak: Zafer Kalkınma Ajansı.
- ZDHC Foundation., 2013. Using Chemical Hazard Assessment for Alternative Chemical Assessment and Prioritization. 06 11, 2021 tarihinde <https://www.roadmaptozero.com> adresinden alındı.
- ZDHC Foundation., 2021. Road Map to Change. 05 30, 2021 tarihinde <https://www.roadmaptozero.com> adresinden alındı.



4D BASKI TEKNOLOJİLERİ VE TEKSTİLDE KULLANIM ALANLARI

Duygu ERDEM AKGÜN*

Selçuk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Moda Tasarımı Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

4D Baskı,
4D Tekstilller,
Akıllı Tekstilller,
Şekil Hafızalı Malzemeler.

Öz

3D baskı teknolojisi, sanal ortamda üç boyutlu koordinatlarda tasarlanmış bir nesneye ait dijital verilerden statik yapılar yapmak için kullanılan bir teknolojidir. 4D baskı teknolojisi ise farklı dış uyaranlar ve bir iç uyarana cevap veren ve zaman veya boyut değişimi, fiziksel veya kimyasal değişim ya da şekil değişikliği ile sonuçlanan fiziksel bir nesne oluşturan katmanlı üretim süreci olarak tanımlanmıştır. 4D baskı uygulamaları organ ve doku mühendisliği, biyomedikal cihazlar, güvenlik, optik için hassas desenli yüzeylerin üretimi, akıllı vanalar, elektronik cihazlar, çok-yönlü özelliklere sahip yapılar ve yumuşak aktüatörler, elektromekanik valfler ve akıllı giysiler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. 4D yapıların tanımına dayanarak, 4D tekstilller terimi zamanla şekil ve fonksiyon değiştiren tekstilller olarak tanımlanabilir. 4D tekstilller, konvansiyonel malzemeler kullanılarak üretilen yapılarla kıyaslandığında kullanılan tekstil malzemelerinin doğası gereği doğrudan ekstra özellikler kazanmış olacaklardır. Ek olarak, konvansiyonel tekstil üretim yöntemleri ile kıyaslandığında malzeme ve zaman tasarrufu sağlamakta ve çalışan konforunu artırmaktadırlar. Aynı zamanda, enerji depolama ve güç aktarımı amacıyla kullanılabilmeleri de bir diğer avantajlarıdır. Bu çalışmada, 4D baskı teknolojileri, kullanılan malzemeler, üretim yöntemleri hakkında bilgi ve 4D baskı teknolojileri kullanılarak üretilen tekstil yapıları ile ilgili örnekler verilmiştir.

4D PRINTING TECHNOLOGIES AND APPLICATION AREAS IN TEXTILES

Keywords

4D Printing,
4D Textiles,
Smart Textiles,
Shape Memory Materials.

Abstract

3D printing technology is a technology used to make static structures from digital data of an object designed in three-dimensional coordinates in a virtual environment. 4D printing technology, on the other hand, is defined as the additive manufacturing process that creates a physical object that responds to different external stimuli and an internal stimulus and results in time or size change, physical or chemical change or shape change. 4D printing applications are used in various fields such as organ and tissue engineering, biomedical devices, safety, the production of sensitive surfaces for optics, smart valves, electronic devices, structures with multi-directional properties and soft actuators, electromechanical valves, and smart clothes. Based on the definition of 4D structures, the term 4D textiles can be defined as textiles that change shape and function over time. 4D textiles will gain extra features due to the nature of the textile materials used when compared to structures produced using conventional materials. In addition, they save material and time and increase employee comfort when compared to conventional textile production methods. It is also another advantage that they can be used for energy storage and power transfer purposes. In this study, 4D printing technologies, materials used, production methods are explained, and examples of textile structures produced using 4D printing technologies are given.

Alıntı / Cite

Erdem Akgün, D., (2022). 4D Baskı Teknolojileri ve Tekstilde Kullanım Alanları, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1117-1127.

* İlgili yazar / Corresponding author: duygu.erdem@selcuk.edu.tr, +90-332-223-17-86

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
D. Erdem Akgün, 0000-0002-8277-3589	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.09.2021
	Revizyon Tarihi / Revision Date	20.01.2022
	Kabul Tarihi / Accepted Date	28.02.2022
	Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Bilim ve teknoloji dünyasındaki gelişmeler baskı alanında da kendini göstermekte ve yeni uygulamaların kapısını açmaktadır. 2D baskı teknolojilerindeki gelişmeler devam ederken artık literatürde 3D ve 4D baskılardan da söz etmek mümkün hale gelmiştir. Bir katmanlı üretim metodu olarak 1980'lerde ilk kez ortaya çıkan 3D baskı teknolojileri hala araştırılmaya ve uygulanmaya devam etmektedir. 3D baskı teknolojisi sayesinde konvansiyonel yöntemlerle elde edilemeyen yapılar ve ürün prototipleri geliştirilebilmektedir. 3D baskı teknolojisi geçtiğimiz 30 yıl içerisinde hızla gelişen teknolojiler arasında yer almıştır. Ancak tüm potansiyeline rağmen bu teknolojilerin çok az kullanıldığı dikkat çekmektedir (Deshmukh vd., 2020; Leist vd., 2017; Konuk Ege vd., 2019).

3D baskı teknolojisi, 3 boyutlu koordinatlardaki dijital verilerden statik yapılar yapmak için kullanılmıştır. Ardından, akıllı malzemelerin de ortaya çıkmasıyla birlikte 3D baskı teknolojilerinde bu akıllı malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Böylece dış etkenlere duyarlı hale gelen ürünlerin üretimi gerçekleştirilebilmiş ve bu teknolojiye 4D baskı teknolojisi denilmiştir. 4D baskı teknolojisi temel olarak belli çevresel uyarılara cevap veren ve zaman, boyut, fiziksel, kimyasal veya şekil değişikliği ile sonuçlanan fiziksel bir nesne oluşturan katmanlı üretim süreci olarak tanımlanmıştır. 4D baskı teknolojisi kullanılarak üretilen yapıların şekli ve işlevi bir veya daha fazla uyarana göre değiştirilebilir. Burada iç uyaran ve dış uyaranlar olmak üzere iki farklı uyarandan söz etmek mümkündür. Dış uyaranlar esas olarak su/nem, sıcaklık, ışık, elektrik alanı ve manyetik alan gibi uyaranları içerirken ana iç uyaran hücre çekim kuvvetidir (Chu vd., 2020; Momeni vd., 2017; Shin vd., 2017; Nkomo, 2018; Zafar ve Zao, 2019; Zarek vd., 2016). Farklı uyaranların çalışma prensibi, avantajları ve dezavantajları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı uyaranların çalışma prensibi, avantajları ve dezavantajları
(Working principle, advantages and disadvantages of different stimuli) (Chu vd., 2020)

Uyaran	Çalışma prensibi	Avantajlar	Dezavantajlar
Su/nem	Şişme/çekme	Temiz/uygun	Yavaş yanıt
Sıcaklık	İç gerilim eşitsizliği	Kontrollü ayarlanabilir	Yavaş yanıt, karmaşık
Işık	Foto-termal etki	Yüksek çözünürlüklü kontrol/uzaktan kumanda	Karmaşık
Elektrik alan	Elektro-termal etki	Hızlı	İşletim zorluğu
Manyetik alan	Manyetik etki	Uzaktan kumanda	İşletim zorluğu
Hücre çekim kuvveti	Aktin bağlanması ve etkileşimi	Biyolojik uyumluluk	Hücre çekim kuvveti küçük ve kontrol edilmesi zor, yüksek tasarım gereksinimi

2. 4D Baskı Teknolojileri (4D Printing Technologies)

4D baskı teknolojileri en basit haliyle 3D baskı yöntemine zamanın eklenmesi olarak tanımlanabilir. Buradaki dördüncü boyut zamandır. Zaman kavramı ile kastedilen bir parçanın üretiminin ne kadar sürdüğü değil, üretilen nesnenin oluşturulduktan sonra da zaman içinde gelişmeye devam etmesidir. 4D baskı teknolojileri kullanılarak üretilen malzemeler üretimden sonra zamana ve ısı, ışık, nem vb. dış uyarılara bağlı olarak şekil değiştirebilme yeteneğine sahiptirler. Böylece, bu ürünlere ek fonksiyonel özellikler verilebilmektedir (Zhou vd., 2015; Monzon vd., 2017; Joshi vd., 2020).

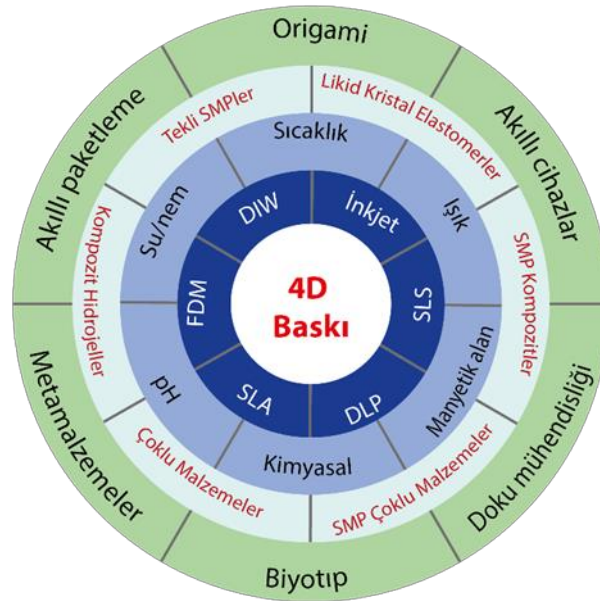
4D baskı uygulamaları organ ve doku mühendisliği, biyomedikal cihazlar, güvenlik, optik için hassas desenli yüzeylerin üretimi, akıllı vanalar, elektronik cihazlar, çok-yönlü özelliklere sahip yapılar ve yumuşak aktüatörler, elektromekanik valfler ve akıllı giysiler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Shin vd., 2017; Zafar ve Zao, 2019). 4D baskı teknolojisi gelişmekte olan bir uygulama alanıdır ve avantaj sağladığı alanlar kadar dezavantajlı olduğu durumlar da bulunmaktadır. 4D baskı uygulamalarının teknolojinin bilinen durumunda sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 4D Baskı uygulamalarının avantajları ve dezavantajları (Advantages and disadvantages of 4D printing applications)

4D baskı uygulamalarının avantajları	4D baskı uygulamalarının dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tasarım özgürlüğü ▪ Kontrol edilebilir şekil ve fonksiyon özellikleri ▪ Üretim adımlarından tasarruf ▪ Malzeme tasarrufu ▪ Basitleştirilmiş lojistik (Shen vd., 2020; Schmelzeisen vd., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Düşük üretkenlik ▪ Kısıtlı baskı alanı ve yüksekliği ▪ Tasarım kısıtlamaları ▪ Uzun baskı süreleri (Shen vd., 2020; Schmelzeisen vd., 2018; Khoo vd., 2015)

4D yapıların tanımına dayanarak, 4D tekstiller terimi zamanla şekil ve fonksiyon değiştiren tekstiller olarak tanımlanabilir. Kendinden uyarlamalı ve çok işlevli tekstil yapıları, 4D baskı ile geliştirilebilecek potansiyel uygulamalardan bazılarıdır (Truby ve Lewis, 2016). Kendinden uyarlamalı akıllı tekstil yapısı, elastik liflerden yapılan tekstillerin aksine, çekme yükü olmadan yeni bir boyuta uyarlanabilir. Çok işlevli akıllı tekstiller, vücudun nemini veya sıcaklığını yönetebilir, yaraları izleyebilir, cilt bakımı özelliği sunabilir sert iklimlere karşı koruma sağlayabilir veya elbisenin rengini uyarlanabilir şekilde değiştirebilir (Hu vd., 2012). 4D tekstiller, konvansiyonel malzemeler kullanılarak üretilen yapılarla kıyaslandığında kullanılan tekstil malzemelerinin doğası gereği doğrudan ekstra özellikler kazanmış olacaklardır. Ek olarak, konvansiyonel tekstil üretim yöntemleri ile kıyaslandığında malzeme ve zaman tasarrufu sağlamakta ve çalışan konforunu artırmaktadırlar. Aynı zamanda, enerji depolama ve güç aktarımı amacıyla kullanılabilirlikleri de bir diğer avantajlarıdır (Schmelzeisen vd., 2018).

4D baskı teknolojilerinde kullanılan malzemeler, üretim yöntemleri, uyaran çeşitleri ve kullanım alanları özet halinde Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. (İçten dışa doğru) 1) Baskı teknolojisi; DIW: doğrudan mürekkep yazdırma, FDM: eriyik yığıma modelleme, SLA: stereolitografi, DLP: dijital ışık işleme, SLS: seçici lazer ergitme, inkjet: mürekkep püskürtmeli baskı, 2) uyaran tipi, 3) kullanılan malzemeler; SMP: şekil hafızalı polimerler, 4) uygulama alanları

((Inside out) 1) Printing technology; DIW: direct ink writing, FDM: fused deposition modeling, SLA: stereolithography, DLP: digital light processing, SLS: selective laser sintering, inkjet: inkjet printing, 2) stimuli type, 3) materials used; SMP: shape memory polymers, 4) application areas) (Kuang vd., 2019)

3. 4D Baskıda Kullanılan Malzemeler (Materials Used in 4D Printing)

Akıllı malzemeler 4D baskının temel bileşenidir. 4D baskı uygulamalarının en kolay yolu 3D baskı esnasında üretime tek bir akıllı malzemenin eklenmesidir. Şekil değiştirme fonksiyonu için en çok kullanılan akıllı malzemeler şekil hafızalı polimerler ve likit kristal elastomerlerdir (Singhli ve Sharma, 2020). Bir diğer yöntem ise 4D baskı sırasında hidrojenlerin, çoklu malzemelerin ve kompozitlerin kullanımınıdır (Pei vd., 2017; Hager vd., 2015; Li ve Keller, 2006).

3.1. Şekil Hafızalı Polimerler (Shape Memory Polymers)

Şekil hafızalı polimerler herhangi bir dış uyarana cevap vererek şekil hafıza etkisi vasıtasıyla şekil değiştirme yeteneğine sahip olan akıllı malzemelerdir (Chakraborty vd., 2017). Şekil hafıza etkisi, yarı-plastik ve ciddi şekilde

önceden deforme olmuş, doğru uyarana altında ilk şekli geri kazanma yeteneği olarak tanımlanır. Şekil hafıza etkisini tetikleyen tipik uyarılar; ısı, ışık, kimyasallar ve mekanik yükleme olarak bilinmektedir (Li vd., 2017). Şekil hafızalı polimerlerin şekil değiştirebilme özelliğinin etkinleştirilebilmesi için bir programlama bir de geri dönüş adımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Programlama adımında şekil hafızalı polimerler dönüşüm sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta deforme edilirler. Ardından soğutulup yükleri boşaltılarak geri dönüş adımı gerçekleştirilir. Şekil hafızalı polimerlerin programlanması tek veya çok adımlı olmak üzere iki farklı türde şekilleri deforme olduğu esnada gerçekleşir (Joshi vd., 2020; Pei vd., 2017; Hager vd., 2015; Chakraborty vd., 2017). Şekil hafızalı polimerler yapay kas, değiştirilebilir optikler, hologramlar, oyuncaklar, yeniden şekillendirilen malzemeler, otomotiv ve uzay sanayi, medikal uygulamalar ve akıllı tekstil uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Joshi vd., 2020; Pei vd., 2017; Hager vd., 2015; Li ve Keller, 2006). Şekil hafızalı diğer malzeme türlerinden olan metaller ya da alaşımlar gibi diğer malzemelerle kıyaslandığında polimerlerin uygulanabilirliği ve işlenebilirliği daha yüksektir (Chakraborty vd., 2017). Aynı zamanda şekil hafızalı polimerler bir tekstil malzemesinin/yüzeyinin yumuşak yapısı ile benzer özelliklerde hafif ve ayarlanabilir bir modüle sahiptirler (Thakur, 2017).

3.2. Likit Kristal Elastomerler (Liquid Crystal Elastomers)

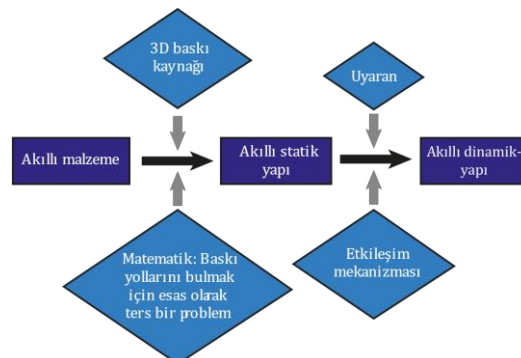
Likit kristal elastomerler, ısı veya ışık gibi harici bir uyarının tetikleyicisi altında tersine çevrilebilen, büyük ve hızlı şekil deformasyonu yapabilen bir tür akıllı malzemedir (Zhang vd., 2019). Tersinir şekil değişikliğine uğrayan birçok malzemenin aksine, harici yükler veya sulu ortamlar gerektirmemesi sayesinde bu malzemeler birçok uygulama için ideal adaylardır (Ambulo vd., 2017). Likit kristaller tipik olarak, uzun menzilli yönelim düzenine sahip nispeten sert, çubuk moleküllerden yapılmış sıvılardır. En basit sıralı faz, çubukların ortalama sıralama yönünün eşit olduğu nematik mezofazdır. Mezojen adı verilen sert çubuk benzeri birimleri içeren uzun polimer zincirleri de nematik olarak düzenlenebilir ve böylece nematik polimerler oluşturulabilir (Xie ve Zhang, 2005). Likit kristal polimerlerin ana zincir ve yan zincir olmak üzere iki farklı tipi bulunmaktadır. Yan zincir likit kristalli polimerler, makromoleküler reaksiyon veya mezojenik vinil monomerlerin polimerizasyonu yoluyla sentezlenebilir. İki işlevli monomerlerden sentezlenen ana zincirli likit kristal polimerler ise düşük kütle model bileşiklerinkine benzer sıvı kristalin davranış gösterirler. Likit kristal elastomerler ısı, ışık ve suyun etkisi altında hızlı ve geri dönüşümlü şekil deformasyonuna uğrarlar (Singhli ve Sharma, 2020). Likit kristal elastomerler genellikle elektrik-optik, entegre optik ve depolama cihazlarında kullanılmaktadır (Demir vd., 2018). Bu malzemeler, harekete geçirmeye yardımcı olmak için geçici bir şeklin yeniden programlanmasına veya harici bir ön gerilim kuvvetine gerek kalmadan tersine çevrilebilir şekilde harekete geçme yeteneğine sahip olmaları nedeniyle diğer aktif polimerlerden daha avantajlı durumdadırlar (Ula vd., 2018).

3.3. Hidrojeller (Hydrogels)

Hidrojeller, zincirleri arasında çapraz bağların varlığı nedeniyle çözülmeden büyük miktarda suyu emebilen üç boyutlu hidrofilik polimer ağlardır (Champeau vd., 2020). Bu malzemeler, uyarılara tepki ile hacimlerini büyük ölçüde değiştirme kabiliyetleri nedeniyle 4D baskıda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak, mekanik kuvvetleri sebebiyle dezavantajlı durumdadırlar ve daha sağlam ürünler elde edilmek istendiğinde genellikle ikinci bir polimerik ağ ile karıştırılarak kullanılırlar. Bu tip hidrojeller çoğunlukla tıbbi uygulamalarda kullanılırlar (Joshi vd., 2020).

4. 4D Baskıda Kullanılan Üretim Yöntemleri (Production Methods Used in 4D Printing)

4D baskı yöntemleri aslında 3D baskı yöntemleri ile hemen hemen aynıdır. 3D baskı yöntemleri ile akıllı malzemelerin kombinasyonu 4D baskı kavramını ortaya çıkarmıştır ve bu fikir ilk olarak Skylar Tibbits tarafından 2013 yılında TED Konferansı'nda tanıtılmıştır (Mohol ve Sharma, 2021). 4D baskı yapısı şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 4D baskı yapısı (4D printing structure) (Mohol ve Sharma, 2021)

4D baskı işlemi için cihazlar üzerinde bazı modifikasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. 4D baskı için kullanılan üretim yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır. Ayrıca, aşağıda bahsedilen 4D baskı üretim yöntemleri ile kullanılacak malzemelere örnekler de Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. 4D Baskı üretim yöntemleri ile kullanılacak malzemelere örnekler
(Examples of materials that can be used with 4D printing production methods)

4D baskı üretim yöntemleri	Kullanılacak malzemeler
Eriyik Yığıma Modelleme (Fused Deposition Modelling)	Şekil hafızalı polimerler, çoklu malzemeler ve kompozitler (Ahmed vd., 2021, Suriano vd., 2019)
Elektron Işını Ergitme (Electron Beam Melting)	Şekil hafızalı polimerler (Gardan, 2019)
Seçici Lazer Ergitme (Selective Laser Melting)	Çoklu malzemeler ve kompozitler (Ahmed vd., 2021)
Mürekkep Püskürtmeli Baskı (Inkjet Printing)	Çoklu malzemeler ve kompozitler, hidrojel, likit kristal elastomerler (Suriano vd., 2019; Ren vd., 2020)
Stereolitografi (Stereolithography)	Şekil hafızalı polimerler, hidrojel (Ahmed vd., 2021; Champeau vd., 2020)
Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing)	Şekil hafızalı polimerler, hidrojel (Ahmed vd., 2021)

4.1. Eriyik Yığıma Modelleme (Fused Deposition Modelling)

Eriyik yığıma modelleme (Fused Deposition Modeling) tekniği, eriyik haldeki bir baz malzemenin katmanlar halinde bir yapı oluşturmak üzere bir ağızlıktan püskürtülmesi temeline dayanır. Baz malzeme ağızlığın hemen üzerinde bulunan bir ısıtma ünitesi ile erime sıcaklığının bir miktar üzerinde ısıtılarak sürekli eriyik halde tutulur. Malzeme ağızlıktan çıktıktan sonra hemen katılaşmaya başlar ve böylece temas ettiği alanda katılaşarak tutunmuş olur. Bu teknik ile karmaşık mekanizmaların ve hareketli parçaların üretilmesi mümkündür. Geleneksel yöntemlere üretilmesi zor ya da imkansız yapılar bu teknikle rahatlıkla üretilebilir. Genellikle düşük miktarda üretimler için kullanılır. Ancak yüzey kalitesi çok iyi değildir ve ağızlık kesiti dairesel olduğu için keskin köşeli parçaların üretimi için pek uygun değildir (Cano-Vicent vd., 2021; Joshi vd., 2020; Aydın ve Karamolla, 2019).

4.2. Elektron Işını Ergitme (Electron Beam Melting)

Elektron ışını ergitme (Electron Beam Melting) tekniği, toz halinde bulunan metallerin odaklanmış bir elektron ışını ile taranması, eritilmesi ve birleştirilmesi prosesi olarak tanımlanabilir. Yüksek hızlı elektron ışını toz tabakası ile etkileşime girdiğinde, kinetik enerji termal enerjiye dönüşerek tozun erimesine neden olur. Eritme ortamı yaklaşık 700°C gibi yüksek sıcaklıklarda vakumlu bir ortamda bulunur. Yüksek yoğunluklu elektron ışını ile toza düşük ışın akımında bir ön ısıtma uygulanır. Böylece nem içeriği düşürülerek oksijen alım miktarı azaltılabilir. Ön ısıtma işlemi aynı zamanda işlem sırasında katmanlar arasındaki sıcaklık farkı değişimini de düşürmekte ve gerilme oluşumunu azaltmaktadır. Ön ısıtma aşamasından sonra elektron ışını tozu daha düşük bir tarama hızı, daha küçük nokta boyutu ve daha yüksek ışın akımında tarayarak eritir. Yapı tamamlandıktan sonra oluşturulan parça 700°C'den oda sıcaklığına kendi halinde soğutularak ürün elde edilir (Yalçın ve Ergene, 2017; Rafi vd., 2013; Bormann vd., 2012).

4.3. Seçici Lazer Ergitme (Selective Laser Melting)

Seçici lazer ergitme (Selective Laser Melting) yönteminde, ilk olarak üretilecek olan parçanın CAD modeli tipik olarak 30-100 µm kalınlığında yatay dilimler halinde kesilir. Ardından, odaklanmış bir lazer ışını her bir dilimin kontur bilgisini, lokal olarak eriyen ve katılaşan metalik toz yatağına iletir. Bir dilimin taranmasından sonra yapı platformu dilim kalınlığı kadar alçaltılır ve tekrar toz kaplanır. Her bir dilimin lazer ile taranması ve yeniden kaplanması tüm dilimler bitene kadar devam eder. Böylelikle elde edilmek istenen yapı tamamlanmış olur (Bormann vd., 2012; Atalay vd., 2016).

4.4. Mürekkep Püskürtmeli Baskı (Inkjet Printing)

Mürekkep püskürtmeli baskı (Inkjet Printing), bir bilgisayar aracılığıyla yapısal verileri okuyan ve küçük mürekkep damlacıklarını biriktirerek fiziksel olarak yeniden yapılandırılan temassız bir tekniktir. Mürekkep damlacıklarının oluşturulmasında piezoelektrik, elektromanyetik ya da termal yöntemler kullanılabilir. Bu yöntem ile elde edilen yapılar çok fazla gerilime sahip değildirler ve çok hassas bir biçimde üretilebilirler. Mürekkep püskürtmeli baskının en önemli özelliklerinden birisi yüksek oranda biyoyumlu bir işlem olmasıdır. Bu teknik kullanılarak canlı hücreleri ve biyomalzemeler aynı anda bastırılarak farklı doku türlerine sahip 3 boyutlu yapılar ve 4 boyutlu origami benzeri yapılar elde edilebilir (Joshi vd., 2020; Börklü vd., 2016). Ayrıca, mürekkep püskürtmeli baskı oldukça hızlı ve ucuz bir tekniktir ve birçok farklı malzeme türü ile kullanılabilir (Chu vd., 2020).

4.5. Stereolitografi (Stereolithography)

Stereolitografi (Stereolithography) tekniği, genellikle Şekil hafızalı polimerlerin baskısında kullanılan yöntemlerden biridir. Çok yüksek hassasiyete sahiptir. Stereolitografi işleminde yapıyı oluşturmak işin kullanılan malzememin polimerizasyonu lazer iŐınları ile sağlanır ve bu lazer iŐınları bir reÇine banyosu iÇerisinde istenen alana etki ettirilir. Lazer iŐınları aracılığıyla malzemeler tabakalar oluŐturacak Şekilde uygulanır ve uygulama işlemi yapılan her bir katman reÇine banyosunun iÇine doğru alĐaltılır. Katmanların uŐerinde biriken fazla reğineler bir silecek yardımıyla temizlenir. Bu işlem parÇa tamamlanana kadar tekrarlanır. Ardından parÇa reÇine banyosundan Çıkarılarak reÇine süzülür ve bir Őözücüde yıkanarak artıklardan arınması sağlanır. Ardından, ultraviyole fırına konularak reğinelerin katılaŐması sağlanır (Joshi vd., 2020; Borklü vd., 2016).

4.6. Dijital IŞık IŐleme (Digital Light Processing)

Dijital iŐık iŐleme (DLP), vat polimerizasyon tekniđine dayanmaktadır. Bu teknikte, sıvı reĐine teknesi iŐık kaynađı altında kŪrlenir ya da polimerize edilir. ReĐine damlası, lazer kaynađı aracılıđıyla verilen ultraviyole iŐık altında sertleŐtirilerek katı bir malzemeye dŪnŪŐtŪrŪlŪr ve her seferinde bir katman oluŐturmak suretiyle ũst ũste katmanların yıđılmasıyla ũrŪn elde edilir (Singholi ve Sharma, 2020).

5. 4D Baskı Teknolojileri Kullanılarak ũretilen Tekstil Yapılarına Örnekler (Examples of Textile Structures Produced Using 4D Printing Technologies)

Biyomedikalden savunma sanayine, uzay araŐlarından elektronik bileŐenlere kadar pek ők alanda kullanılan 4D baskı teknolojisi tekstil alanında da yavaŐ yavaŐ da olsa kullanılmaya baŐlanmıŐtır. 4D baskı teknolojileri kullanılarak ũretilen tekstil yapıları Őekil deđiŐtiren nesnelere, basınŐa duyarlı komponentler, ses emici tekstiller, aktif ayakkabılar gibi farklı ũrŪnlerde gŪrŪlmektedir.



Şekil 3. Aktif ayakkabı (Active shoes) (Active shoes, 2020)

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nŪn 4D alanında birtakım ŐalıŐmaları bulunmaktadır. Bunlardan biri de aktif ayakkabı olarak isimlendirdikleri ŐalıŐmadır (Őekil 3). Bu ŐalıŐmada hassas bir 2 boyutlu desen yazdırılarak bir ayakkabı formu oluŐturulmuŐtur. Ayakkabı ũretildikten ve makineden Őıkarıldıktan sonra Őekil deđiŐtirebilme űzelliđine sahip hale gelmektedir. Farklı űzelliklere sahip ŐeŐitli kalınlıklarda malzemeler gerilmiŐ bir tekstil malzemesi uŐerine basılır ve ardından serbest bırakılır. Bu sayede ayakkabı űnceden programlanmıŐ Őekillere dŪnŪŐebilmektedir (Active Shoes, 2020).



Şekil 4. 4D Baskılı telin kendiliğinden "MIT" harflerine katlanması (Self-folding of 4D printed wire into the letters "MIT") (Tibbits, 2014)



Şekil 5. Üç boyutlu bir küp halinde katlanabilen 4D baskılı Tel
(4D Printed wire that can be folded into a three-dimensional cube) (Tibbits, 2014)

Tibbits (2014) 4D baskı ile üretilmiş iki farklı tekstil yapısı geliştirmiştir. Bunlardan ilki yaklaşık 30 cm uzunluğunda hem katı hem de aktif materyaller içeren tek bir şerit halinde basılmıştır. Bu şerit suya batırıldığında şekil değiştirerek 'MIT' harflerine dönüşmektedir (Şekil 4). İkinci yapı ise yine hem katı hem de aktif materyaller kullanılarak basılmış iki boyutlu bir düzlemdir. Bu düzlem bir küpün açık haldeki altı yüzeyini temsil eder. Her bir bağlantı noktasında bulunan uzun şeritler nihai duruma ulaşıldığında katlanmayı engellemek üzere 90°'lik bir açı kısıtlayıcısı işlevi görmektedir. Bu yapı suya batırıldığında kapalı yüzeyli bir küpe dönüşmektedir (Şekil 5) (Tibbits, 2014).



Şekil 6. Uzun atlama sporcuları için yüksek performans giysisi
(High performance clothing for long jump athletes) (Skynfeel Apparel, 2020)

Pauline Van Dongen Stüdyosu'nda 4D tekstil yapıları kullanılarak uzun atlama sporcuları için bir giysi geliştirilmiştir (Şekil 6). Geliştirilen giysi fizyolojik stres ve zorlanma ile ilişkili olarak şekil ve biçim değiştirebilme özelliğine sahiptir. Giysinin yanlarında lazer kesim kullanılarak şekillendirilmiş ve yusufçuk kanatlarından esinlenilmiş kanatçıklar bulunmaktadır. Koşma esnasında kanatçıklar kapalı pozisyonda kalırken atlama sırasında kollar döndükçe ve bacaklar uzadıkça kanatçıklar açılmakta ve yükselme ve havada kalma süresini ve bu sayede de performansı artırıcı özellik göstermeye destek olmaktadır (Ledbury, 2018).



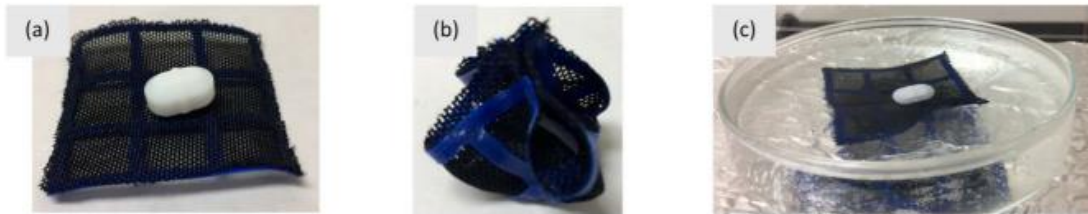
Şekil 7. Sonogrid (Sonogrid) (Peters and Drewes, 2019)

Almanya'nın Köln şehrindeki tasarımcılar tarafından 4D baskı teknolojisi kullanılarak akustik özellikli 4D tekstiller geliştirilmiştir (Şekil 7). "Sonogrid" adı verilen malzeme sistemi çok kalabalık kamusal alanlarda oluşan akustik yansımaları azaltmak için tasarlanmıştır. Kaba bir ağ yapısına sahip olan kumaş gerilmiş bir durumda iken baskı işlemi yapılmış ve baskıdan sonra üç boyutlu küçük piramit ızgaraları oluşturmak üzere büzülmüştür. Bu piramitlerin boyutu ve yerleşimi farklı ortamların ses azaltma ihtiyaçlarını karşılayabilmek üzere uyarlanabilir özelliktedir (Peters and Drewes, 2019).



Şekil 8. 4D Baskılı dış iskelet yapısı (4D Printed exoskeleton structure) (Peters and Drewes, 2019)

RWTH Aachen Üniversitesi'nde bir araştırma ekibi 4D tekstiller kullanarak geliştirdikleri bir dış iskelet üzerinde çalışmaktadırlar (Şekil 8). Dış iskelet, ön gerimli bir tekstil yüzeyinin bir polimer ile basılması suretiyle geliştirilmiş ve enerji depolama amacıyla kullanılmıştır. Depolanan enerji, kullanıcı için çeşitli hareketlerin akışını uyarlamaya ve kolaylaştırmaya yardımcı olmaktadır (Peters and Drewes, 2019).



(a) PLA naylon kumaşın merkezine mıknatıs karıştırma çubuğu yerleştirilir.

(b) PLA naylon kumaş 70°C'ye ısıtıldığında mıknatıs çubuk üzerine kapanır ve sonra oda sıcaklığına soğutulur.

(c) PLA naylon kumaş 70°C sıcaklığa yeniden ulaştığında kumaş açılır ve mıknatıs karıştırma çubuğu ortaya çıkar.

Şekil 9. PLA Naylon kumaş ile üretilen akıllı tekstil ürünü
(Smart textile product made with PLA nylon fabric) (Leist vd., 2017)

Leist ve ark. (2017) naylon kumaş üzerine polilaktik asit (PLA) ile 4D baskı uygulayarak bir akıllı tekstil ürünü geliştirmişlerdir (Şekil 9). PLA termal şekil hafıza davranışına sahip bir malzemedir ve termomekanik olarak geçici

şekillerde eğitilebilme ve ısıtıldığında programlanan şekline dönme yeteneğine sahiptir. Naylon kumaş ile birleştirildiğinde de bu özelliklerinde herhangi bir kayıp yaşanmamıştır. Naylon ile kombine edilen akıllı malzemeler kapsülasyon ve çevre şartlarına cevap verecek nitelikte kontrollü salınım amacıyla kullanılabilirler (Leist vd., 2017).



Şekil 10. 4D Teknolojisi ile üretilmiş orta taban (Midsole manufactured with 4D technology) (Adidas Ultracraft 4D, 2021)

Adidas ve Carbon Digital Light Synthesis™ iş birliğinde elastomerik bir malzemenin 4D baskı teknolojisi ile kullanılmasıyla spor ayakkabılar için tek parçadan oluşan bir orta taban üretilmiştir (Şekil 10). Carbon ekibi orta tabanlar için temelde sıfır destek malzemesiyle baskı yapılmasını sağlayan bir baskı stratejisi geliştirmiştir. Böylece yalnızca hammadde maliyetlerinden tasarruf edilmekle kalınmamış, aynı zamanda geleneksel eklemeli imalatın manuel işlem sonrası adımları da önemli ölçüde azaltılmıştır (Adidas Ultracraft 4D, 2021).

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, 4D baskı teknolojileri, kullanılan malzemeler, üretim yöntemleri hakkında bilgiler ve 4D baskı teknolojileri kullanılarak üretilen 4D tekstil yapıları ile ilgili örnek çalışmalar verilmiştir.

4D baskı teknolojileri nispeten yeni bir araştırma alanıdır ve avantajlarının yanında birçok kısıtlamaya da sahiptir. Bu kısıtlamalar teknolojik kısıtlamalar, malzeme kısıtlamaları ve tasarım kısıtlamaları olarak sınıflandırılabilir. Ancak kullanım alanı genişledikçe tüm engellere uygun çözümler bulunulacağı düşünülmektedir. Dezavantajları olmasına rağmen, 3D baskıdan 4D baskıya geçiş beraberinde büyük uygulama potansiyellerini de getirmiştir. Bu teknolojiler sayesinde insan gücünün ekstrem çalışma koşullarında bulunmasına gerek kalmayacaktır.

4D baskı pazarının büyüklüğü 2020 senesinde 65.1 Milyon ABD doları değerinde iken ve 2027'de sona eren tahmin dönemi için %42,1'lik bir bileşik yıllık büyüme oranında büyümesi ve 489.2 Milyon ABD doları pazar değerine ulaşması beklenmektedir. 4D tekstillerin ise önümüzdeki yıllarda %35'lik bir yıllık bileşik büyüme oranıyla büyümesi öngörülmektedir (4D Printing Market Forecast to 2027, 2021).

Ayrıca, 4D baskı yeni bir araştırma alanı olduğu için henüz denenmeyen pek çok akıllı malzeme de bulunmaktadır. Yakın gelecekte bu denemelerin yapılmasıyla birlikte ürün çeşitliliğinin ve ürünlerin mukavemet, dayanıklılık ve yüzey kalitesi gibi özelliklerinin de artması beklenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- 4D Printing Market Forecast to 2027, 2021. <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/10/19/2316785/0/en/Global-4D-Printing-Market-is-Expected-to-Reach-US-489-2-Mn-by-2027-With-a-Growing-CAGR-of-42-1.html>. Erişim tarihi: 04.12.2021
- Active Shoes. <https://selfassemblylab.mit.edu/active-shoes>. Erişim tarihi: 04.03.2020.
- Adidas Ultracraft 4D. <https://www.carbon3d.com/adidas-ultracraft-4d/>. Erişim tarihi: 04.12.2021
- Ahmed, A., Arya, S., Gupta, V., Furukawa, H., Khosla, A., 2021. 4D printing: Fundamentals, Materials, Applications and Challenges. Polymer, 123926.
- Ambulo, C. P., Burroughs, J. J., Boothby, J. M., Kim, H., Shankar, M. R., Ware, T. H., 2017. Four-Dimensional Printing of Liquid Crystal Elastomers. ACS Applied Materials & Interfaces, 9(42), 37332-37339.
- Atalay, H. A., Değirmençtepe, R. B., Bozkurt, M., Can, O., Canat, H. L., Altunrende, F., 2016. 3D Teknolojinin Tıpta ve Üroloji'de Kullanım Alanları. Endoüroloji Bülteni, 9, 65-71.

- Aydın, K., Karamolla, M., 2019. Katmanlı İmalat ile Üretilen Metal Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1610-1620.
- Bormann, T., Schumacher, R., Müller, B., Mertmann, M., de Wild, M., 2012. Tailoring Selective Laser Melting Process Parameters for NiTi Implants. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(12), 2519-2524.
- Börklü, H. R., Yıldırım, A. K., Sezer, H. K. 2016. Hızlı Prototip Oluşturmada Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 4(4), 309-319.
- Cano-Vicent, A., Tambuwala, M. M., Hassan, S. S., Barh, D., Aljabali, A. A., Birkett, M., ... & Serrano-Aroca, Á., 2021. Fused Deposition Modelling: Current Status, Methodology, Applications and Future Prospects. *Additive Manufacturing*, 102378.
- Champeau, M., Heinze, D. A., Viana, T. N., de Souza, E. R., Chinellato, A. C., Titotto, S., 2020. 4D Printing of Hydrogels: A Review. *Advanced Functional Materials*, 30(31), 1910606.
- Chakraborty, J. N., Dhaka, P. K., Sethi, A. V., Arif, M., 2017. Technology and Application of Shape Memory Polymers in Textiles. *Research Journal of Textile and Apparel*. 21(2), 86-100.
- Chu, H., Yang, W., Sun, L., Cai, S., Yang, R., Liang, W., ... & Liu, L., 2020. 4D Printing: A Review on Recent Progresses. *Micromachines*, 11(9), 796.
- Demir, S., Sezer, H. K., Özdemir, V., 2018. Topolojik Nesnelerin FDM Yöntemiyle Üretimi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(2), 76-87.
- Deshmukh, K., Houkan, M. T., AlMaadeed, M. A., Sadasivuni, K. K., 2020. Introduction to 3D and 4D Printing Technology: State of the Art and Recent Trends. K. K. Sadasivuni, K. Deshmukh and M. A. Almaadeed (Edt.), *3D and 4D Printing of Polymer Nanocomposite Materials*, içinde (s. 1-24). Elsevier.
- Gardan, J., 2019. Smart Materials in Additive Manufacturing: State of The Art and Trends. *Virtual and Physical Prototyping*, 14(1), 1-18.
- Hager, M. D., Bode, S., Weber, C., & Schubert, U. S., 2015. Shape Memory Polymers: Past, Present and Future Developments. *Progress in Polymer Science*, 49, 3-33.
- Hu, J., Meng, H., Li, G., Ibekwe, S. I., 2012. A Review of Stimuli-Responsive Polymers for Smart Textile Applications. *Smart Materials and Structures*, 21(5), 053001.
- Joshi, S., Rawat, K., Karunakaran, C., Rajamohan, V., Mathew, A. T., Koziol, K., ... & Balan, A. S. S., 2020. 4D Printing of Materials for the Future: Opportunities and Challenges. *Applied Materials Today*, 18, 100490.
- Khoo, Z. X., Teoh, J. E. M., Liu, Y., Chua, C. K., Yang, S., An, J., ... & Yeong, W. Y., 2015. 3D Printing of Smart Materials: A Review on Recent Progresses in 4D Printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(3), 103-122.
- Kuang, X., Roach, D. J., Wu, J., Hamel, C. M., Ding, Z., Wang, T., ... & Qi, H. J., 2019. Advances in 4D Printing: Materials and Applications. *Advanced Functional Materials*, 29(2), 1805290.
- Konuk Ege, G., Sürmen, H. H., Bektaş, B., Akkuş, N., 2019. 4D Baskı Teknolojisi ve Biyobaskı Alanındaki Uygulamaları. 4th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry, 516-524.
- Ledbury, J., 2018. Design and Product Development in High-Performance Apparel. J. Mcloughlin, T. Sabir (Edt), *High-Performance Apparel: Materials, Development, and Applications*, içinde (s. 175-189). Woodhead Publishing.
- Leist, S. K., Gao, D., Chiou, R., Zhou, J., 2017. Investigating the Shape Memory Properties of 4D Printed Polyactic Acid (PLA) and the Concept of 4D Printing onto Nylon Fabrics for the Creation of Smart Textiles. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(4), 290-300.
- Li, M. H., Keller, P., 2006. Artificial Muscles Based on Liquid Crystal Elastomers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1847), 2763-2777.
- Li, X., Shang, J., Wang, Z., 2017. Intelligent Materials: a Review of Applications in 4D Printing. *Assembly Automation*, 37(2), 170-185.
- Mohol, S. S., Sharma, V., 2021. Functional Applications of 4D Printing: A review. *Rapid Prototyping Journal*, 27(8), 1501-1522.
- Momeni, F., Liu, X., Ni, J., 2017. A Review of 4D Printing. *Materials & Design*, 122, 42-79.
- Monzón, M. D., Paz, R., Pei, E., Ortega, F., Suárez, L. A., Ortega, Z., ... & Clow, N., 2017. 4D Printing: Processability and Measurement of Recovery Force in Shape Memory Polymers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(5-8), 1827-1836.
- Nkomo, N., 2018. A Review of 4D Printing Technology and Future Trends. *Eleventh South African Conference on Computational and Applied Mechanics*, 202-211.
- Pei, E., Loh, G. H., Harrison, D., de Amorim Almeida, H., Verona, M. D. M., Paz, R., 2017. A Study of 4D Printing and Functionally Graded Additive Manufacturing. *Assembly Automation*, 37(2), 147-153.
- Peters, S., Drewes, D., 2019. *Materials in Progress: Innovations in Designers and Architects*. Birkhauser Verlag GmbH.
- Rafi, H. K., Karthik, N. V., Gong, H., Starr, T. L., Stucker, B. E., 2013. Microstructures and Mechanical Properties of Ti6Al4V Parts Fabricated by Selective Laser Melting and Electron Beam Melting. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(12), 3872-3883.
- Ren, L., Li, B., He, Y., Song, Z., Zhou, X., Liu, Q., Ren, L., 2020. Programming Shape-Morphing Behavior of Liquid Crystal Elastomers via Parameter-Encoded 4D Printing. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(13), 15562-15572.
- Schmelzeisen, D., Koch, H., Pastore, C., Gries, T. 2018. 4D Textiles: Hybrid Textile Structures that can Change Structural Form with Time by 3D Printing. Y. Kyosev, B. Mahltig, A. Schwarz-Pfeiffer (Edt), *Narrow and Smart Textiles*, içinde (s. 189-201). Springer, Cham.
- Shen, B., Erol, O., Fang, L., Kang, S. H., 2020. Programming the Time into 3D Printing: Current Advances and Future Directions in 4D Printing. *Multifunctional Materials*, 3(1), 012001.
- Shin, D. G., Kim, T. H., Kim, D. E., 2017. Review of 4D Printing Materials and Their Properties. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4(3), 349-357.
- Singholi, A. K. S., Sharma, A., 2020. Recent Advancement and Research Possibilities in 4D Printing Technology. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 51(10), 1332-1340.
- Skyfeel Apparel, <http://www.paulinevandongen.nl/project/skyfeel-apparel/> Erişim tarihi: 15 Kasım 2020.

- Suriano, R., Bernasconi, R., Magagnin, L., Levi, M., 2019. 4D Printing of Smart Stimuli-Responsive Polymers. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(9), B3274.
- Thakur, S., 2017. Shape Memory Polymers for Smart Textile Applications. B. Kumar, S. Thakur (Edt.), *Textiles for Advanced Applications*, içinde [s. 323-336]. BoD- Books on Demand.
- Tibbits, S., 2014. 4D Printing: Multi-Material Shape Change. *Architectural Design*, 84(1), 116-121.
- Truby, R.L., Lewis, J.A., 2016. Printing Soft Matter in Three Dimensions, *Nature*, 540(7633), 371-378.
- Ula, S. W., Traugott, N. A., Volpe, R. H., Patel, R. R., Yu, K., Yakacki, C. M., 2018. Liquid Crystal Elastomers: An Introduction and Review of Emerging Technologies. *Liquid Crystals Reviews*, 6(1), 78-107.
- Xie, P., Zhang, R., 2005. Liquid Crystal Elastomers, Networks and Gels: Advanced Smart Materials. *Journal of Materials Chemistry*, 15(26), 2529-2550.
- Yalçın, B., Ergene, B., 2017. Endüstride Yeni Eğilim Olan 3-d Eklemeli İmalat Yöntemi ve Metalurjisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(3), 65-88.
- Zafar, M. Q., Zhao, H., 2019. 4D Printing: Future Insight in Additive Manufacturing. *Metals and Materials International*, 26(5), 564-585.
- Zarek, M., Layani, M., Eliazar, S., Mansour, N., Cooperstein, I., Shukrun, E., ... & Magdassi, S., 2016. 4D Printing Shape Memory Polymers for Dynamic Jewellery and Fashionwear. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(4), 263-270.
- Zhang, C., Lu, X., Fei, G., Wang, Z., Xia, H., Zhao, Y., 2019. 4D Printing of a Liquid Crystal Elastomer with a Controllable Orientation Gradient. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(47), 44774-44782.
- Zhou, Y., Huang, W. M., Kang, S. F., Wu, X. L., Lu, H. B., Fu, J., Cui, H., 2015. From 3D to 4D Printing: Approaches and Typical Applications. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(10), 4281-4288.



HTLS İLETKENLERİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

Yiğit AKYOL, Altuğ BOZKURT*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

HTLS İletkenler,
Konvansiyonel İletkenler,
Sıcaklık,
Sehim,
Maliyet.

Öz

Yüksek gerilim iletkenleri, enerji talebinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli unsurlardandır. Günümüzde elektrik enerjisine karşı artan talep, güç sistemlerinde kayıp artışı, hat kapasitelerinin yetersizliği, sehim vb. sorunları meydana getirmektedir. Bu sorunları çözümlerin birkaç yolu bulunmaktadır. Çözümlerden biri ise, günümüzde kullanılan konvansiyonel iletkenleri, Yüksek Sıcaklık Düşük Sehimli (HTLS) iletkenlerle değiştirerek, iletkenlerde sarkma (sehim) miktarını minimuma indirmek ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilen HTLS iletkenler üzerinden daha fazla akım iletimi sağlanarak, mevcut durumdan daha fazla akım taşıma kapasitesi elde etmeyi amaçlamaktadır. Fakat bu işlemi yapmadan önce bir de bunun maliyet tarafı ele alınmalıdır. Bu çalışmada, konvansiyonel iletkenler ile HTLS iletkenler teknik ve ekonomik açıdan incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda da HTLS iletkenlerin teknik ve maliyet açısından birçok konuda konvansiyonel iletkenlere göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

TECHNOECONOMIC ANALYSIS OF HTLS CONDUCTORS

Keywords

HTLS Conductors,
Conventional Conductors,
Heat,
Sag,
Cost.

Abstract

High voltage conductors are one of the most important elements to be considered in energy demand. The demand of electrical energy increases day by day, unfortunately it creates some problems (power loss, insufficient line capacities, sag etc.) on power systems. However, there is some methods to solve these problems. One of these methods is to minimize the amount of sag in the conductors by replacing the conventional conductors used with High Temperature Low Sag (HTLS) conductors. In addition, it aims to obtain more current carrying capacity than the current situation by providing more current transmission over HTLS conductors that can operate at higher temperatures. But, the installation of new line costs should be considered before decide to do it. In this study, conventional conductors and HTLS conductors are examined in terms of technical and economic terms. In terms of the results obtained, HTLS conductors have been found to be more advantageous in terms of technical and cost than conventional conductors.

Alıntı / Cite

Akyol, Y., Bozkurt, A., (2022). HTLS İletkenlerin Teknoekonomik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1128-1140.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Akyol, 0000-0001-6096-5216
A. Bozkurt, 0000-0001-6458-1260

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.02.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.03.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.05.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.09.2022

1. Giriş (Introduction)

Dünya çapında artan nüfus sayısı ve yeni teknolojik gelişmeler, enerji talebini giderek arttırmakta (Albizu vd., 2005) ve enerji talebi 2050 yılında yaklaşık olarak iki katına çıkması öngörülmektedir (World Energy Outlook[WE0], 2021). Türkiye'ye baktığımızda ise TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)'nin yayınladığı rapora göre, enerji talebi önümüzdeki 10 yıllık planlamada %3,8 artması beklenmektedir (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi[TEİAŞ], 2021). Bu enerji talebini karşılamada Türkiye'de ve daha birçok yerde fosil yakıtlar

* İlgili yazar / Corresponding author: abozkurt@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5834

günümüzde önemli bir ham maddedir. Fakat dünyaca ünlü bir akaryakıt şirketinin yaptığı araştırmaya göre dünya genelinde yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı %10,3'ten %11,7'ye çıkarken, kömürün payı 1,3 puan düşerek %35,1 olarak açıklanmıştır. Bu oran, kömürün yıllardan sonra elektrik üretimi payındaki en düşük seviye olarak gözükmemektedir (British Petroleum[BP], 2021). Bu durum, yenilenebilir enerjinin ileri de fosil yakıtların sağladığı enerji arzından pay alabileceğini göstermektedir [Riba vd., 2020]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantı noktalarından çok uzakta ve dağınık biçimde bulunması şebekeye entegrasyonu konusunda problemler yaratmaktadır [Barrios vd., 2017]. Fosil yakıtlarla ilgili bir konuya daha değinmek gerekirse fosil yakıtla çalışan araçların yerini de yavaş yavaş elektrikli araçların alacak olması enerji talebinde bir artışa neden olacaktır (World Energy Outlook[WEO], 2021; Zheng vd., 2019).

Ülkemizde mevcut iletkenlerin ilk kullanılma tarihine bakıldığında 1950'li yıllarda karşımıza çıkmaktadır ve bu yıllarda ülkenin sadece %33'üne elektrik verilebilmektedir (Karabay vd., 2003; Özal, 2022). Bu da gösteriyor ki, bu yıllarda elektrik kullanımı daha yaygınlaşmamıştı. Büyük oranda hatların kurulumu ve mevcut iletkenlerin kullanımı yaklaşık olarak 30-40 sene önceye dayandığından dolayı, mevcut iletkenlerin kullanım ömrünü tamamlamak üzere olduğu ve yakın zamanda değişmesi gerektiğini göstermektedir (Beryozkina, 2019). Ülkemiz komşu ülkelerle enerji alışverişinde bulunmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2022). Bu nedenle mevcut iletkenlerin, yeni iletkenlerle değişmesi ve Avrupa kıtasına ve çevre ülkelere enerji alışverişi açısından entegre olmamız için yeni hatların kurulması önem arz etmektedir (Barrios vd., 2017). Fakat günümüzde yeni hatların kurulum hızı, elektrik enerjisi üretimindeki artışla maalesef paralel gidememektedir. Bundan dolayı yeni hat kurulması yerine mevcut iletkenin değiştirilmesi zaman ve maliyet açısından daha karlı olacaktır (Capelli vd., 2017; Capelli vd., 2016). Günümüzde enerji iletiminin havai hatlar yerine yer altı kablolarıyla yapılması durumunda maliyetler 3-10 kat arasında değişmektedir. Bu nedenle havai hatlar ile enerji iletimi daha ekonomik olmaktadır (Riba vd., 2020; Kishore ve Singal, 2014; Ghassemi, 2019). Ama havai hat kurmak da sanıldığı kadar kolay ve maliyetsiz bir yatırım değildir. En çok enerji talep eden yerler insan sayısının fazla olduğu yerlerdir (Kumar ve Rahangdale, 2018). Bu da yerleşimin sık olduğu yerlerde havai hat kurulmasını zorlaştırmaktadır ve maliyet açısından daha yüksek olsa da yeraltından kabloları götürmek daha kolay olmaktadır (Kumar ve Rahangdale, 2018). Havai hat kurulmaya çalışırken yasal ve çevresel açıdan da birtakım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Uygun arazi bulunması, istiklal ve uygun hava koşulları gibi birçok etmen ortaya çıkmaktadır (Beryozkina, 2019; Capelli vd., 2016; Kishore ve Singal, 2014; Saudeger, 2017). Uzun yıllar önce yazılmış şartnamelerin ve mevzuatların değişmesi ve lisans (Filippone, 2014) alımlarının kolaylaşması gerekmektedir. Bu gibi yasal veya yasal olmayan pürüzlerden dolayı bir hattın kurulup devreye alınması sürecine kadar 10 yıldan daha fazla bir süre geçebilir ve yatırımcılar açısından bu süre pek tercih edilmeyebilir (Albizu vd., 2005; Zamora vd., 2001).

Artan talebe karşılık verebilmek için iki yöntemden biri olan, hat inşası, günümüz şartlarında yatırımcıları oldukça zorlamakta ve zorunlu kalmadıkça yatırım yapılmamaktadır. İkinci yöntem ise, mevcut hatların iletkenlerinin güç iletim kapasiteleri artırılmış yeni iletkenlerle değiştirilmesi daha avantajlı gözükmemektedir (Pirovano vd., 2014). Mevcut güç hatlarının iletim kapasitelerini artırmak için, mevcut yapılarda en az değişiklik (maliyet ve işçilik açısından) yaparak gerilimi veya akımı ya da her ikisini de yükselterek bu elde edilebilmektedir (Ardelean vd., 2011). Bu çözümler haricinde akım taşıma kapasitesini artırarak da mevcut hatların daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla akım iletilmesi sağlanabilmektedir (Shivashankar, 2017). Fakat iletim hatlarının güç iletim kapasitesini etkileyen faktörler vardır. Bunlar kontrolsüz güç akışı sınırı, kararlılık ve termal (ısı) sınırıdır (Bağrıyanık, 2000; Gorur vd., 2014; Arcia-Garibaldi vd., 2018). Termal sınır, sehim (sarkma) ve iletkenin tavlansıyla ilgili olduğu için bu hattın uzun ve güvenli çalışmasını da etkilemektedir (Karimi vd., 2018; CTC Global, 2022). Termal sınır aşıldığında mevcut iletkende bulunan alüminyum telleri tavlama nedeniyle dolayı, sünekliği artma ve sertliği azalma eğilimine girmektedir ve bu da toprak ile iletken arasında oluşan mesafeyi azaltmakta yani sehimi olumsuz yönde etkilemektedir (CTC Global, 2022; Kıstı, 2016; Rahman ve Kopsidas, 2018). Bundan dolayı çalışma sıcaklığı arttıkça iletkenin ve sıcaklıktan etkilenen diğer elemanların (izolatör gibi) kullanım ömrü azalmakta, iletkenin sarkması artmakta ve güç kayıpları gibi etkiler ortaya çıkmaktadır (CTC Global, 2022; Kıstı, 2016; IEEE Power and Energy Society, 2013). Bu nedenle belirtilen sorunlardan dolayı bilhassa da sehimden dolayı mevcut hatları daha yüksek sıcaklıklarda çalıştırmak mümkün gözükmemektedir (Riba vd., 2020). Aynı zamanda daha büyük çaplı iletkenlerle değişim sağlanması da mevcut hattın üstünde daha fazla mekanik yük oluşturmaktadır. Bu yeni oluşan mekanik yükten dolayı, mevcut elemanların da değişmesi gerekmekte ve bu da ekstra maliyet ortaya çıkaracağı için ilk yapılacak yöntem olarak düşünülmemektedir (Riba vd., 2020). Bundan dolayı mevcut iletkenlerin, daha yüksek akım kapasitesine sahip ve yatay gerilimin, iletkenin birim ağırlığına oranı daha yüksek olan iletkenlerle değiştirilmesi gerekmektedir (Ardelean vd., 2011). Bu yönden bakınca ortaya çıkan şu ki hatların mevcut taşıma kapasitelerini artırmak gerekmektedir (Riba vd., 2020). Bu varsayımlar altında iletken seçimine bakarsak iki opsiyon olduğu görülmektedir. Ya mevcut iletkenlerin aynı sıcaklık altında çalışabilen ve kesiti eşit veya daha küçük çaplı iletkenle değiştirmek ya da ikinci bir seçenek olarak düşük sehimli (Pierre ve Heydt, 2012), daha düşük genleşme katsayısına sahip (Ardelean vd., 2011; Kwon ve Hedman, 2015) yüksek sıcaklıklarda daha fazla akım altında çalışabilen iletkenlerle yani Yüksek Sıcaklık Düşük Sehimli (HTLS) iletkenlerle, mümkün olduğunca

hatlarda bulunan elemanları değiştirmeden (Albizu vd., 2011; Nuchprayoon ve Chaichana, 2017), mevcut iletkenleri değiştirmektir. İkinci seçeneğe baktığımızda görüyoruz ki HTLS iletkenler hattın akım taşıma kapasitesini ve verimliliğini artıracak iletkenler olarak görülmektedir (Beryozkina, 2019). Ayrıca geleneksel iletkenlere baktığımızda genellikle 75 °C altında çalışırken, tüm HTLS iletkenler en az 150 °C altında çalışmaktadır (Riba vd., 2020). Hatta belli bir süre altında herhangi elektriksel veya fiziksel/mekaniksel özelliklerde bir değişiklik olmadan 250 °C altında da çalışmaktadırlar (Riba vd., 2020). İkinci seçeneğin, birinci seçenektan daha avantajlı olmasının iki temel nedeninden birincisi, mevcut hatta olabildiğince az eleman değişimi yapılacak olması, ikincisi ise, daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla akım taşıma kapasitesine sahip olduğundan dolayıdır (Riba vd., 2020). Bu nedenle HTLS iletkenler, ülkemizde en çok tercih edilen Çelik Özlü Alüminyum (ACSR) (Akgöl vd., 2018) iletkenlerin yerini almak için büyük bir potansiyele sahiptir (Rahman vd., 2017). HTLS iletkenler gibi hattın güç iletme (aktarım) kapasitelerini artıran iki seçenek daha bulunmaktadır. Bunlar kompakt iletim hatları ve 6 fazlı sistemlerdir (Dave vd., 2012). Fakat bunları uygulamak için iletim hattında büyük değişiklikler yapmak gerekir ve bu da maliyet açısından uygun olmayabilir (Dave vd., 2012).

Bu makale, HTLS iletkenlerini tanıtarak, avantajlarını, dezavantajlarını, mevcut iletkenlerden farklarını, maliyet analizlerini ve aynı zamanda bu karşılaştırmaları yaparken uzun yıllardır kullanılan mevcut iletkenleri de tanıtmayı amaçlamaktadır.

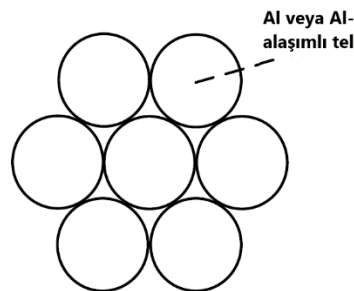
2. Havai İletim Hatlar İçin İletken Tipleri (Conductor Types for Overhead Transmission Lines)

Elektrik iletkenleri, güç sistemlerinin güvenilir ve verimli çalışmasını sağlarken (Nasuruddin vd., 2018), hattın akım taşıma kapasitesini büyük ölçüde belirlediğinden (Beryozkina, 2019), havai iletim hatlarında önemli rol oynamaktadır. Havai iletim ve dağıtım hatları için çıplak iletkenler, mekanik mukavemeti artırmak için genellikle çelik tellerle takviye edilen neredeyse saf alüminyum tellerden yapılmıştır (Riba vd., 2020). Konvansiyonel iletkenler, alüminyum iletkenler (AAC), tam alüminyum alaşımlı iletkenler (AAAC) ve çelik özlü alüminyum iletkenlerden (ACSR) oluşmaktadır (Milli Eğitim Bakanlığı[MEB], 2022).

2.1. Konvansiyonel İletkenler (Conventional Conductors)

Tam Alüminyum İletkenler (AAC), iletkenliği artırılmış, birbiri üstüne örgü biçimde sarılmış tamamı alüminyumdan oluşan iletkenler olarak tanımlanmaktadır. Bu iletkenlerin kullanım alanları genellikle yerleşim alanlarında, kısa direk aralıklarının bulunduğu enerji iletim hatlarında ve yüksek korozyon direncine sahip olmasından dolayı denizcilik sektöründe kullanılmaktadır (Milli Eğitim Bakanlığı[MEB], 2022).

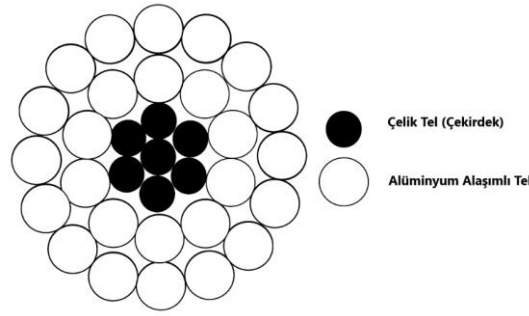
Tam Alüminyum Alaşımlı İletkenler (AAAC), alüminyum ve alüminyum alaşımlı teller içeren kompozit iletkenlerdir (IEEE Power and Energy Society, 2004). Bu iletkenin korozyon direnci, diğer konvansiyonel iletkenlerle karşılaştırıldığında korozyona karşı daha yüksek direnç göstermektedir. Ayrıca mekanik yönden incelendiğinde yüksek bir mekanik direnç gösterdiği ve ağırlık ve gergi oranının yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı enerji iletim ve dağıtım hatlarında tercih edilmektedirler (Milli Eğitim Bakanlığı[MEB], 2022; IEEE Power and Energy Society, 2004). Fakat içinde bulundurduğu alaşımdan kaynaklanan yüksek direnç nedeniyle, AAC iletkenlerinden daha yüksek güç kayıplarıyla karşı karşıya kalmaktadırlar (Mohtar vd., 2004). Şekil 1'de AAC ve AAAC iletkenlerinin enine kesiti görülmektedir.



Şekil 1. AAC ve AAAC iletkenlerinin enine kesiti (Cross-section of AAC and AAAC conductors) (Riba vd., 2020)

Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (ACSR), % 6-40 oranında değişen tek tel ya da örgülü çelik özler üzerine sarılmış alüminyum tellerden (1350-H19) (Riba vd., 2020) meydana gelmektedirler (Milli Eğitim Bakanlığı[MEB], 2022). Çelik özlü iletkenlerin akla ilk gelen özellikleri hammadde olarak alüminyum kullanılmasından dolayı ağırlığının az olması, gerilme kuvvetinin yüksek olması ve diğer konvansiyonel iletkenlere göre daha az dayanak (mesnet) noktası bulunması nedeniyle hat mesafesinin diğer iletkenlere göre daha uzun olmasıdır. Bu özellikler sayesinde iletim hatlarında kullanılan iletkenlerden dayanıklılık ve uzun mesafelere iletim isteniyorsa, bu iletken tercih

edilmektedir. Ayrıca ülkemizde en çok kullanılan iletken tipidir. (Karabay ve Şen, 2022). ACSR iletkenlerin enine kesiti Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. ACSR iletkeninin enine kesiti (Cross-section of ACSR conductors) (Riba vd., 2020)

Yukarıda olumlu özelliklerini saydığımız ACSR iletkenlerin olumsuz özelliklerine de bakmak gerekirse, iletkenlerin ortasında bulunan ve mukavemeti artıran galvanizli çelik teller, belli bir sıcaklıktan sonra genişerek uzamaya başlamakta ve bu uzama nedeniyle ek elektrik direnci oluşmaktadır. Bu da sıcaklığı artırmakta ve iletkeni aşırı ısıtarak güç kayıplarına neden olmakta ve daha fazla sehim oluşturmaktadır (Shivashankar, 2017). ACSR iletkenlerde sıcaklıktan dolayı oluşabilecek sorunları belli bir oranda sınırlamak için ya sehim sınırlandırılmakta ya da alüminyum şeritler tavlama işleminden geçirilerek sorunlar ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır (Exposito vd., 2007). Fakat iletkenlerin nominal çalışma sıcaklıkları aşıldığı durumlarda tavlama işleminden dolayı iletkenlerin kullanım ömrü dramatik bir şekilde düşmektedir (Exposito vd., 2007). Ayrıca, normal çalışma aralığı 70-90 °C arasında olan ACSR iletkenlerinin alüminyum telleri, sıcaklığın 90 °C'nin üstüne çıktığı durumlarda (Nogales vd., 2009; Albizu vd., 2010), tavlama işleminden dolayı daha yumuşak hale gelir ve bundan dolayı sarkma, ek elektrik direnci gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Shivashankar, 2017; IEEE Power and Energy Society, 2013; Hill ve Bryant, 2013). Bu sorunu önlemek için ACSR iletkenleri çalışması, 0,6 m/s rüzgâr hızının altında 75 °C ile sınırlandırılmıştır (Kopsidas, 2009). Bundan dolayı da akım taşıma kapasitesi olumsuz yönde etkilenmektedir (Nasuruddin vd., 2018). Ancak çelik öz/çekirdek 250 °C sıcaklığa maruz kalsa bile, çekme mukavemeti bu durumdan etkilenmemiştir (IEEE Power and Energy Society, 2013). Ayrıca yaklaşık 50-60 yıl kadar önce ACSR tipi iletkenler en önemli hat malzemeleri olarak tanınmaktaydı (Kenge vd., 2016). Ancak bu iletkenler kompozit yapıda olmalarından dolayı çevre etkilerine açık olmaları bir dezavantaj olarak görülmektedir. Bundan dolayı farklı malzemelerin (Alüminyum teller-çelik öz gibi) tek bir iletkeni oluşturan parçalar olması farklı iklim koşullarında galvanik korozyonu tetiklemesinden dolayı tercih edilmemekte ve yine korozyon nedeniyle kullanım ömürlerinin önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmektedir. Bu olumsuz özelliklere rağmen ACSR iletken kullanılmak istenirse, ekstra bir maliyetle galvanizli çelik tellerin üzerine gres yağı sürülerek ve belli bir kat PVC (Polivinil klorür) ile sararak korozyondan korunması sağlanmaktadır (Karabay ve Şen, 2022).

Havai hat iletkenlerin seçiminde pek çok faktör ele alınmaktadır. Dikkat edilmesi gereken en önemli faktör, iletkenlerin çalışacağı bölgenin coğrafi şartları ve hava koşullarıdır. Çünkü iletkenler seçileceği zaman, buz yükü haritasına bakılmakta, rüzgâr hızı dikkate alınmakta, etrafında bu iletkene etki edebilecek volkanik gaz ya da endüstriyel gaz var mı diye araştırılmaktadır. Ayrıca topraktan çıkan ve korozyon oluşturabilecek gaz var mı diye de kontrol edilmektedir. Bunlara ek olarak bölgenin yıl içinde hangi sıcaklık değerlerine ulaştığı ve denize yakın olup olmadığı da bakılan diğer etmenlerdir (Karabay ve Şen, 2022). Bu faktöre ek olarak, iletkenin kendi maliyeti ve tedarik maliyeti de seçim yaparken ele alınan etmenlerden birisidir (Yasaranga vd., 2017). Bir diğer faktör ise, ülkenin güvenlik prosedürleri ve iç pazarda iletken üreticilerinin kalkındırılmak istenmesi de iletken seçiminde öne çıkan hususlardandır (Karabay ve Şen, 2022).

Şehirleşmenin hızla arttığı bu yıllarda, enerji talebi de aynı oranda artmaktadır. Fakat bu enerjiyi sağlayacak altyapı aynı oranda artmamaktadır. Ayrıca aşırı şehirleşmeden dolayı da yeni bir hat kurmak neredeyse imkansız hale gelmiştir. Bu söylemler, nüfusları 10 milyonun üzerinde olan şehirleri için geçerlidir. Tüm bunlar ele alındığında, bu enerji taleplerini karşılamak için mevcut iletim hatlarının akım taşıma kapasitelerinin artması gerekmektedir. Bu ihtiyaçtan dolayı da “Yüksek Sıcaklık Düşük Sehimli” iletkenler (HTLS iletkenler) ortaya çıkmıştır (Karabay ve Şen, 2022).

2.2. HTLS İletkenler (HTLS Conductors)

HTLS iletkenler, sehim ve sınırlı akım taşıma kapasitesi sorunlarını çözmek için ortaya çıkan iletkenlerdir (Shivashankar, 2017). Bir havai hatta, 80 km'ye kadar olan kısa havai hatların güç taşıma kapasitesi nominal sıcaklıkla, 80 ila 300 km aralığında uzunluğu olan hatlar gerilim kararlılığıyla sınırlandırılabilirken, 300 km üzerinde olan hatlarda ise, durağan kararlılık durumu (steady-state stability) kritik bir faktör haline gelmektedir

(Dawson ve Knight, 2016). HTLS iletkenlerinin ACSR iletkenlerinden farklarına bakacak olursak, daha yüksek sıcaklıklar altında çalışabilmesi, daha iyi bir gerilme mukavemetine sahip olması ve daha düşük termal genişleme katsayısına sahip olması yani sehim ve iletkenin uzaması yönünden avantaj sağlaması ilk olarak akla gelenlerdir. Bunlara ek olarak, HTLS iletkenlerin, ACSR iletkenlerinin iki katı kadar akım taşıma kapasitesi bulunmaktadır (Exposito vd., 2007; Silva ve Bezerra, 2012; Misaghi ve Barforoushi, 2017). İki iletkeninde hemen hemen aynı empedans değerlerine sahip olduğu gözükmemekte ve HTLS iletkenlerin, çok yüksek sıcaklıklarda (210-250 °C) çalıştırıldığında elektrik dirençlerinin arttığı ve bu nedenle güç iletim kapasitesinin düştüğü gözükmemektedir (Exposito vd., 2007). Ayrıca HTLS iletkenlerin uzun iletim hatlarında yaşadığı gerilim düşüşü bu iletken açısından olumsuz bir özelliktir (Lauria ve Quaia, 2017). Bunlardan dolayı HTLS iletkenler, genellikle kısa iletim hatlarında tercih edilmesi daha doğru gözükmemektedir (Riba vd., 2020). Tüm bunları dikkate alarak, HTLS iletkenlerinin ana dezavantajlarına bakarsak, bunlar artan güç kayıpları nedeniyle oluşan yüksek işletme maliyetleri ve ayrıca iletken maliyetleri olduğu görülmektedir (Nuchprayoon ve Chaichana, 2018). Ek olarak, HTLS iletkenlerinin birçok avantajlarına rağmen hala yeni bir iletken ve zorlu çalışma koşulları altında ne gibi tepkiler göstereceğini veya doğal çalışma ortamlarında uzun süreli çalışmalarda ne gibi sorunlar çıkartabileceğini iletkenin tam olarak yaygınlaşmamasından dolayı yatırımcıların bir kısmı hala kullanımı konusunda tereddütler yaşamaktadır (Waters vd., 2017).

HTLS iletkenler genellikle karbon fiber kompozit öz ve trapez şeritli alüminyum teller adında iki ana bileşenden meydana gelirler. Burada trapez şeritli alüminyum teller bir saç örgüsüne benzerdir. Bu da alüminyum teller arasında boşluğu en aza indirerek aynı iletken çapına sahip konvansiyonel iletkenlerde (genellikle yuvarlak şeritli alüminyum tel kullanılır) bulunan alüminyum tel miktarından daha fazla tel koymamızı sağlamaktadır (Kıstı, 2016; Nasuruddin vd., 2018) ve bu da iletilen akım miktarını artıran unsurdur (Shivashankar, 2017). Bunlara ek olarak, alüminyum telleri trapez şekline getirdiğimiz de yuvarlak şekilde olduğu gibi mekanik olarak ayrı ayrı çalışmazlar ve bundan dolayı teller arasında mekanik aşınma olabildiğince azalmaktadır (Kıstı, 2016). Ayrıca trapez şeritli alüminyum teller, alüminyum alaşımdan daha yumuşak olmasına rağmen, elektrik iletkenliği yüksek tavllanmış 1350-O tipi alüminyumdan meydana gelmekte ve bu da iletkeni elektrik gücünü iletmede daha verimli hale getirmektedir (Nasuruddin vd., 2018). Yeni tip iletkenlerde kullanılan tavllanmış alüminyum teller, eski tip iletkenlerde kullanılan alüminyum tellerle aynı kimyasal bileşime ve daha az çekme mukavemetine sahip olmasına rağmen, elektriksel ve mekaniksel bir kayıp olmadan 250 °C'nin üzerinde çalışmaya devam etmektedirler (Riba vd., 2020). HTLS iletkenlerinde kompozit öz, karbon fiber ve etrafında onu korozyondan koruyan ve çevreleyen fiberglas malzemeden, çekirdek ise birçok kompozit özün yan yana gelmesiyle oluşmaktadır. HTLS iletkenlerin çekirdeği, ACSR iletkeninin çelik malzemeden yapılmış çekirdeği ile karşılaştırıldığında, bize esneklik, daha düşük ağırlık, düşük genişleme katsayısı, korozyona karşı yüksek direnç, daha yüksek çekme kuvveti (Shivashankar, 2017) ve daha düşük sehim avantajları sağlamaktadırlar (Nasuruddin vd., 2018). Ayrıca bunlara ek olarak diğer bir karşılaştırma verisi de, HTLS iletkenler, nominal çalışma değerlerinin dışına çıktığında ve belli bir süre bu çalışma koşullarında çalıştığında kullanım ömürlerinde bir düşüş yaşanmamaktadır (Riba vd., 2020). Tüm bu farklara baktığımızda, HTLS iletkenlerin çekirdeğinin sağladığı mekanik avantaj bu iletkenler için olumlu özellikler göstermektedir (Nasuruddin vd., 2018). Birbirine yakın çap değerlerinde bulunan HTLS iletkenler ile ACSR iletkeninin, teknik özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. HTLS iletkenler ile ACSR iletkeninin teknik özellikleri (Mechanical and electrical characteristics of ACSR and HTLS conductors) (Yasaranga, 2015).

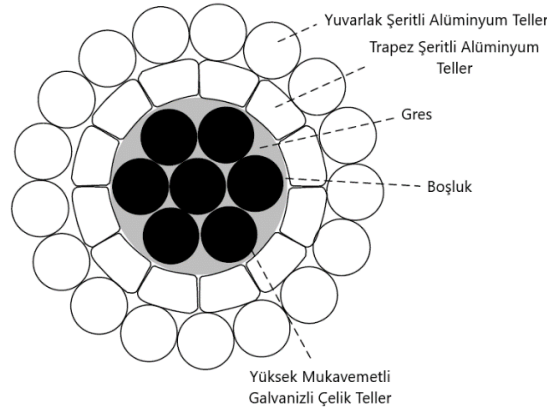
İletken Tipi		ACSR	G(Z)TACSR	(Z)TACIR	ACCC
İletken	Dış Kısmı	Sert Çekilmiş Alüminyum	Sert Çekilmiş Alüminyum	Tavlanmış Alüminyum	Tamamen Tavlanmış Alüminyum
		1350-H19	1350-H19	ZTAL	1350-0
	İç Kısmı	Çelik	Ekstra Kuvvetlendirilmiş Çelik	Alüminyum Kaplı Nikelli Çelik	Kompozit Öz
İletken Adı		Zebra	Drake	413-410	Drake
Çap	mm	28,62	27,8	28,5	28,14
Kesit Alanı	mm ²	484,5	469,5	413,4	519,7
Kopma Kuvveti	kN	131,9	149,2	130,4	183,3
Birim Ağırlık	kg/km	1,621	1,616	1,625	1,565
Öz (Core) Dayanma Sıcaklığı	°C	170	200	300	>300
Çekme Mukavemeti (ksi)	Alüminyum	23-25	23-25	24-27	6-14
	Öz	200-210	220	160-195	330-375
İletkenlik	%	61	60	60	63
Isıl Uzama Katsayısı (x10 ⁻⁶)	Alüminyum	23,04	23,04	23,04	23,04
	Öz	11,52	11,52	3,78	1609
Elastisite Modülü (MPa/100)	Alüminyum	427	517	466	480
	Öz	351	212	293	128
AC Direnç (75 °C)	Ω/km	0,0815	0,0878	0,0968	0,0662
Max. Çalışma Sıcaklığı	°C	75-85	150-210	210-230	180
Yüklenme Akımı	A	817	1503	1378	1600

HTLS iletkenlerin fiziksel özelliklerine baktığımızda, ACSR iletkenlerle çok benzer olduğu görülmektedir. İletkenle ilişkili hat üzerinde bulunan elemanlar/aksesuarlar değişiklik yapmadan kullanılabilir ama yine de yüksek sıcaklık uygulandığında ne gibi bir reaksiyon vereceği testlerle incelenmesi gerekmektedir (Beryozkina, 2019).

Günümüzde birçok HTLS iletken bulunmaktadır. Bu çalışmada, Isıya Dayanaklı Zirkonyum-Alüminyum Alaşımli İletken Çelik Takviyeli ((Z)TACSR), "Gap" tipi Isıya Dayanaklı Zirkonyum-Alüminyum Alaşımli İletken Çelik Takviyeli (G(Z)TACSR), Isıya Dayanaklı Zirkonyum-Alüminyum Alaşımli İletken Nikelli Çelik Takviyeli ((Z)TACIR), Tavlanmış Alüminyum İletken Çelik Takviyeli (ACSS/ACSS(TW)), Alüminyum İletken Kompozit Takviyeli (ACCR) ve Alüminyum İletken Kompozit Özlü (ACCC) adlı iletkenler ele alınmıştır (Riba vd., 2020).

ACSR iletkenleriyle aynı yapıya sahip olan (Riba vd., 2020) (Z)TACSR iletkenleri, çekirdekte galvanizli çelik tellere ve çekirdeğin üstünde ise, Isıya Dayanaklı Zirkonyum-Alüminyum Alaşımli Teller ((Z)TAL) olarak da bilinen ısıya dayanıklı alüminyum-zirkonyum alaşımli tellere sahiptir. Isıya dayanıklı olduğunu iletkenlerin adlarının içinde T harfi bulunmasından da anlayabilmekteyiz (Karabay ve Şen, 2022). Hem Isıya Dayanaklı Alüminyum Alaşımli Teller (TAL) hem de (Z)TAL telleri, ACSR iletkenlerde kullanılan alüminyum tellerle hemen hemen aynı mukavemet ve iletkenliğe sahiptir. Ayrıca her ikisi de, birbirine yakın termal uzama performansları sundukları için sehim konusunda dezavantajlı gözükmemektedirler (Riba vd., 2020). Teknik özellikleri göz önüne aldığımızda ACSR iletkenleri 70-90 °C aralığında çalışırken, (Z)TACSR iletkeni 150-200 °C aralığında çalışabilmektedir. Ayrıca (Z)TACSR iletkeni, akım taşıma kapasitesi, konvansiyonel ACSR iletkenine göre iki kat daha fazladır. Bu iki veriye ve yukarıdaki mekaniksel değerlendirmelere baktığımızda görülüyor ki, eğer sehim problemi yaşanmayacak ve iki kat daha fazla akım taşınacaksa konvansiyonel iletkenlerin yerini alması hem işçilik hem de maliyet açısından avantajlı olacaktır (Karabay ve Şen, 2022).

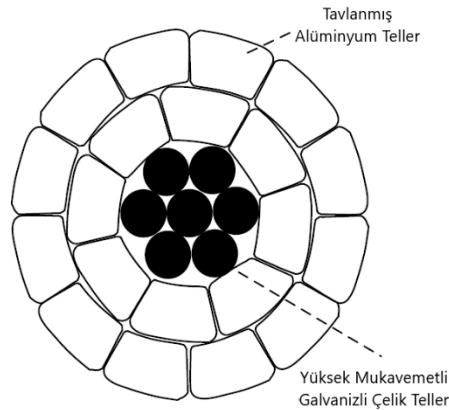
G(Z)TACSR iletkenler, çelik teller arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek için ısıya dayanıklı gres ile doldurulmuştur. İletkenin adında bulunan G harfi ise gap yani boşluk anlamına gelmektedir. Trapez şeritli alüminyum şeritler ile çelik teller arasında da boşluklar bulunmaktadır. Bu iletkenlerde sehim olayı azdır ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilen iletkenlerdir (Riba vd., 2020). G(Z)TACSR iletkenlerin enine kesiti Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. G(Z)TACSR iletkeninin enine kesiti (Cross-section of G(Z)TACSR conductors) (Riba vd., 2020)

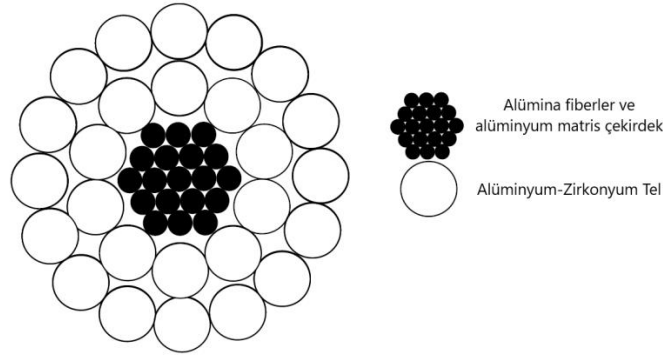
(Z)TACIR iletkeni ise hemen hemen ACSR iletkenleriyle aynı özelliklere sahiptir. İkisinin arasında farklar kaplama tabakası olarak çinko kullanarak alüminyum-zirkonyum alaşımı ile çelik teller (alüminyum kaplı Invar alaşımı (CTE'si azaltılmış demir-nikel alaşımı)) arasındaki korozyonu önlemeye çalışmaktadır (Riba vd., 2020).

ACSS ve Trapez Telli ACSS iletkenlerinin çekirdekleri, galvanizli, alüminize edilmiş veya zincaluminum Mischmetal kaplamalı (çinko alaşımı—%5 alüminyum kaplama) (IEEE Power and Energy Society, 2013) yüksek mukavemet sağlayan bir çekirdektir. Bu çekirdeğin üstünde ise tavllanmış 1350-0 alüminyum teller bulunmaktadır (Riba vd., 2020). Alüminyum iletkenler hiç beklenmedik bir anda sorun çıkarabilirler. Bu sorunlardan bir tanesi ise, rüzgârın yaptığı titreşimlerden dolayı alüminyum tellerde oluşan yorgunluktur. Diğer bir sorun ise, aşırı yüklenmenin olduğu zamanlarda oluşan aşırı iletken sıcaklıklarıdır. Bu sorunlarla baş etmede ACSS iletkenlerin kendine has özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca bu avantajları elde etmesinde alüminyum tellerin tavlama işlemi görmüş olmasından dolayıdır. Ayrıca ACSS iletkenlerin sürekli çalışma sıcaklığı 200 °C civarındadır. Fakat çekirdek alüminize edildiği zaman ise, bu sıcaklık 260 °C'lere kadar çıkmaktadır (Domínguez vd., 2014; Thrash, 2001). ACSS iletkeninin enine kesiti Şekil 4'de verilmiştir.



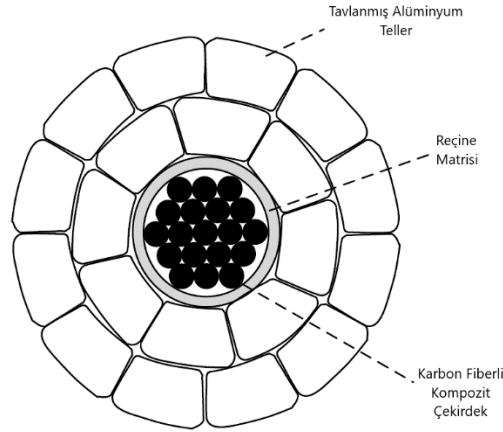
Şekil 4. ACSS/TW iletkeninin enine kesiti (Cross-section of ACSS/TW conductors) (Riba vd., 2020)

ACCR iletkenleri (Shivashankar, 2017), kompozit bir çekirdek (alümina fiberler ve alüminyum matris çekirdek) ve yüksek elektriksel iletkenliğe sahip (Z)TAL telleri içermektedir (Riba vd., 2020). Bundan dolayı yüksek sıcaklıklarda düşük sehim ve yüksek bir akım kapasitesi göstermektedirler (Riba vd., 2020). ACCR iletkenleri, nominal çalışma sıcaklığı 210 °C olup (Albizu vd., 2005; Rahman vd., 2017), acil durumlarda 240 °C'ye kadar çıkmaktadırlar (Domínguez vd., 2014). ACCR iletkenlerinin enine kesiti Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. ACCR iletkeninin enine kesiti (Cross-section of ACCR conductors) (Riba vd., 2020)

ACCC iletkenler, sertleştirilmiş bir polimer reçine matrisine gömülü cam ve karbon fiberden yapılmış yüksek mukavemetli kompozit bir çekirdeğe sahiptir. Ortasında bulunan karbon fiber çekirdeği, esnekliği artırmak ve galvanik korozyonu önlemek için cam fiberlerle çevrelenmiştir. ACCC iletkenlerde karbon fiber özün bulunmasından dolayı iletken düşük termal uzama katsayısına sahip olmaktadır. Bu da yüksek sıcaklıklarda sarkmayı sınırlandırırken aynı zamanda buz yükü ve şiddetli rüzgâr var olduğunda bu koşullara da kolayca dayanıklılık gösterebilmektedir (Riba vd., 2020). Ayrıca ACCC iletkenlerin çekirdeği de tavllanmış trapezoidal alüminyum tellerle çevrelenmiştir. ACCC iletkenler, konvansiyonel iletkenlere göre akım taşıma kapasitesi ve güç kaybı değerlerine baktığımızda daha avantajlı olduğu görülmektedir (Shivashankar, 2017). ACCC iletkenlerde kullanılan alüminyum teller, ACSR iletkenlerinde kullanılanlara göre daha yumuşak ve daha iletkendir. Mekanik yönden bu dezavantajı absorbe etmek için çekirdek devreye girerek aradaki farkı kapatmaktadır. ACCC iletkenlerinin çalışma sıcaklığı 180-200 °C aralığındadır (Rahman vd., 2017). ACCC iletkenlerin enine kesiti Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. ACCC iletkeninin enine kesiti (Cross-section of ACCC conductors) (Riba vd., 2020)

3. Maliyet Karşılaştırması (Cost Comparison)

İletim hatlarına yapılan yatırımlar yüklü bir sermaye gerektirmektedir. Yaklaşık 40 yıllık faydalı ömürleri olduğundan dolayı (Kamboj ve Dahiya, 2011), yatırım kararlarının güç sistemi üzerinde uzun vadeli bir etkisi bulunmaktadır (Lumbreras ve Ramos, 2016). Varlık (faydalı) ömrü, yük büyüme tahmini, gelecek öngörülleri, sermaye değeri, maliyet-fayda analizi vb. faktörlerin iletim hatlarının kurulmasında önemli etkileri bulunmaktadır (Riba vd., 2020). Bunlara ek olarak, iletken tipi seçimi de önemli bir faktördür. Çalışmanın devamında da görüleceği gibi, mevcut iletkenlerin yerini, HTLS iletkenlerin alması yatırım maliyetinde kâr sağladığı (Misaghi ve Barforoushi, 2017) gibi yatırım süresini de azaltmaktadır (Domínguez vd., 2014).

Mevcut iletim hatlarının HTLS iletkenlerle değiştirilmesi, özellikle de tam kapasite altında çalışırken daha iyi iletim kapasitesi ve daha düşük iletim kayıpları sunabildiklerinden dolayı işletme maliyetlerini düşürürler (Nasuruddin vd., 2018). Ayrıca mevcut iletkenlerin yerini almaya aday olan bu iletkenler, mevcudun yerine geçeceği için yeni hat inşa edilmesi gerekmemektedir (Domínguez vd., 2014). Direklere ve iletkenlere uygun arazi arayışına (Favuzza vd., 2015), uzun inşaat sürelerine ve işçilik maliyetlerinin düşünülmesine gerek olmadığından dolayı maliyete büyük oranda katkıda bulunmaktadır (Nasuruddin vd., 2018). Fakat HTLS iletkenleri, ACSR iletkenlerine göre daha yüksek maliyetli (yaklaşık 2-3 katıdır) iletkenlerdir ve bu da yatırım açısından soru işareti

bırakan bir unsurdur (Tokombayev ve Heydt, 2015). Hatta HTLS iletkenlerinin satın alma maliyeti, iletim hattı için gereken sermaye yatırımının %30'unu oluşturmaktadır (Akgöl vd., 2018; Lauria ve Quaiia, 2017). Ayrıca HTLS iletkenler, yüksek sıcaklıkta çalışmasından dolayı artan güç kayıpları ve uzun iletim hatlarında kullanıldığında yaşanan gerilim düşüşleri nedeniyle kısa iletim hatlarında tercih edilmektedir (Lauria ve Quaiia, 2017). Ancak Kuzey Amerika'da da uygulandığı gibi, HTLS iletkenler, nominal çalışma sıcaklığını aşmadan çalışmaya devam ederlerse, güç kayıpları, ampasite değeri pik yaptığında ortaya çıkan güç kaybı değerleri gibi olmayacaktır. Bundan dolayı iletkenlerden geçecek akımın ve iletken sıcaklığının maksimum çalışma sınır değerleri sadece acil durumlarda kullanılacak ve güç kayıplarından dolayı oluşan ek maliyetleri de minimuma indirmiş olacaktır (Tokombayev ve Heydt, 2015).

ACSR iletken maliyetini (kurulum ve aksesuarlar/elemanlar dahil) baz alarak HTLS iletkenlerinin maliyetlerini gösteren değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. ACSR iletkeni baz alınarak HTLS iletkenlerinin maliyeti (Relative costs of ACSR conductors with respect to HTLS conductors) (Riba vd., 2020; Domínguez vd., 2014; Mateescu vd., 2011)

İletken Tipi	ACSR	ACSS	G(Z)TACSR	(Z)TACIR	ACCC	ACCR
Maliyet Çarpanı	1,0	1,1-1,5	2	3,5	5-7	10

ACSR iletkenine göre HTLS iletken maliyetleri incelendiğinde, en düşük iletken maliyeti ACSS iletkeninde, en yüksek iletken maliyeti ise ACCR iletkeninde oluşmaktadır.

230 kV gerilim altında, 11,5 km uzunluğunda tek demet, çift devre ve ACSR iletkenlerinin var olduğu iletim hattının akım taşıma kapasitesi iki katına çıkarılmak istenmektedir. İlk aşamada iki tane plan akla gelmektedir. İlk akla gelen plan, mevcut direkleri değiştirerek ve çift demetli hale getirerek, ACSR iletkenlerini kullanmaya devam etmektir. İkinci plan ise, ufak değişiklikler yaparak, mevcut direkleri ve HTLS iletkenleri (ZTACIR, GTACSR, ACSS, ACCR ve ACCC) kullanarak akım iki katına çıkarılabilmektedir. Bunun için maliyet analizi yapılırsa, ilk plana göre hareket edilirse, mevcut durumda direklerin yıkım, yapım ve kurulum maliyetleri toplam maliyetlerin %25 ile %33 aralığında olduğu görülürken, ikinci plana göre hareket edilirse, bu maliyetlerin yüzdesi toplam maliyetlerin %1 ile %2'sini oluşturduğundan ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Yine ilk plana baktığımızda ACSR iletkenlerinin iletken maliyeti %9 iken, ikinci planda HTLS iletkenlerinin iletken maliyeti %5,3 ile %12,5 aralığında değişmektedir. Güç kayıplarından dolayı oluşan maliyetlere baktığımızda, ACSR iletkenlerinin %67,4 iken, HTLS iletkenlerinin maliyetleri ise, %86,4 ile %93,5 aralığında değişmektedir. Bu verilerden de anlaşılacağı gibi, güç kayıplarından oluşan maliyet en önemli maliyet olarak gözükmektedir (Nuchprayoon ve Chaichana, 2018). Tablo 3'de bu maliyetler verilmiştir.

Tablo 3. İletken tipine göre maliyet oranları (Relative costs of types of conductors) (Riba vd., 2020; Nuchprayoon ve Chaichana, 2018)

		Maliyet Yüzdesi (%)			
		Yıkım	Yapım+Kurulum	İletken	Güç Kayıpları
İletken Tipi	ACSR	%1,1	%22,5	%9	%67,4
	HTLS (5 Tip)	%0,4-0,7	%0,7-1,2	%5,3-12,5	%86,4-93,5

Portekiz'de gerçekleştirilen çalışmada, talep artışı ve N-1 analizi için 3 tane proje ele alınarak ACSR ve ACCC iletkenleri arasında maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda mevcut sistemlerin ACSR yerine ACCC iletkenleriyle değişmesi yatırım ve işletme maliyetleri açısından %16,3 ile %43,8 avantaj sağladığı görülmektedir (Moreira ve Lopes, 2017).

İrlanda'da gerçekleştirilen çalışmada, 25 yıl boyunca 85 km uzunluğa sahip 220 kV'lik bir hat ele alınmıştır. ACSR iletkenlerinin yerini HTLS iletkenleri alırsa ne gibi sonuçlar elde edilebileceği araştırılmış ve şu sonuçlara varılmıştır. HTLS iletkenlerinin kullanılmasının maliyet yönünden %60 daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada kullanılan HTLS iletkenleri ele alırken, güç kayıplarından dolayı oluşan maliyetlerin, iletkeni satın alırken ve kurulumdan dolayı oluşan maliyet arasında farklılık göstermediği görülmüştür. ACSR iletkenler incelendiğinde bu aradaki fark 1,3 ile 6 kat arasında değiştiği gözlemlenmiştir (Kavanagh ve Armstrong, 2010).

Sri Lanka'da gerçekleştirilen çalışmada, Zebra ACSR iletkeni ile HTLS iletkenleri (GAP, ZTACIR)'nin 30 yıl aynı şartlarda kullanılırsa maliyet karşılaştırmasının nasıl olabileceğine dair bir çalışma yapılmıştır. Burada iletim hattı maksimum 600 A çeken 50 km uzunluğundaki çift devre bir hattır. ZTACIR iletkeni, ilk yatırımı en pahalı olmasına

rağmen, güç kayıpları ve CO₂ emisyonlarından oluşan maliyetler neredeyse hiç yokken ve her yıl ekstra tasarruf sağladığından dolayı 30 senelik sürede çok avantajlı olduğunu kanıtlamıştır. Fakat burada işletme, bakım, yapım ve kurulum maliyetleri ele alınmamıştır (Yasaranga vd., 2017).

Bir başka çalışmada maksimum 1 kA kapasiteli, %53 yük oranına ve 230 kV gerilime sahip 100 km'lik deneysel bir iletim hattı var olduğu düşünülmeye istenmektedir. Burada konvansiyonel iletken olarak ACSR (Drake) iletkeni kullanılmaktadır. Bu mevcut iletim hattı kapasitesi maksimum 1,6 kA kapasiteye çıkarılmaya istenmektedir. Mevcut iletkenin yerini ACCC iletken aldığı hat kayıplarının yaklaşık 73 MWh/yıl azaldığı görülmüştür. Ayrıca 28,8 milyon\$/yıl üretimden tasarruf sağlanmıştır (Hill ve Bryant, 2013).

Diğer bir çalışmada, altı iletim hattını nominal çalışma sıcaklıklarının üstünde bir sıcaklığa maruz bırakarak, işletme maliyetlerine ve yatırımın geri ödeme sürelerine ilişkin bir etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. İncelemeye bakıldığında geri ödeme süresi 7 ile 31,5 yıl arasında değişmektedir. Sıcaklık ve yük arttığında işletme maliyetlerinde düşüş ve daha kısa geri ödeme süreleri olması beklenmektedir (Tokombayev ve Heydt, 2015).

Konvansiyonel ACSR iletken ile ACCC iletkenin güç kayıpları yönünden incelendiği çalışmada, iletkenler iki aşamada ele alınmıştır. İlk aşama için, her iki iletkende kendi nominal sıcaklık değerlerinde devreye alınmış ve ACCC iletkenin güç kaybı ACSR iletkenin güç kaybından %25 daha az olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci aşama için ise, her iki iletkende çalışabilecekleri maksimum akım ve sıcaklıkta devreye alınmış (ACCC için 210 °C (2114 A), ACSR için 85 °C (902 A)) ve ACCC iletkenin güç kaybı, ACSR iletkeninden %450 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Kumar ve Rahangdale, 2018).

Örnek çalışmalar incelendiğinde, iletkenin üzerinden geçen akım arttıkça, daha yüksek çalışma sıcaklığı ve elektrik direnci ortaya çıkmakta (Tokombayev ve Heydt, 2013) ve güç kayıpları da akımın karesine bağlı olduğundan dolayı (Tokombayev ve Heydt, 2015) önemli ölçüde artmaktadır. Fakat iletim hattı düşük yük faktörleriyle çalıştığında, HTLS iletkenlerindeki güç kayıpları ACSR iletkenlerine kıyasla daha da azaltılabilir. Bu nedenlerden dolayı, güç kayıplarını ve buna bağlı oluşabilecek maliyetleri sınırlandırmak için, iletkenlerin nominal çalışma sıcaklıkları geçilmemelidir. Ayrıca güç kayıplarından dolayı oluşan maliyetler, bütün maliyetler (yıkım, inşaat, kurulum, iletken, güç kayıpları ve arazi maliyetleri) arasında en önemlisidir. Bir önceki paragrafta da açıkça görüldüğü gibi nominal değerlerin dışına çıktığı zaman güç kayıpları fazlasıyla artmakta ve emniyet marjı kalmamaktadır. Bundan dolayı, iletkenlerin üzerinden yüksek akımlar çekmek yerine nominal akım taşıma kapasitesi altında çalıştırarak, acil durumlarda ekstra akım taşınabilecek bir marj bırakılması esneklik yaratacaktır. Yine daha önce de bahsedildiği gibi Kuzey Amerika'daki uygulama bu konu hakkında en iyi örnektir (Nuchprayoon ve Chaichana, 2017; Tokombayev ve Heydt, 2015). Güç kayıplarından dolayı ortaya çıkan maliyet önemli olmakla beraber yatırımcının diğer maliyet kalemlerini de dikkate alması gerekmektedir (Barthold vd., 2008).

Yenilenebilir enerji kaynakları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Fakat şebekelere entegrelerinde sorunlar çıkmakta ve bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının, sisteme katkı verememesini ve olası maliyet düşüşlerini engellemektedir. Kısaca bu sorunlardan bahsetmek gerekirse, yenilenebilir enerjinin dağıtım sistemine entegre olurken bu sırada yük akışı, kısa devre ve koruma koordinasyon yapısının değişmesi gerekmekte ve bu değişimden dolayı enerji sistemlerinde önemli miktarda gerilim ve güç dalgalanmaları yaşanmakta ve adalasma meydana geldiği zamanda frekans ve gerilimde önemli miktarda değişimler gözlenmektedir (Çetinkaya, 2014). Ayrıca bu sorunlarla ilgili olarak yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunda üretilen pik değerler sistem açısından sıkıntı oluşturabileceği düşünülürse, bu enerji kaynağı sisteme sokulmayabilir. Sisteme entegre edilmemesinin diğer bir nedeni olarak da konvansiyonel iletkenin kullanıldığı ve maksimum çekeceği akımın veya nominal çalışma sıcaklığın aşılabileceği durumlarda bu iletkenlerin kullanım ömürlerini olumsuz yönde etkilediği için sisteme dahil edilmeyebilirler. Yine bu sorunları çözmek adına HTLS iletkenleri mevcut iletkenlerin yerini alarak sıcaklık ve akım değerlerini yükselterek şebekeye entegrasyonları sağlanabilmektedir. Özetle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerji, mevcut havai hatlarla taşınmaktadır (Ippolito vd., 2018). Fakat daha önce de bahsedilen sorunlardan dolayı, eğer ki sorun iletkenin kapasitesiyle ilgili bir sorun ise, HTLS iletkenleriyle bu sorun kolayca çözülebilmektedir (Favuzza vd., 2015). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan sorunlar çözülebilirse, elektrik fiyatlarında düşüş ve talebi karşılamadaki esneklik payı elektrik piyasası için olumlu özellikler getirmesi öngörülmektedir (Riba vd., 2020).

Yeni hat inşasının birçok nedenden dolayı uzun yıllar sürebileceği gözlemlenmektedir. Yapılan maliyet analizlerine bakıldığında görülmüyor ki, tüm güç kayıplarına rağmen HTLS iletkenlerinin iyi bir alternatif oluşturacağı gözlenmektedir. Ayrıca doğru bir plan ve nominal çalışma aralıklarına dikkat edilirse güç kayıplarından dolayı oluşan maliyetlerinde bir nebze kontrol altına alınabileceği görülmektedir (Gorur vd. 2014).

Enerji tüketicileri, mevcut sistemlerde enerji kesintisi olmadan, düşük maliyetli elektrik kullanmak, elektrik üreticileri ve dağıtıcıları da kurdukları hatların uzun süreli ve düşük işletme maliyetiyle, birim enerji fiyatlarının düşük olmasını sağlamaya ve kârlarını artırmaya çalışmaktadırlar. Bundan dolayı kullanım ömrü dolan ya da sistemin gerekliliklerini artık karşılayamayan iletkenlerin değişmesi, enerji üretim yerlerinin iletim hattına yakın olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu ve iyi bir iletim altyapısı enerji maliyetlerini düşürme de büyük önem taşımaktadır (Gorur vd. 2014).

4. Sonuç (Result)

Bu çalışmada, mevcut havai iletim hatlarının, mevcut taşıma kapasitelerini HTLS iletkenlerle artırılıp artırılamayacağına ve bunun maliyet analizinin nasıl olacağına dair kapsamlı literatür taraması sunulmuştur. Konvansiyonel ACSR iletkenleri yerine HTLS iletkenlerinin kullanılmasının avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Düşük termal uzama katsayısından dolayı düşük sehim ve düşük elektrik direnci olması, iyi bir gerilme kuvveti sunması ve akım taşıma kapasitesinin daha yüksek olması avantajları arasında sıralanabilir. Yüksek iletken maliyetleri ve artan güç kayıpları ve bu kayıplardan dolayı oluşan işletme maliyetleri dezavantajları arasında yer almaktadır. İletkenleri, nominal çalışma sıcaklığının altında çalıştırarak bu dezavantajların bir bölümü giderilebilir.

Maliyet bakımından incelendiğinde, HTLS iletkenlerinin talep artışından dolayı ortaya çıkan mevcut iletkenlerin yetersizliğini çözmek adına önemli bir alternatif olduğu, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil edilmesinde yarar sağladığı, üretimin pik yaptığı zamanlarda yüksek akım taşıma kapasitesinden dolayı sistemi rahatlattığı, düşük yük faktörlerinde düşük güç kayıplarının olduğu ve yeni bir hat inşası sorununa çözüm olabileceğini göstermektedir. Tüm bunlarda yıkım, inşaat, kurulum, iletken, güç kayıpları, arazi ve işletme maliyetleri konusunda HTLS iletkeninin tipine (ACSS mi ACCC mi vs.) göre yararlar sağladığı, bir yatırım yapılacağı zaman HTLS iletkeninin tipine göre ekonomik analiz yapılması gerektiği gözlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde yürütülmekte olan “Yüksek Gerilim Enerji İletim Hatlarında Yüksek Sıcaklık Düşük Sehimli İletkenin Kullanımı” başlıklı lisansüstü tezi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akgöl, O., Kıstı, E.A., Karaaslan, M., Ünal, E., 2018. Kompozit Özlü Alüminyum İletkenlerin (ACCC) üretilmesi ve iletkenliğinin yükseltilmesi için yapılan çalışmalar. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9(2), 657-669.
- Albizu, I., Fernandez, E., Mazon, A.J., Bedialauneta, M., Sagastabeitia, K., 2011. Overhead conductor monitoring system for the evaluation of the low sag behavior. In 2011 IEEE Trondheim PowerTech, 1-6.
- Albizu, I., Mazón, A.J., Valverde, V., Buigues, G., 2010. Aspects to take into account in the application of mechanical calculation to high-temperature low-sag conductors. IET generation, transmission & distribution, 4(5), 631-640.
- Albizu, I., Mazon, A.J., Zamora, I., 2005. Methods for increasing the rating of overhead lines. In 2005 IEEE Russia Power Tech, 1-6.
- Arcia-Garibaldi, G., Cruz-Romero, P., Gómez-Expósito, A., 2018. Future power transmission: Visions, technologies and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94, 285-301.
- Ardelean, I., Oltean, M., Florea, G., Mateescu, E., Mărginean, D., Kilyeni, Ş., Bărbulescu, C., 2011. Case study on increasing the transport capacity of 220 kV DC OHL Iernut-Baia Mare by reconditioning using LM technologies. In 2011 IEEE PES 12th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance (ESMO), 1-7.
- Bağrıyanık, F.G., 2000. Enerji iletim sistemlerinde 3-faz-6-faz dönüşümlerinin iletim kapasitelerine etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Barrios, H., Schrief, A.B., Schnettler, A., 2017. A network reinforcement method based on bottleneck indicators. In 2017 IEEE Manchester PowerTech, 1-5.
- Barthold, L.O., Douglass, D.E., Woodford, D.A., 2008. Maximizing the capability of existing AC transmission lines. CIGRE, Session 2008, 2008, 1-8.
- Beryozkina, S., 2019. Evaluation study of potential use of advanced conductors in transmission line projects. Energies, 12(5), 822.

- British Petroleum[BP]. Statistical Review of World Energy 2021. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (Erişim Tarihi: 27.01.2022).
- Capelli, F., Riba, J.R., Gonzalez, D., 2016. Thermal behavior of energy-efficient substation connectors. In 2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), 104-109.
- Capelli, F., Riba, J.R., Sanllehi, J., 2017. Finite element analysis to predict temperature rise tests in high-capacity substation connectors. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(9), 2283-2291.
- CTC Global. Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors. https://ctc-media.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/20181218185439/Engineering_Transmission_Lines_with_ACCC_Conductor.pdf (Erişim Tarihi: 27.01.2022)
- Çetinkaya, H.B., 2014. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu. 2. Uluslararası İstanbul Akıllı Şebekeler Kongre ve Fuarı, 2014, 72-75.
- Dave, K., Mohan, N., Deng, X., Gorur, R., Olsen, R., 2012. Analyzing techniques for increasing power transfer in the electric grid. In 2012 North American Power Symposium (NAPS), 1-6.
- Dawson, L., Knight, A.M., 2016. Transmission line length, operating condition and rating regime. In 2016 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 1-6.
- Domínguez, A.H., Escobar, A., Gallego, R.A., 2014. Transmission expansion planning considering conductor proposals with different wire size and technology. In 2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA), 1-6.
- Exposito, A.G., Santos, J.R., Romero, P.C., 2007. Planning and operational issues arising from the widespread use of HTLS conductors. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(4), 1446-1455.
- Favuzza, S., Ippolito, M.G., Massaro, F., Paterno, G., Puccio, A., Filippone, G., 2015. A new approach to increase the integration of RES in a mediterranean island by using HTLS conductors. In 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 272-277.
- Filippone, G., Ippolito, M.G., Massaro, F., Puccio, A., 2014. On the roadmap to Supergrid in Sicily: LIDAR technology and HTLS conductors for uprating the 150 kV lines. In IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe, 1-5.
- Ghassemi, M., 2019. High surge impedance loading (HSIL) lines: A review identifying opportunities, challenges, and future research needs. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 34(5), 1909-1924.
- Gorur, R., Heydt, G.T., Hedman, K., Olsen, R., 2014. Making the economic case for innovative HTLS overhead conductors. PhD Thesis, Washington State University, Tempe, Arizona.
- Hill, T., Bryant, D., 2013. Experience and benefits of using high temperature low sag (HTLS) overhead conductors. In 24th AMEU Technical Convention, 2013, 1-5.
- IEEE Power and Energy Society. 1283-2013-IEEE guide for determining the effects of high-temperature operation on conductors, connectors, and accessories. 2013. New York.
- IEEE Power and Energy Society. IEEE guide to the installation of overhead transmission line conductors. IEEE Std 524-2003 (Revision of IEEE Std 524-1992) 2004, 1-141, 2004.
- Ippolito, M.G., Massaro, F., Cassaro, C., 2018. HTLS Conductors: A Way to Optimize RES Generation and to Improve the Competitiveness of the Electrical Market—A Case Study in Sicily. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2018(4), 1-10.
- Kamboj, S., Dahiya, R., 2011. Application of GPS for sag measurement of overhead power transmission line. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 3(3), 268-277.
- Karabay, S., Şen, A. Enerji nakil hatlarının ekonomik ömürlerinin tamamlanması safhasında kullanılacak yeni nesil havai hat iletkenleri ve malzemeleri. https://makinecim.com/bilgi_1046_enerji-nakil-hatlarinin-ekonomik-omurlerinin-tamamlanmasi-safhasinda-kullanilabilecek-yeni-nesil-havai-hat-iletkenleri-ve-malzemeleri (Erişim Tarihi: 27.01.2022)
- Karabay, S., Yılmaz, M., Zeren, M., 2003. AA-6101 alaşımının yüksek gerilim çıplak havai hatlarında AAAC iletkeni olarak kullanımı. *Metalurji Dergisi*, 132, 56-32.
- Karimi, S., Musilek, P., Knight, A.M., 2018. Dynamic thermal rating of transmission lines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 600-612.
- Kavanagh, T., Armstrong, O., 2010. An evaluation of High Temperature Low Sag conductors for uprating the 220kV transmission network in Ireland. In 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010, 1-5.
- Kenge, A.V., Dusane, S.V., Sarkar, J., 2016. Statistical analysis & comparison of HTLS conductor with conventional ACSR conductor. In 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) 2955-2959.
- Kıstı, E., 2016. Kompozit özlü alüminyum iletkenlerin (ACCC) üretilmesi ve iletkenliğinin yükseltilmesi için yapılan çalışmalar. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Kishore, T.S., Singal, S.K., 2014. Optimal economic planning of power transmission lines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 949-974.
- Kopsidas, K., 2009. Modelling thermal rating of arbitrary overhead line systems. PhD Thesis, The University of Manchester, United Kingdom.
- Kumar, M., Rahangdale, M.R., 2018. Comparative analysis of ACSR and HTLS conductor. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, 4(5), 29-35.
- Kwon, J., Hedman, K.W., 2015. Transmission expansion planning model considering conductor thermal dynamics and high temperature low sag conductors. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(15), 2311-2318.
- Lauria, D., Quaia, S., 2017. An investigation on line loadability increase with high temperature conductors. In 2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), 645-649.
- Lumbreras, S., Ramos, A., 2016. The new challenges to transmission expansion planning. Survey of recent practice and literature review. *Electric Power Systems Research*, 134, 19-29.

- Mateescu, E., Marginean, D., Florea, G., Gal, S.I.A., Matea, C., 2011. Reconductoring Using HTLS Conductors. Case study for a 220 kV double circuit transmission LINE in Romania. In 2011 IEEE PES 12th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance (ESMO), 1-7.
- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. Havai Enerji Hatları. https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Havai%20Enerji%20Hatları.pdf (Erişim Tarihi: 27.01.2022)
- Misaghi, F., Barforoushi, T., 2017. Evaluation of regulatory impacts on investments of distributed generation and upstream network under uncertainty: a new stochastic bi-level model. *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, 2017(1), 2744-2748.
- Mohtar, S.N., Jamal, N., Sulaiman, M., 2004. Analysis of all aluminum conductor (AAC) and all aluminum alloy conductor (AAAC). In 2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004. 100, 409-412.
- Moreira, L., Lopes, A., 2017. Use of high-temperature conductors in existing lines: economic and environmental benefits. *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, 2017(1), 481-486.
- Nasuruddin, N.B.A., Ariffin A.B., Ryuta, O., 2018. High temperature low sag (HTLS) overhead transmission line conductor. 22nd Conf Electr Power Sup Ind CEPSE, 1-8.
- Nogales, S.C., Miñana, J.A.L., Alonso, A., Comech, M.P., García-Gracia, M., Martín, E., 2009. HTLS and HVDC solutions for overhead lines uprating. In Proc. of the 11th Spanish Portuguese Conference on Electrical Engineering, 2009, 1-5.
- Nuchprayoon, S., Chaichana, A., 2017. Cost evaluation of current uprating of overhead transmission lines using ACSR and HTLS conductors. In 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (IEEEIC/I&CPS Europe), 1-5.
- Nuchprayoon, S., Chaichana, A., 2018. Performance comparison of using ACSR and HTLS conductors for current uprating of 230-kV overhead transmission lines. In 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (IEEEIC/I&CPS Europe), 1-5.
- Özal, T. Elektrifikasyon Planı ve Türkiye’de Elektrik Enerjisinin İstikbali Hakkında Düşünceler. https://www.emo.org.tr/ekler/403e002e8df6f9c_ek.pdf?dergi=410 (Erişim Tarihi: 27.01.2022).
- Pierre, B.J., Heydt, G.T., 2012. Increased ratings of overhead transmission circuits using HTLS and compact designs. In 2012 North American Power Symposium (NAPS), 1-6.
- Pirovano, G., Mazzarella, F., Posati, A., Piccinin, A., Scarietto, S., 2014. Creep behaviour of high temperature low sag conductors. *Cigré Sess*, 2014, 1-14.
- Rahman, S.A., Kopsidas, K., 2018. Impact of simplified convection model in overhead lines thermal rating calculation methods. In 2018 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 1-9.
- Rahman, S.S., Azeem, A., Ahammed, F., 2017. Selection of an appropriate waste-to-energy conversion technology for Dhaka City, Bangladesh. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(2), 99-104.
- Riba, J.R., Bogarra, S., Gómez-Pau, Á., Moreno-Eguilaz, M., 2020. Uprating of transmission lines by means of HTLS conductors for a sustainable growth: Challenges, opportunities, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 1103-1134.
- Saudeger, K., 2017. Enerji iletim hatlarında kullanılan direklerdeki gelişmeler. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Shivashankar, G.S., 2017. Overview of different overhead transmission line conductors. *Materials Today: Proceedings*, 4(10), 11318-11324.
- Silva, A.A.P., Bezerra, J.M.B., 2012. Applicability and limitations of ampacity models for HTLS conductors. *Electric Power Systems Research*, 93, 61-66.
- Thrash, F.R., 2001. ACSS/TW-An improved high temperature conductor for upgrading existing lines or new construction. In 2001 Power Engineering Society Summer Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 01CH37262), 1, 182-185.
- Tokombayev, A., Heydt, G.T., 2013. High temperature low sag (HTLS) technologies as upgrades for overhead transmission systems. In 2013 North American Power Symposium (NAPS), 1-6.
- Tokombayev, A., Heydt, G.T., 2015. High temperature low sag upgrades and payback for the economic operation improvement of power transmission systems. *Electric Power Components and Systems*, 43(3), 345-355.
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. Bulgaristan Enerji Sektörü. https://ticaret.gov.tr/data/5b8a43355c7495406a2276c0/2017_Bulgaristan_Enerji.pdf (Erişim Tarihi: 27.01.2022)
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi [TEİAŞ]. 2021-2030 Talep Tahmin Raporu. <https://webapi.teias.gov.tr/file/538d66ee-4d9e-4711-a29c-1e31dae54e8f?download> (Erişim Tarihi: 27.01.2022).
- Waters, D.H., Hoffman, J., Hakansson, E., Kumosa, M., 2017. Low-velocity impact to transmission line conductors. *International journal of impact engineering*, 106, 64-72.
- World Energy Outlook [WEO]. 2021 yılı raporu. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf> (Erişim Tarihi: 27.01.2022).
- Yasaranga, H.B.D., 2015. Techno economic analysis of the use of high temperature low sag (HTLS) conductors in the Sri Lanka’s transmission system. PhD Thesis, The University of Moratuwa, Sri Lanka.
- Yasaranga, H.B.D., Wijayapala, W.D.A.S., Hemapala, K.T.M.U., 2017. Techno economic analysis of the use of high temperature low sag (HTLS) conductors in the Sri Lanka’s transmission system. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 50(1).
- Zamora, I., Mazon, A.J., Eguia, P., Criado, R., Alonso, C., Iglesias, J., Saenz, J.R., 2001. High-temperature conductors: a solution in the uprating of overhead transmission lines. In 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No. 01EX502), 4, 6.
- Zheng, Y., Niu, S., Shang, Y., Shao, Z., Jian, L., 2019. Integrating plug-in electric vehicles into power grids: A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 424-439.