

YAYINCI
PUBLISHER



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 3 Eylül/September 2021



İmtiyaz Sahibi / Owner

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

Editörler / Editors

Gultekin OZDEMIR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Baş Editör / Editor-in-Chief)*
Erdal AYDEMİR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Editör Yrd. / Co-Editor)*
Turgay AYDOĞAN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Editör Yrd. / Co-Editor)*
Mehmet AVCAR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR (Editör Yrd. / Co-Editor)*
Ali AGCAL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Çağlayan BALKAYA, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Atilla BAYRAM, *Van Yuzuncu Yıl University, Van, TR*
Mehmet Ali BELEN, *Artvin Coruh University, Artvin, TR*
Habib GURBUZ, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Baris GUREL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Tahir Serkan IRMAK, *Kocaeli University, Kocaeli, TR*
Ayberk KAYA, *Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, TR*
Alper KUSCU, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Mehmet Onur OLGUN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Mehmet OZCELIK, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Savas OZUN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Yunus PAMUKOGLU, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Olçay POLAT, *Pamukkale University, Denizli, TR*
Fatih Ahmet ŞENEL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Hakan TONGAL, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Volkan UZ, *Izmir Institute of Technology, Izmir, TR*
Kerim YAPICI, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Demet YILMAZ, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*

Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Michael G. KAY, *North Carolina State University, USA*
Yun-Chia LIANG, *Yuan Ze University, Taoyuan, TW*
Ravi SANKAR, *University of South Florida, Florida, USA*
Alice E. SMITH, *Auburn University, Auburn, USA*
Bedri TUC, *Baskent University, Ankara, TR*
Erol TUTUMLUER, *University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA*
Fatma YALCINKAYA, *Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic*
Gerhard-Wilhelm WEBER, *Middle East Technical University, Ankara, TR*

Yayın Editörleri / Technical Editors

Ayşe BIYIKLI, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Mehmet KIR, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Elif Merve KUCUKONER, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Yasemin SIMSEK TURKER, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Sıla YAMAN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*

Dizin ve İndeksler / Abstracting & Indexing

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

Araştırma Makaleleri / *Research Articles*

<i>DENİM KUMAŞLARDA MATEMATİKSEL MODELLEME YARDIMIYLA YUMUŞAKLIĞIN OPTİMİZASYONU</i>	716 – 722
Belkis ZERVENT ÜNAL, Şadi KAHYA	
<i>PARTİKÜL MADDE, KARBON MONOKSİT VE KARBONDİOKSİT SEVİYELERİNİN İÇ VE DIŞ ORTAMLARDA DEĞİŞİMİ</i>	723 - 734
Sibel MENTEŞE, Osman ÇOTUKER	
<i>KETEN TOHUMU YAĞI VE YAĞSIZ SÜT TOZU İÇEREN EMÜLSİYONLARIN PÜSKÜRTEREK KURUTMA İLE ENKAPSÜLASYONU: YAĞ ORANI VE KURUTMA SICAKLIĞININ ETKİLERİ</i>	735 - 742
Kutlu ÇEVİK Hamza ALAŞALVAR Mustafa ÇAM Hasan YALÇIN	
<i>27 HAZİRAN 1998 ADANA (MW=6.2) DEPREMİNİN UZAK ALAN DALGA ŞEKİLLERİNDEN ELDE EDİLEN FAYLANMA PARAMETRELERİ</i>	743 - 757
Emrah BUDAKOĞLU Murat UTKUCU	
<i>COMPARISON OF DIFFERENT MODELING METHODS FOR PREDICTION OF PALLADIUM ADSORPTION ONTO WASTE ORANGE PEEL</i>	758 - 767
Aysun ÖZKAN Şahin IŞIK Zerrin GÜNKAYA Kemal ÖZKAN Mufide BANAR	
<i>TEKSTİL ATIKSUYUNDAN ASTRAZON BLACK BOYASININ GİDERİMİ: TAGUCHİ METODU İLE MODELLEME</i>	768 - 784
Elanur ADAR Filiz Nuran ACAR	
<i>POLİFOSFORİK ASİT (PPA) MODİFİYE BİTÜMÜN FİZİKSEL VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI</i>	785 - 795
İslam GOKALP	
<i>EFFECT OF GROUNDWATER LEVEL ON SITE RESPONSE BEHAVIOR OF A ONE-LAYERED LIQUEFIABLE SOIL</i>	796 - 808
Selçuk DEMİR	
<i>KOCAELİ İZMİT İLÇESİ'NDE PARTİKÜL MADDE (PM2.5) KONSANTRASYON SEVİYELERİ, MEKÂNSAL VE MEVSİMSSEL DEĞERLENDİRİLMESİ</i>	809 - 821
Süheyla ÖZTÜRK Deniz GERÇEK İsmail Talih GÜVEN Eftade GAGA Özlem ÖZDEN ÜZMEZ Mihriban CİVAN	
<i>TULUM PEYNİRİNDE STAPHYLOCOCCUS AUREUS YAYGINLIĞI VE ANTİBİYOTİK DİRENÇ PROFİLLERİNİN VE DİRENÇ GENLERİNİN BELİRLENMESİ</i>	822 - 832
Süheyla DEMİRSİKAN Yasin TUNCER	
<i>AN ARDUINO BASED EXPERIMENT TO PROVE AND TEACH MALUS' LAW</i>	833 - 842
Esra BİLAL ÖNDER Fatih ÖNDER Mehmet OĞUR	
<i>ZEYTİN YAPRAĞI EKSTRAKTI İÇEREN SOĞUK ÇAY ÜRETİMİ</i>	843 - 849
Elif Ece ARSLAN Gamze KARADEMİR Serap BERKTAŞ Mustafa ÇAM	
<i>FARKLI TAŞITLARDA KULLANILAN ÖN TAMPONLARIN DARBE EMİCİ ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI</i>	850 - 855
İbrahim YAVUZ Mustafa Çağdaş ERİK	
<i>1 KW GÜCÜNDE KABLOSUZ ENERJİ TRANSFER SİSTEMİ TASARIMI VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ</i>	856 - 865
Ali AĞÇAL Tuğba Halime DOĞAN	
<i>ANALYSIS OF SOCCER LEAGUE COMPETITION ALGORITHM FOR LOAD FREQUENCY CONTROL IN NONLINEAR INTERCONNECTED POWER SYSTEM</i>	866 - 879
Ahmet DOĞAN	
<i>SİSMİK KIRILMA VERİLERİNDE JEOFON MERKEZ FREKANSININ İLK VARIŞ ZAMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ</i>	880 - 893
Mustafa ŞENKAYA Hakan KARSLI	
<i>NİKEL OKSİT KATKI MADDESİNİN ASFALT BAĞLAYICININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE VE KARIŞIMIN STABİLİTESİNE ETKİLERİ</i>	894 – 899
Mustafa ÇALIŞICI	

<i>SERA ZİRAİ TOPRAĞINDA TOPLAM PESTİSİT SEVİYELERİ VE SERA ÖZELLİKLERİ İLE PESTİSİT SEVİYELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ</i>	900 - 910
Alper SERTTAŞ Tuğba AYAZ Sema YURDAKUL Güray DOĞAN Recep Kaya GÖKTAŞ Mihriban CİVAN	
<i>IDENTIFYING THE IMPROVEMENT POSSIBILITIES OF A FLUIDIZED BED BOILER WITH EXERGY ANALYSIS</i>	911 - 922
Mesut YAZICI Fatih Selim BAYRAKTAR Ramazan KÖSE	
<i>MORTEZ: MOBİL UYGULAMA DESTEKLİ ORTEZ SİSTEMİ TASARIMI</i>	923 - 930
Orhan GÜNDÜZ Cengiz TEPE Nurettin ŞENYER	
<i>RİNG İPLİK MAKİNESİNDE İĞ TİPİNİN ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ</i>	931 - 939
Erman COŞKUN Tuğrul OĞULATA	
<i>DENTAL SUPPLIER SELECTION WITH TOPSIS METHOD BY USING LP METHODOLOGY</i>	940 - 951
Babek ERDEBİLLİ (B.D.ROUYENDEGH) İlknur GÜNEŞLİ Seda ŞAHİN	
<i>KAYNAK İŞLEMLERİNDE ÇALIŞAN PERSONEL İÇİN REBA METODU İLE ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME: KRİYOJENİK TANK İMALATI SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA</i>	952 - 968
Semih KANSU Turgay PARLAK Ali Fuat GUNERİ	
<i>AKILLI KUMAŞ KONTROL MAKİNESİ İÇİN RAPORLAMA VE ALTYAPI İYİLEŞTİRME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ</i>	969 - 982
Cihat Okan ARIKAN	
<i>OPTİMİZE EDİLMİŞ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN SABİT VE MOBİL UYGULAMALARDA KULLANIMININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ</i>	983 - 991
Ali KEÇEBAŞ Barış GÜREL Bayram DEVLET	
<i>RÖLE YARDIMLI AŞAĞI YÖNLÜ NOMA SİSTEMLERİNİN BİLİŞSEL RADYO AĞLARDAKİ ERGODİK KAPASİTE ANALİZİ</i>	992 - 1002
Fatma BARDAK Mustafa NAMDAR Arif BAŞGÜMÜŞ	
<i>DESIGN OF A KNEE EXOSKELETON ASSISTING DURING WALKING, SIT-TO-STAND, AND STAIR ASCENDING</i>	1003 - 1014
M. Furkan BİLGİ Ramazan ÜNAL	
<i>DOLU ETKİSİNE MARUZ KALAN ÇELİK ÇATI PANELLERİNİN GÖÇÜK DİRENCİNİN İNCELENMESİ</i>	1015 - 1029
Mehmet Eren UZ Mohammad Dawood SIZAR	

Derleme Makaleler / Review Articles

<i>AKILLI TELEFON VERİLERİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK STRES TESPİTİ ÇALIŞMALARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</i>	1030 - 1038
Ensar Arif SAĞBAŞ Serdar KORUKOĞLU Serkan BALLI	
<i>VURGULU ELEKTRİK ALAN (PEF) TEKNİĞİNİN ÇİĞ SÜTTE MİKROBİYAL LİPAZ ENZİM AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI</i>	1039 - 1044
Nurullah Zekeriya AKAR	

Düzeltilme / Corrigendum

<i>YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE DOĞRULUK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</i>	1045 - 1047
Bekir AKSOY	



DENİM KUMAŞLARDA MATEMATİKSEL MODELLEME YARDIMIYLA YUMUŞAKLIĞIN OPTİMİZASYONU

Belkıs ZERVENT ÜNAL*, Şadi KAHYA

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

Anahtar Kelimeler	Öz
Denim, Yumuşaklık, Konfor, Optimizasyon.	Çalışma kapsamında, denim kumaşların yumuşaklık özelliğinin eniyilenmesinin hedeflendiği bir matematiksel model oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı konstrüksiyon özelliklerine sahip 27 adet denim kumaş numunesinin seçilmiş fiziksel ve performans/konfor özellikleri deneysel olarak tespit edilmiş ve elde edilen verilere regresyon analizi uygulanarak her bir özelliği matematiksel olarak ifade edecek eşitlikler oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen eşitlikler kısıt olarak kullanılarak denim kumaşlarda yumuşaklığın eniyilenmesinin amaçlandığı bir optimizasyon modeli geliştirilmiş ve optimum çözümü bulunmuştur.

OPTIMIZATION OF SOFTNESS PROPERTY OF DENIM FABRICS USING MATHEMATICAL MODELING

Keywords	Abstract
Denim, Softness, Comfort, Optimization.	In this study, a mathematical model for optimization softness property of denim fabrics was obtained. For this purpose, selected physical and comfort/performance properties of 27 denim fabric samples with different construction properties were experimentally determined. Mathematical equations for each property were created by applying regression analysis to the obtained data. These equations were used as constraint to develop a mathematical model for optimizing softness property of denim fabrics. Finally, optimum solution was determined.

Alıntı / Cite

Zervent Ünal, B., Kahya, Ş., (2021). Denim Kumaşlarda Matematiksel Modelleme Yardımıyla Yumuşaklığın Optimizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 716-722.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Zervent Ünal, 0000-0001-8591-2217
Ş. Kahya, 0000-0003-0291-4888

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.09.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Denim kumaşlar, 15. yüzyılda ilk kez Fransa'nın Nimes ve İtalya'nın Cenova kentlerinde iş giysisi olarak dokunmaya başlamıştır. Çözümlü ipliklerinin boyanıp, atkı ipliklerinin boyanmaması denim kumaşının en temel özelliğidir. Geçmiş yıllarda sadece dayanıklı olması nedeniyle tercih edilen denim kumaş, günümüzde tüketicilerin en çok rağbet ettiği kumaş türlerinin başında gelmektedir. Denim kumaşın bütün dünyada yaygın olarak kullanılması sebebiyle, küresel pazarda var olmak isteyen tekstil firmaları denim kumaş üretimine başlamıştır (Köle, 2016).

Türkiye, özellikle 1980'lerin başından itibaren bir tekstil ülkesi olarak nitelendirilmiştir. Ekonomik ve kaliteli ürün arayışı içerisindeki birçok uluslararası hazır giyim kuruluşu, Türkiye'yi tercih etmektedir. İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri'nin 2018 tarihli Denim Raporu'na göre, 2016 yılı Dünya denim kumaş ihracatında en büyük paya sahip ülkeler; %38,3 ile Çin, %10,7 ile Pakistan, %9,8 ile Hong Kong ve %8,6 ile Türkiye'dir. 2017 Ocak-Kasım döneminde (değer bazında) Avrupa Birliği'nin en fazla denim kumaş ithal ettiği ülkeler arasında ise Türkiye %30,4'lük pay ile birinci sıradadır (www.ithib.com, 2019). Uludağ İhracatçı Birlikleri'nin 2019 tarihli

* İlgili yazar / Corresponding author: belzer@cu.edu.tr, +90-322-338-6084-2951

Türkiye Denim Sektörü Dış Ticaret Raporu'na göre; toplam 4 milyar 910 milyon dolar olan dünya denim kumaş ihracatında 338 milyon dolar ihracat ile %7, hazır giyimde ise 2,1 milyar dolar ihracat ile %4,5 paya ulaşarak her iki branşta da dünyanın en fazla ihracat yapan dördüncü ülkesi olmuştur (www.uib.com, 2019).

Giyim ürünü olarak kullanılan ve cilde temas eden tekstil ürünlerinin genelinde olduğu gibi denim kumaşlarda da yumuşaklık, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği gibi temel konfor özellikleri oldukça önemlidir. Denim kumaşların üretildiği ilk yıllarda en önemli kullanım problemi olan sertlik, yıllar geçtikçe iyileştirilmiş olup bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Ancak, söz konusu özellik iyileştirilirken diğer performans ve konfor özelliklerinde kabul edilebilir sınırlar içinde kalması gerekmektedir.

Optimizasyon, bir sistemde varolan kaynakların, belirli kısıtlamalar kapsamında, en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet minimizasyonu, kâr maksimizasyonu, seçilmiş bir veya daha fazla özelliğin eniyilenmesi gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknolojidir. Optimizasyon, model oluşturma ve bu modeli çözümlenme aşamalarından oluşmaktadır. "Model" ifadesi bir sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarını incelemek, kontrol etmek ve geleceği hakkında varsayımlarda bulunmak amacı ile elemanlar arasındaki bağıntıları kelimeler veya matematiksel terimlerle belirleyen ifadeler topluluğu şeklinde tanımlanabilmektedir (Zervent Ünal, 2007).

Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu tekstil mamullerinin ve denim kumaşların fiziksel ve performans özelliklerinin etkileşimi ve üretim öncesi tahminleme öğelerinin deneysel olarak belirlendiği ve yorumlandığı çalışmalara rastlanmıştır. Denim kumaşlar ile ilgili önceki çalışmaların genellikle, kumaş fiziksel özellikleri (hammadde, çözgü boyama tipi, boyarmadde türü vb.) ve efekt verme amaçlı uygulanan yıkama proses şartları (enzim yıkama, taş yıkama vb.) ile performans özellikleri arasında ilişki kurma ve tahminleme amaçlı yapıldığı görülmüş olup performans parametrelerinin (mukavemet, yumuşaklık vb.) optimizasyonunun amaçlandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Aşağıda tahminleme ve optimizasyon ile ilgili yayınlardan çalışmayla ilgili olduğu düşünülenler kısaca özetlenmiştir.

Zervent Ünal (2007), yürüttüğü çalışma kapsamında, belirli özelliklere sahip havlu kumaşların birim üretim maliyetinin ve/veya performans özelliklerinin eniyilenmesinin amaçlandığı optimizasyon modelleri oluşturulmasını hedeflemiştir. Bu amaçla, farklı fiziksel özelliklere sahip 47 adet havlunun fiziksel ve performans özellikleri belirlenmiş ve elde edilen değerleri veri olarak kullanılarak SPSS yardımıyla çeşitli istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve seçilmiş fiziksel özelliklerle performans büyüklüklerini ifade edecek matematiksel eşitlikler elde edilmiştir. Daha sonra bu eşitlikler kısıt olarak kullanılarak maliyet ve/veya performans özelliklerinin ayrı ayrı ve aynı anda eniyilenmesinin amaçlandığı toplam 16 adet non-lineer matematiksel model oluşturulmuş, optimum çözümleri LINGO 8.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Sabır (2000), yürüttüğü çalışma kapsamında, iplik işletmesinde üretim planlaması probleminin matematiksel modelini lineer programlama yaklaşımı ile kurmuştur. Seçilen bir iplik işletmesi için model çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Doba Kadem (2007), çalışmasında, farklı konstrüksiyonlarda 72 adet %100 pamuklu dokuma kumaşın, atkı-çözgü sıklığı, gramaaj, örgü raporu, kumaş kalınlığı, kumaş yırtılma ve kopma mukavemeti, boncuklanma, yıkama ve buhar sonrası boyut değişimi, aşınma ile kütle kaybı özelliklerini tespit etmiş ve deneysel sonuçlara SPSS ile bazı istatistiksel analiz teknikleri uygulayarak üretim öncesi tahminlemeye yönelik fiziksel ve performans özellikleriyle ilgili eşitlikler belirlemiştir. Li vd. (2009), 20 örme kumaş numunesi üzerine objektif ve subjektif deneyler yapmışlardır. Objektif deneyler arasında, ısı yalıtımı, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği ve kılcallık deneyleri yer almaktadır. Deneysel verilere dayanarak, spor koşullarında örme kumaşın konfor hissini tahmin etmek amacıyla çoklu bir regresyon modeli oluşturulmuştur.

Celep (2015), çalışmasında, içi boş iplikli örme kumaşların ısı iletkenlik, ısı direnç, ısı soğurganlık, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği gibi ısı konfor özellikleri tespit edilerek, içi boş ipliklerden oluşan kumaşların konfor özelliklerinin tahmin edilmesine yönelik modeller geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, içi boş iplikler ile genel olarak ısı konfor özellikleri geliştirilmiş örme kumaşların üretiminin gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Erenler ve Oğulata (2015), yaptıkları çalışma kapsamında, giysi amaçlı dokunmuş kumaşlarda, atkı elyaf cinsi, atkı sıklığı, atkı iplik numarası, dokuma örgüsü, kumaş kalınlığı ve kumaş gramajının kumaş hava geçirgenliği, kumaş yumuşaklığı ve bağıl su buharı geçirgenliği üzerine etkilerini istatistiksel olarak incelemiş ve bu üretim parametrelerini girdi olarak kullanılarak kumaş hava geçirgenliği, kumaş yumuşaklığı ve bağıl su buharı geçirgenliğinin tahmin edilmesi için uygun Yapay Sinir Ağı (YSA) modellerini MATLAB® paket programı kullanarak kurmuşlardır. Sztandera vd. (2013), geniş bir kumaş veritabanından kumaşın handfeel, mekanik ve konstrüksiyon özellikleri ve algılanan dokunsal konfor verilerini kullanarak regresyon analizi gerçekleştirmişlerdir ve böylece kumaş dokunsal konforunu etkileyen en önemli handfeel, mekanik ve konstrüksiyon özelliklerini tespit etmişlerdir.

Güneşoğlu (2005), PA, PES, PP, pamuk, viskon ve elastan karışimli ipliklerden örülen süprem, ribana, interlok ve RL-2 iplik astarlı kumaşların, termal iletkenlik ve termal direnç, termal absorbtivite, termal difüzyon, nem

absorbivitesi, su buharı geçirgenliği, hava geçirgenliği ve dikey ve yatay kılcallık özelliklerini istatistiki olarak incelemiş, daha sonra kumaşların ve liflerin kolaylıkla ölçülebilen parametrelerini girdi olarak kullanarak, kumaşların termal absorbivite ve termal iletkenlik değerlerini veren bir programı yapay sinir ağı yöntemi kullanarak oluşturmuştur. Üren (2018) çalışmasında, dokusal konforu geliştirilmiş sistematik denim kumaşlar üretmiş, hammadde, örgü raporu, sıklık ve yıkama işlemlerinin etkisini değerlendirmiştir. Kumaşların, kalınlık, sıkıştırılabilme oranı, uzama yeteneği, eğilme direnci, kayma direnci, sürtünme katsayıları ve yüzey profili değerleri ölçülmüştür. Duyusal değerlendirmeler ile kumaşların; sertlik-yumuşaklık puanı, pürüzlü yüzey-düzgün yüzey puanı, sıcak-soğuk hissi puanı ve tutum skoru belirlenmiştir. Duyusal test bulgularının; eğilme direnci, kayma direnci ve halkadan çekme testi sonuçları başta olmak üzere; nesnel test sonuçları ile yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Sülar (2005) yürüttüğü çalışma kapsamında, KESF ve FAST gibi pahalı objektif ölçüm sistemlerine sahip olmadan basit laboratuvar testleri ile tutumun objektif olarak ve daha az parametre ile tahminlenebilmesi için pratikte uygulanabilir bir model geliştirilmiştir. Sarıkaya vd. (2016), çalışmalarında, tepki yüzeyi tasarımlarından faktöriyel deneysel tasarım uygulanarak çok katlı kumaş yapıları için kumaş konfor özelliklerine etki eden parametreler ve etki dereceleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlara göre kat sayısı ve bağlantı sayısı gibi kumaş yapısal özelliklerinin ısı direnci, ısı soğurganlık ve su buharı direnci gibi kumaş konfor özelliklerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Türksoy vd. (2019) denim kumaşların aşınmasından sonra görülen renk farklılığı için çeşitli kaplama işlem parametrelerinin optimize edilmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Optimizasyon için seçilen parametreler, sıkma basıncı, kaplama maddesinin viskozitesi, kumaşın geçiş hızı, kurutma sıcaklığı ve atkı sıklığıdır. Deney planı olarak L27 (35) ortogonal dizini seçilmiştir. Renk farkı için en etkili girdi parametresinin, kurutma sıcaklığı olduğu bulunmuştur.

Tekstil işletmelerinde genellikle seri üretime geçmeden önce deneme üretimleri yapılarak istenen özelliklerde mamulü elde etmek için gerekli parametreler belirlenmekte olup bu durum maliyet artışına ve zaman kaybına neden olmaktadır (Zervent Ünal, 2007). Bu çalışma kapsamında denim kumaşların yumuşaklık özelliğinin eniyilemesinin amaçlandığı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Kurulan bu modelin çözümü LINGO 18.0 optimizasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geçerliliği en yüksek olan "global optimum" çözüm elde edilmiştir. Söz konusu modelde kısıt olarak kullanılan bağıntılar SPSS paket programı yardımıyla uygulanan regresyon analizi ile oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Yapılan çalışmada kullanılan farklı konstrüksiyon özelliklerine (gramaj, sıklık, iplik numarası, hammadde tipi vb.) sahip 13 adet denim kumaşın üretimi, Osmaniye'de faaliyet gösteren JNR MENSUCAT A.Ş. işletmesinde gerçekleştirilmiş ve daha sonra kumaşların bir kısmına farklı yıkama işlemleri uygulanarak deneysel çalışma kapsamında kullanılmak üzere 27 adet numune kumaş elde edilmiştir. Oluşturulacak modelin geçerlilik alanını genişletebilmek adına farklı özelliklerde denim kumaşlar deney planına alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kumaşların genel özellikleri, Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Numune kumaşların genel özellikleri (General properties of sample fabrics)

Kod	Çözümlü Numarası (Ne)	Atkı Numarası (Ne)	Çözümlü Hammaddesi	Atkı Hammaddesi	Atkı Tipi	Çözümlü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Örgü Tipi	Yıkama Tipi	Gramaj (g/m ²)
K1	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	18	3/1 S	Yıkamamış	370
K2	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	18	3/1 B.T	Yıkamamış	375
K3	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	21	2/2 Z	Yıkamamış	302
K4	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	23	1/3 Z	Yıkamamış	305
K5	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	23	1/3 Z	Rinse	305
K6	Ne 9	Ne 14	100 % Co	100 % Co	K	26.5	23	1/3 Z	Taş	305
K7	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Yıkamamış	312
K8	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Rinse	312
K9	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Enzim	312

Tablo 1. Devamı (Continued)

K10	Ne 9	Ne 16.5 + Dtex 44	100 % Co	48.5% Co + 48.5% Pes + 3% Elastan	K	29	21	1/3 Z	Taş	312
K11	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	23	2/2 Z	Yıkanmamış	277
K12	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	23	2/2 Z	Enzim	277
K13	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	23	2/2 Z	Taş	277
K14	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	24	3/1 Z	Yıkanmamış	287
K15	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	27	24	3/1 Z	Taş	287
K16	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Te	K	26.5	21	2/2 Z	Yıkanmamış	281
K17	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Te	K	26.5	21	2/2 Z	Rinse	281
K18	Ne 9	Ne 20	100 % Co	100 % Te	K	26.5	21	2/2 Z	Enzim	281
K19	Ne 20	Ne 20	100 % Te	100 % Te	K	39	23	2/1 Z	Yıkanmamış	220
K20	Ne 20	Ne 20	100 % Te	100 % Te	K	39	23	2/1 Z	Enzim	220
K21	Ne 20	Ne 20	100 % Co	100 % Co	K	37	21	2/1 Z	Yıkanmamış	185
K22	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	17	3/1 Z	Yıkanmamış	360
K23	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	17	3/1 Z	Taş	360
K24	Ne 9	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	26	17	3/1 Z	Enzim	360
K25	Ne 5.8	Ne 7	100 % Co	100 % Co	OE	23	17	3/1 Z	Yıkanmamış	425
K26	Ne 14	Den 200/144 + Dtex 78	100 % Co	96 % Pes + 4 % Elastan	S	43.5	23	3/1 Z	Yıkanmamış	295
K27	Ne 14	Den 200/144 + Dtex 78	100 % Co	96 % Pes + 4 % Elastan	S	43.5	23	3/1 Z	Enzim	295

* Co: Pamuk, Te: Tencel, Pes: Polyester, OE: Open-end, K: Karde, S: Sentetik, B.T: Broken twill (Kırık dimi)

2.2. Metod (Method)

Denim kumaş numunelerine, en yaygın kullanım alanına sahip olan rins, enzim ve taş yıkama işlemleri uygulanmıştır. Yapılan yıkama işlemlerin proses adımları Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Rins yıkama reçetesi (Rins wash recipe)

Proses	Sıcaklık (C°)	Süre (dAk)	Su Miktarı (l/kg)	pH
Rins Yıkama	60	15	20	6-7
Boşaltma / Sıkma	—			
Kurutma	60	45	-	-

Tablo 3. Taş yıkama reçetesi (Stone wash recipe)

Proses	Sıcaklık (C°)	Süre (dk)	Taş Miktarı (kg/kg)	Su Miktarı (l/kg)	pH
Taş Yıkama	60	45	1.5	20	6-7
Boşaltma/Durulama/Sıkma	—				
Taş Ayıklama	—				
Kurutma	60	45	-	-	-

Tablo 4. Enzim yıkama reçetesi (Enzyme wash recipe)

Proses	Sıcaklık (C°)	Süre (dAk)	Enzim Miktarı (g/l)	Su Miktarı (l/kg)	pH
Enzim Yıkama	60	30	3	20	6-7
Boşaltma/Durulama/Sıkma	—				
Kurutma	60	45	-	-	-

DeneySEL çalışma kapsamında numune kumaşların ilk olarak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla testler uygulanmış, daha sonra numuneler üzerine seçilmiş bazı konfor ve performans testleri uygulanmıştır. Çalışma kapsamında yumuşaklık özelliğinin eniyilenmesi amaçlanmakta olup, bu özellik iyileştirilirken kullanım yerine göre sahip olması gereken performans parametrelerinden kopma mukavemeti ile önemli konfor özelliklerinden

su buharı ve hava geçirgenliği özelliklerinin de kabul edilebilir sınırlarda olması istenmektedir. Çünkü, denim kumaşlar genellikle cilde temas ettiği için yumuşaklığın yanı sıra terleme ile oluşan su buharının kolay iletilir olması ve cilt sağlığı açısından hava geçirgenliğinin belirli değerlerde olması gerekmektedir. Aksi halde yumuşaklık iyileştirilirken diğer özellikler bu durumdan olumsuz etkilenirse kullanım açısından sorunlar oluşabilir. Bu nedenle, oluşturulacak matematiksel modele kısıt olarak ilave edilmek üzere ilgili özellikler de test edilmiştir. Söz konusu özelliklerin ölçümünde kullanılan test yöntemleri, standart numaralarıyla birlikte Tablo 5'te özetlenmiştir.

Oluşturulacak modelde amaç, optimum yumuşaklık değerine sahip denim kumaş üretimi için gerekli parametrelerinin üretim öncesi tahminlenmesi olup, aşağıda belirtilen standarda göre test sonucu elde edilen yumuşaklık/sertlik değeri düştükçe kumaş sertliği azalmakta, kumaş yumuşaklığı artmaktadır. Bu nedenle, çalışmada yumuşaklık optimize edilirken bu değer minimum olması amaçlanmıştır.

Tablo 5. Test edilen özellikler ve testlerin standart numaraları (Tested features and testing standards)

Uygulanan Testler	İlgili Standart	Uygulanan Testler	İlgili Standart
Numara (atki ve çözgü numarası)	TS 255	Yumuşaklık	ASTM D 4032-94
Sıklık (atki ve çözgü sıklığı)	TS 250	Kopma mukavemeti	TS EN ISO 13934-1
Gramaj	TS 251	Hava geçirgenliği	TS 391 EN ISO 9237
Örgü raporu	TS 6349	Su buharı geçirgenliği	ASTM E96 B

3. İstatistiksel Çalışma ve Sonuçları (Statistical Studies and Results)

Çalışma kapsamında öncelikle kumaşların, seçilmiş fiziksel özellikleri ve konfor/performans özelliklerini üretime geçmeden önce tahmin edebilmek ve kurulacak optimizasyon modelinde kısıt olarak kullanmak üzere regresyon denklemleri oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, SPSS istatistiksel paket programı kullanılmış ve deneysel olarak tespit edilmiş olan, çözgü iplik numarası (CN), atki iplik numarası (AN), çözgü sıklığı (CS), atki sıklığı (AS), gramaj (G), çözgü kopma mukavemeti (Ckop), atki kopma mukavemeti (Akop), yumuşaklık (Y), hava geçirgenliği (HG) ve su buharı geçirgenliği (SBG) değişkenlerine ait ortalama ölçüm değerleri ile çözgü hammaddesi (CH), atki hammaddesi (AH), atki tipi (AT), örgü tipi (OT) ve yıkama tipi (YT) değişkenlerine ait Tablo 6'da verilen nicel kodları SPSS veri sayfasına girilmiştir.

Tablo 6. SPSS veri girişinde bazı değişkenler için kullanılan kodlar (Codes used for some variables in SPSS data entry)

Kod	CH	AH	AT	OT	YT
1	Pamuk	Pamuk	Karde	3/1 S	Yıkanmamış
2	Tencel	Tencel	Open-End	3/1 Z	Taş
3	-	Pamuk/Polyester + Elastan	Sentetik	3/1 B.T	Rins
4	-	Polyester + Elastan	-	1/3 Z	Enzim
5	-	-	-	2/1 Z	-
6	-	-	-	2/2 Z	-

Daha sonra parametrik testlere uygunluğu K-S testi, Runs testi ve Histogram Grafikleri ile kontrol edilen bu verilere regresyon analizi uygulanarak her bir değişkeni, seçilmiş fiziksel özellikler cinsinden matematiksel olarak tanımlayan birer eşitlik oluşturulmuştur. SPSS'de regresyon analizi uygulanırken, kategorik değişkenler (CH, AH, AT, OT ve YT) Tablo 6'da verildiği şekilde kodlanmıştır.

Regresyon analizlerinden elde edilen denklemlerden geçerlik düzeyi yüksek ve yorumlanabilir nitelikteki olanlar Tablo 7'de verilmiştir. Bu eşitlikler, çalışma kapsamında kurulacak optimizasyon modelinde de kısıt olarak kullanılacaktır.

Tablo 7. Modelde kullanılacak eşitlikler (Equations to be used in the model)

Değişken	Eşitlik	R ² değerleri
Yumuşaklık	$Y = -0,084*CN - 0,052*AN + 0,055*CS + 0,054*AS - 0,244*YT$	0.905
Gramaj	$G = -21.496*CN - 14.236*AN + 15.333*CS + 13.571*AS$	0.992
Çözgü sıklığı	$CS = 1.426*CN + 13.086*CH$	0.967
Atki sıklığı	$AS = 0.876*AN + 1.693*OT$	0.954
Çözgü kopma muk.	$Ckop = 71.477*CS - 93.535*YT + 75.292*OT - 112.402*CN$	0.959
Atki kopma muk.	$Akop = 85.579*AH - 16.891*AN + 83.859*AT + 22.025*AS - 43.753*YT$	0.919
Hava geçirgenliği	$HG = 31.155*CN - 9.221*CS + 113.255*CH$	0.970
Su buharı geçirgenliği	$SBG = -9.523*AN + 30.653*AS - 19.894*CN + 14.516*CS$	0.989

4. Optimizasyon Modeli (Optimization Model)

İşletme veya müşteri isteklerine bağlı olarak konfor ve/veya performans özelliklerinin minimum ve/veya maksimum olması amaçlanabilmektedir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında kumaşın konfor özelliklerinden yumuşaklık değerinin en iyilenmesinin amaçlandığı bir model oluşturulmuştur. Söz konusu modelde tek bir amacın gerçekleştirilmesi hedeflendiğinden bu model “tek amaçlı model” olarak ifade edilmektedir. Söz konusu modelin çözümü sonucunda amaç fonksiyonunun (ele alınan özelliğin) aldığı değer, bu özelliğin mevcut kısıtlar doğrultusunda sahip olabileceği en iyi değerdir (Zervent Ünal, 2007).

Oluşturulması istenen modelde amaç, fonksiyonunun yanı sıra amacı gerçekleştirmede etkin rol oynayan bazı kısıtlar da bulunmaktadır. Amaç gerçekleştirilirken kumaşın bazı özelliklerinin de (fiziksel ve konfor/performans özellik değerleri) belirli şartları sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, bu özellikler için bazı sınır değerler belirlenmiş ve Tablo 7’de verilmiş olan matematiksel bağıntılar kullanılarak kısıtlar oluşturulmuştur.

Matematiksel modelleme prensibine göre söz konusu eşitliklerin kısıt olarak kullanılabilmesi için alt ve/veya üst limit değerleri verilmesi gerekmekte olup, bu sınırlamalar fiziksel ve konfor/performans özelliklerinin modelin çözümünde alabilecekleri değer aralıklarını ifade etmektedir. Bu sınır değerler, endüstride yaygın kullanılan ve literatürde sık rastlanan veriler göz önünde bulundurularak belirlenmiş olup, söz konusu sınır değerleri de Tablo 8’de verilmiştir (Kahya, 2019).

Tablo 8. Modelde verilen kısıtların sınır değerleri (Limit values of constraints given in the model)

Özellikler (birimler)	Alt limit	Üst limit	Özellikler (birimler)	Alt limit	Üst limit
Çözümlü kopma mukavemeti (N)	450	-	Çözümlü sıklığı (tel/cm)	20	45
Atkı kopma mukavemeti (N)	200	-	Atkı sıklığı (tel/cm)	15	28
Yumuşaklık derecesi (kg)	-	2	Çözümlü hammaddesi	1	2
Hava geçirgenliği (mm/s)	100	-	Atkı hammaddesi	1	4
Su buharı geçirgenliği (g/m ² /gün)	550	-	Atkı tipi	1	3
Gramaj (g/m ²)	190	450	Örgü tipi	1	6
Çözümlü iplik numarası (Ne)	5	20	Yıkama tipi	1	4
Atkı iplik numarası (Ne)	5	20			

Yumuşaklığın optimize edilmesinin amaçlandığı bir model oluşturmak için amaç fonksiyonu olarak yumuşaklık ifadesi kullanılmaktadır. Söz konusu modelde verilen kısıt ve amaç fonksiyonu ifadeleri LINGO 18.0 optimizasyon yazılımına girilmiş ve çözüm gerçekleştirilmiştir.

5. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Çalışma kapsamında oluşturulan tek amaçlı doğrusal optimizasyon modelinin çözümü optimizasyon yazılımı LINGO 18.0 kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geçerliliği yüksek “Global optimum çözüm” bulunmuştur.

Konfor parametrelerinden yumuşaklık özelliğinin optimize edilmesinin amaçlandığı modelin çözümü sonucu fiziksel ve konfor/performans özelliklerinin almış olduğu değerler, Tablo 9’da toplu olarak özetlenmiştir. Buna göre mukavemet, hava ve su buharı geçirgenliği değerleri belirli kısıtlar içinde olan bir denim kumaşın en iyi yumuşaklık değerine sahip olabilmesi için tablonun sağ sütununda yer alan temel fiziksel özellikler esas alınarak üretilmesi önerilmektedir.

Tablo 9. Optimizasyon modelin çözüm sonuçları (Solution results of the optimization model)

Konfor/Performans özellikleri	Çözüm değerleri	Fiziksel özellikler	Çözüm değerleri
Yumuşaklık (Kg)	0,1	Gramaj (g/m ²)	250,19
Çözümlü kopma mukavemeti (N)	675,97	Çözümlü iplik numarası (Ne)	19,53
Atkı kopma mukavemeti (N)	601,71	Atkı iplik numarası (Ne)	11,32
Hava geçirgenliği (mm/s)	344,34	Çözümlü sıklığı (tel/cm)	40,94
Su buharı geçirgenliği (g/m ² /gün)	557,64	Atkı sıklığı (tel/cm)	15,00
		Çözümlü hammaddesi	1,0 (Pamuk)
		Atkı hammaddesi	4,0 (Polyester + Elastan)
		Atkı tipi	3,0 (Sentetik)
		Örgü tipi	3,0 (D 3/1 B.T)
		Yıkama tipi	3,0 (Rins)

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma kapsamında denim kumaşların yumuşaklık özelliğinin eniyilenmesinin amaçlandığı bir matematiksel model oluşturulması amaçlanmış olup, elde edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

- Deneysel çalışma sonuçları kullanılarak seçilmiş fiziksel özelliklerin kendi aralarında ve seçilmiş konfor/performans özellikleriyle istatistiksel analizi neticesinde birtakım eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerin tümünün açıklayıcılık katsayısının %90'nın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu değerlerin yüksek olması, oluşturulan eşitliğin geçerliliğinin ve tahmin gücünün yüksek olması anlamına gelmektedir.
- Oluşturulan tek amaçlı modelde kısıt olarak kullanılan ifadeler ve bunlar için belirlenen sınır değerleri sabit tutulmuştur.
- Çalışmada yumuşaklığın kısıtlar doğrultusunda en iyi değeri almasını sağlamak amacıyla oluşturulan modelin çözümü sonucu yumuşaklık değeri 0,1 Kg olarak tespit edilmiştir ($Y=0,1$ Kg). Buna göre, gramajı 250,19 g/m², çözgü numarası Ne 19,53, atkı numarası Ne 11,32, çözgü sıklığı 40,94 tel/cm, atkı sıklığı 15,00 tel/cm, çözgü hammaddesi pamuk, atkı hammaddesi Polyester+elastan, atkı tipi sentetik, örgü tipi D3/1 B.T, yıkama tipi rins yıkama özelliklerinde bir denim kumaş üretildiğinde kısıtlar doğrultusunda en iyi yumuşaklık değerinin ($Y=0,1$ Kg) sağlandığı görülmektedir. Ayrıca bu şartlarda gerçekleştirilen üretim ile elde edilen denim kumaşın çözgü ve atkı kopma mukavemeti değerlerinin sırasıyla 675,97 N – 601,71 N, hava ve su buharı geçirgenliği değerlerinin ise sırasıyla 344,34 mm/s – 557,64 g/gün/m² olacağı çözüm raporundan görülmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Celep, G., 2015. İçi Boş İpliklerden Elde Edilmiş Tekstil Mamullerinin Konfor Özelliklerinin Modellenmesi Üzerine Yeni Bir Çalışma. Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak, 155s.
- Doba Kadem, F., 2007. İpliği Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Bazı Fiziksel Özelliklerin Seçilmiş Performans Özellikleriyle İlişkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 219s.
- Erenler, A., Oğulata, R.T., 2015. Investigation and Prediction of Chosen Comfort Properties on Woven Fabrics for Clothing. *Tekstil ve Konfeksiyon* 25(2), 125-134.
- Güneşoğlu, S., 2005. Sportif Amaçlı Giysilerin Konfor Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 208s.
- <https://www.ithib.org.tr/files/downloads/Belgeler/Denim%20Kumas%20Raporu%20-%20Subat%202018.pdf> (erişim tarihi: Mayıs 2019).
- <http://www.uib.org.tr/tr/kbfile/turkiye-denim-ihracat-raporu-mays-2019> (erişim tarihi: Mayıs 2019).
- Kahya, Ş., 2019. Denim Kumaşlarda Seçilmiş Konfor ve Performans Özelliklerinin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 131s.
- Köle, D., 2016. Pamuklu Dokuma Endüstrisinde Çalışanların Toz Maruziyetinin Değerlendirilmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 101s.
- Li, M., Li, D., Zhang, W., and Tang, X., 2009. A Multiple Regression Model for Predicting Comfort Sensation of Knitted Fabric in Sports Condition Based on Objective Properties. 2009 Second International Conference on Information and Computing Science, Manchester, pp. 372-375.
- Sabır, E.C., 2000. Ring ve Open-End İplik Üretim Sistemlerinde Üretim Planlaması için Doğrusal Programlama Yaklaşımı ve Endüstriyel Uygulaması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 209s.
- Sarıkaya G., Sağbaş A., İkiz Y., 2016. Faktöriyel Deneysel Tasarım Uygulanarak Kumaş Konfor Özelliklerine Etki Eden Parametrelerin Tahmin Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(3), 165-172.
- Sülar, V., 2005. Kumaş Tutumunun Ölçülebilir Kumaş Özelliklerinden Tahminlenmesi Üzerine bir Araştırma. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 205s.
- Sztandera, L. M., Cardello, A. V., Winterhalter, C., Schutz, H., 2013. Identification of The Most Significant Comfort Factors for Textiles from Processing Mechanical, Handfeel, Fabric Construction, and Perceived Tactile Comfort Data. *Textile Research Journal*, 83(1), 34-43.
- Türksoy H.G., Üstüntaş S., Ertek Avcı M., 2019. Denim Kumaşlarının Aşınma Sonrası Renk Farklılığı için Kaplama İşlem Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. *Tekstil ve Mühendis*, 26 (116), 324-329.
- Üren, N., 2018. Denim Kumaşların Dokunsal Konforunu Analizi ve Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 293s.
- Zervent Ünal, B., 2007. Dokunmuş Havlu Kumaşların Üretim Parametreleri ve Performans Özelliklerinin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 232s.



PARTİKÜL MADDE, KARBON MONOKSİT VE KARBONDİOKSİT SEVİYELERİNİN İÇ VE DIŞ ORTAMLARDA DEĞİŞİMİ

Sibel MENTEŞE^{1*}, Osman ÇOTUKER^{1,2}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

² DCD Energy, Marine, Technology, Sarıyer-İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hava Kalitesi,
İç Ortam Hava Kalitesi,
Partikül Madde,
Karbon Dioksit,
Çanakkale.

Öz

Bu çalışmada partikül madde (PM), karbondioksit (CO₂) ve karbon monoksit (CO) seviyeleri farklı özellikteki iç ortamlar (evler) ve eş zamanlı olarak dış ortam havasında 1 yıllık süreyle ölçülmüştür. Çalışma, Çanakkale'nin üç ilçesindeki farklı örnekleme noktalarında aylık bazda yürütülmüştür. Çalışma sonucunda iç ortam hava kalitesinin evden eve farklılık göstermekle beraber, ilçeler arasında da farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. İç ortam havasında ölçülen ortalama PM ve CO₂ seviyeleri azalan seviyelerde, sırasıyla, Çan, Lapseki ve Merkez ilçede değişim göstermiştir. İç ortamda ölçülen ortalama sıcaklık 22 °C ve ortalama bağıl nem seviyesi %49 civarındadır. Ölçümü yapılan parametrelerin (PM, CO ve CO₂) genel olarak zamansal değişim gösterdiği ve genellikle konsantrasyonların kış aylarında yılın geri kalanına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Genel olarak, iç ve dış ortam havasında ölçülen PM, CO ve CO₂ düzeyleri istatistiksel olarak anlamlı aylık değişim göstermiştir ($p < 0,05$). Ölçülen hava kalitesi parametreleri için hesaplanan İç ortam/Dış ortam (I/D) oranlarının genel olarak 1'den büyük olması, PM, CO ve CO₂ seviyelerine iç ortam kaynaklarının katkısının önemli olduğuna işaret etmektedir. İç ortamlarda yeterli seviyede havalandırmanın yapılması ile hava sirkülasyonu artırılarak iç ortam kirletici kaynakların etkisinin azaltılması mümkündür.

VARIATION OF INDOOR AND OUTDOOR PARTICULATE MATTER, CARBON MONOXIDE, AND CARBON DIOXIDE

Keywords

Air Quality,
Indoor Air Quality,
Particulate Matter,
Carbon Dioxide,
Çanakkale.

Abstract

In this study, Particulate matter (PM), Carbon dioxide (CO₂), Carbon monoxide (CO) levels were measured in different types of indoor environments (homes) and, in parallel, at their outdoors for a year. The study was conducted on a monthly basis at different sampling points of three towns of Çanakkale. According to the study results, indoor air quality varied among the homes as well as the towns of the city. Average values of indoor temperature and relative humidity occurred around 22 °C and 49%, respectively. The mean PM and CO₂ levels measured in indoor air of Çan, Lapseki, and in Central towns, in descending order. Temporal variations were found for the measured parameters (PM, CO, and CO₂) and, in general, concentrations were higher in winter months than rest of the year. Generally, both indoor and outdoor levels of PM, CO, and CO₂ showed statistically significant monthly variations ($p < 0.05$). The indoor CO level was generally measured higher during heating season, whereas it was found to be lower in the summer. The fact that Indoor-to-Outdoor (I/O) ratios, calculated for the measured air quality parameters were above the unity, it indicated that the contribution of indoor sources was important on the PM, CO and CO₂ levels. Therefore, it is possible to reduce the influence of indoor pollutant sources by increasing the air circulation by providing adequate ventilation amount in indoor environments.

* İlgili yazar / Corresponding author: sibelmentese@gmail.com, +90-286-2180018-20041

Alıntı / Cite

Menteşe, S., Çotuker, O., (2021). Partikül Madde, Karbon Monoksit ve Karbon Dioksit Seviyelerinin İç ve Dış Ortamlarda Değişimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 723-734.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Mentese, 0000-0002-0395-3603
O. Çotuker, 0000-0001-7486-1258

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	15.10.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Hava kirliliği, gerek dünyada, gerekse ülkemizde sanayi devrimiyle beraber endüstriyel faaliyetlerin artması ve hızlı kentleşme süreci nedeniyle büyük çapta tehdit oluşturmaya başlamıştır (Müezzinoğlu, 2003; Çiçek vd., 2004). İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bu nedenle iç ortam havasının en az dış ortam hava kalitesi kadar halk sağlığı üzerinde çok büyük bir etkisi vardır. İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi hususunda tasarımcıların, kullanıcıların, yapı malzemesi üreticilerinin vb. bilinçlenmesi gerekmektedir (Menteşe, 2009).

Bu çalışmada partikül madde (PM), karbondioksit (CO₂) ve karbon monoksit (CO) seviyeleri farklı özellikteki 121 iç ortamda (evler) ve eş zamanlı olarak dış ortam havasında 1 yıllık bir süreyle ölçülerek bu hava kirleticilerin seviyelerinin ve kaynaklarının karşılaştırılması olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Doğal ve insan kaynaklı aktiviteler neticesinde farklı kaynaklardan havaya partikül madde salınımı söz konusu olabilmektedir. Genellikle 10 mikrondan küçük olan partiküller (PM₁₀) ile 2,5 mikrondan küçük olan partiküller (PM_{2,5}) ölçümü en çok yapılan partikül madde boyutlarıdır. Yanma sonrasında ortaya çıkan sıcak buharın yoğunlaşmasıyla havadaki en ince partiküller oluşur (0,005–0,1µm) ve bunlar kısa sürede tane bağlanmasıyla büyürler. Orta büyüklükteki partiküllerin (0,1-1,0 µm) büyük kısmı ince partiküllerin birleşmesiyle oluşur, geri kalanı ise kimyasal tepkimelerle meydana gelir. Bunlar 1 günle birkaç hafta arasında havada bulunabilirler. Büyük çaplı partiküller (2-100 µm) ise doğal kaynaklar ya da endüstriyel işlemler sonucu oluşur ve havada kalma süreleri birkaç saniye kadardır ve ağırlıklarıyla yer yüzüne inerler (Arı vd., 2008; Turalıoğlu vd., 2008; Özkan, 2009).

İç ortamlarda partikül maddelerin kaynakları dış ortamdan havalandırma sırasında taşınım ek olarak; sigara içimi, yemek pişirme, kapalı ortamda bulunanların hareketleri gibi nedenlerden oluşmaktadır (Menteşe, 2009). Yemek yapma sırasında 0,13-0,25 µm değerleri arasında partikül oluşmaktadır. 3-4,3 µm'lik tozlar ise ev temizliği ve ev içerisindeki hareketler neticesinde oluşmaktadır. Kapalı ortamda PM miktarı içerideki mevcut kaynaklar ve havalandırma ile içeri gelenler ile değişim göstermektedir. Kapalı ortamda ısıtma veya yemek pişirme, sigara kullanımı gibi aktivitelerin olmadığı zamanlarda kişilerin yürüyüşü-temizliği, toz, toprak, deri döküntüleri, mantar sporları, kağıt ve kumaş fiberlerinden oluşup çökelen tozların tekrar ortama yayılmasına sebep olmaktadır (Monn vd., 1997; Luoma ve Batterman, 2001; Fromme vd., 2007). İnce partiküllerin birikim hızları diğer partiküllere göre daha düşüktür.

Havadaki oranı diğer gazlara göre oldukça düşük olan karbon dioksit (CO₂), atmosferde oran açısından günümüzde 400 ppm düzeyindedir; ancak sera etkisi nedeniyle atmosferdeki CO₂ seviyeleri hızlı bir artış eğilimindedir (Müezzinoğlu, 2000). Doğal solunma ve yanma sonucu ortaya çıkan, yanıcı olmayan, renksiz ve kokusuzdur. Havadaki oranı; karalarda, denizlere göre daha fazladır. Bunun nedeni ise, karadaki yaşamın denizlere göre daha fazla olmasıdır. Her türlü organik maddenin yanma reaksiyonu sonucu havaya salınabilen CO₂ gazı, evsel ısınma, egzoz gazları, endüstriyel tesisler ile güç santrallerinin havaya saldıkları atık gazların içeriğinde mevcuttur. Bunların yanı sıra, volkanlar ve maden suları da atmosfere bir miktar CO₂ salınımı yapmaktadır. Atmosfere salınan CO₂'nin yaklaşık %85'i fosil yakıtların tüketiminden, geri kalanı ise canlıların solunumu ve mikrobiyal canlıların organik madde ayrıştırmasından ileri gelmektedir (Mitscherlich, 1995). CO₂, zehirsiz olmasına rağmen, ortamdaki kullanılabilir oksijen miktarını düşürerek oksijensizlikten boğulmaya neden olur. Ortamdaki CO₂ seviyesi 3500 ppm'in üzerine çıktığında solunum gücüyle ile sinir sistemi üzerinde olumsuz sağlık etkileri gözlenmektedir (ASHRAE, 2003).

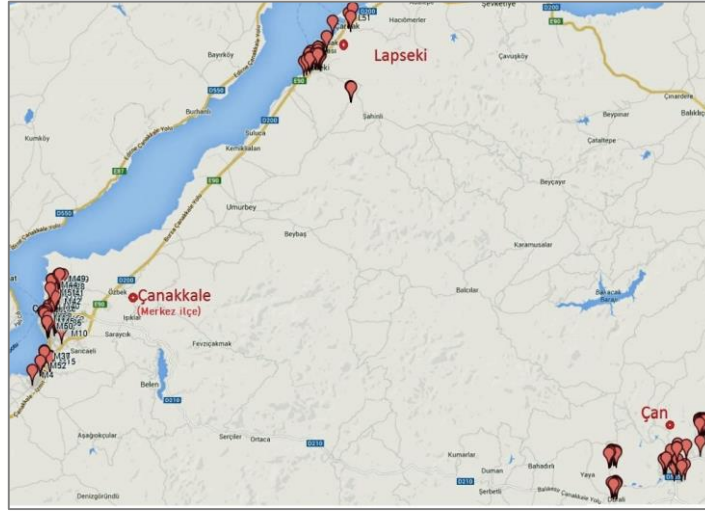
Karbon monoksit (CO), tatsız, renksiz ve kokusuz olan birincil bir hava kirletici gazdır. Karbonlu yakıtların eksik yanması, yani yetersiz oksijenle birlikte yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkmaktadır (Masters, 1991). Havada kalış süresi 60 günden fazla olan CO, yıllık 232 milyon tonluk üretim ile atmosfere verdiği zararın boyutu oldukça büyüktür. Yıllık CO üretimine en fazla katkıyı %70'lik paya sahip olan ulaştırma sektörü yapmaktadır (Soylu, 2010). İç ortamlardaki en önemli kaynağı, sigara, ocak ve sobadır. CO seviyesinin ölçümü, yanma verimini

belirlemede ve yakıt türü ile ilişkilendirmede kullanılabilir bir parametredir. Kararlı bir gaz olan CO, sağlık açısından da oldukça tehlikelidir (İncecik, 1994). CO'nun kandaki hemoglobine bağlanması sonucu oksijen taşımamasını engellediği ve dokularda oksijen seviyesinin düşmesine neden olduğu ilk olarak 1857'de fark edilmiştir (Choi, 2001). CO ve PM, kardiyovasküler hastalıklara neden olan ve hastanelere başvuruların yapılmasının nedeni olarak gösterilen en önemli hava kirleticileridir (Schwartz, 1999). CO zehirlenmesinin bazı sonuçları ise; baş ağrısı, nefes sıkışması, mide bulantısı, yüksek dozda maruziyet sonucunda ise koma durumu ve sonunda ölüm olabilmektedir (Weaver vd., 2002).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Sahası (Study Site)

Bu çalışmada, Çanakkale'nin 3 farklı ilçesinde Ağustos 2013- Ağustos 2014 ayları arasında 1 yıl boyunca iç ve dış ortam havasında ölçüm yapılmıştır. Bu örnekleme noktalarının seçiminde kara ve deniz trafiğine yakınlık/uzaklık, endüstriyel etkilere yakınlık/uzaklık, kentsel/kırsal özellikte olma gibi özellikler dikkate alınmıştır. Şekil 1'de gösterilen çalışma sahası aşağıdaki gibidir:



Şekil 1. Çalışma bölgesi (Study site)

Merkez ilçesi: Çanakkale boğazına kıyısı bulunmaktadır. Yoğun gemi taşımacılığı, yoğun kara taşıt trafiği, şehir merkezi ve kentsel özelliktedir. Bu ilçenin merkez mahallelerinde toplam 46 evde ölçümler yapılmıştır. Lapseki ilçesi: Çanakkale boğazına kıyısı bulunmaktadır. Yoğun gemi ve göreceli yoğun kara taşımacılık güzergahındadır ve kırsal özelliktedir (TÜİK'e göre nüfusu 10 000'den büyük olduğu için yarı-kentsel olarak sınıflandırılabilir, ancak bölge kırsal özelliktedir). Bu ilçede Çanakkale Boğazı'na paralel güzergahtaki mahallelerde yer alan toplam 36 evde ölçümler yapılmıştır. Çan ilçesi: Denize kıyısı bulunmamaktadır. Kömür işletmeleri, termik santral ve seramik fabrikaları gibi endüstriyel faaliyetler yapılmaktadır ve yarı-kentsel özelliktedir. Bu ilçede Çan ilçe merkezi, Kulfal Köyü, Duralı Köyü ve Yuvalar Köyü'nde toplam 39 evde ölçümler yapılmıştır.

Çalışmaya eksiksiz katılımın yapıldığı aylar her üç ilçede de Ocak ve Şubat ayları olmuştur. Muhtemelen havaların soğuk olması nedeniyle katılımcılar seyahat etmedikleri için bu aylarda tüm ölçüm noktalarında eksiksiz ölçüm yapılabilmektedir. Lokasyonlar açısından bakıldığında, 12 aylık çalışmaya en büyük katılım %98,5'lik oran ile Çan'da sağlanmıştır. Genel olarak çalışmaya nihai katılım oranı yıllık bazda %97,3 gibi yüksek bir orana ulaşmıştır (Menteşe vd., 2015a).

3.2. Ölçüm Yöntemi (Measurement Methods)

121 evde ve dış ortamlarında aylık bazda hava kalitesi ölçümleri 1 yıl süre ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümü yapılan parametreler: CO (ppm), CO₂ (ppm), PM, sıcaklık (°C) ve bağıl nem'dir (RH). PM hariç diğer parametreler uygun sensörleri içeren, anlık ölçüm yapan tek bir cihaz ile (Advansedsense, Graywolf) kaydedilmiştir. İç ortam havasında ölçümler evin en çok kullanılan oturma odasında yerden 1,5 m yükseklikte ve odanın ortasından yapılmıştır. Ölçüm yapılan evlere ait detaylı özellikler Menteşe vd. (2015b)'de verilmiştir.

PM sayısı farklı çap aralıklarında (0,3 µm ila 10 µm arasında) ölçüme imkan tanıyan, 6-kanallı ve lazer diyod kaynağına göre çalışan bir cihaz ile ölçülmüştür (Lighthouse, handheld particle counter). Cihazın partikül çap aralıkları şöyledir: 0,3, 0,5, 1,0, 3,0, 5,0 ve 10 µm. Özellikle iç ortam havasında sayıca en fazla 1 µm ve altındaki

partikül çaplarına rastlanması nedeni ile 1 µm ve altındaki partikül konsantrasyonunun da hesaplanmasını sağlayan bu cihaz seçilmiştir.

Ayrıca, çalışma süresince Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde Çanakkale Merkez, Lapseki ve Çan ilçelerinde kurulmuş olan hava kalitesi izleme istasyonlarına ait PM konsantrasyon verileri de temin edilmiştir.

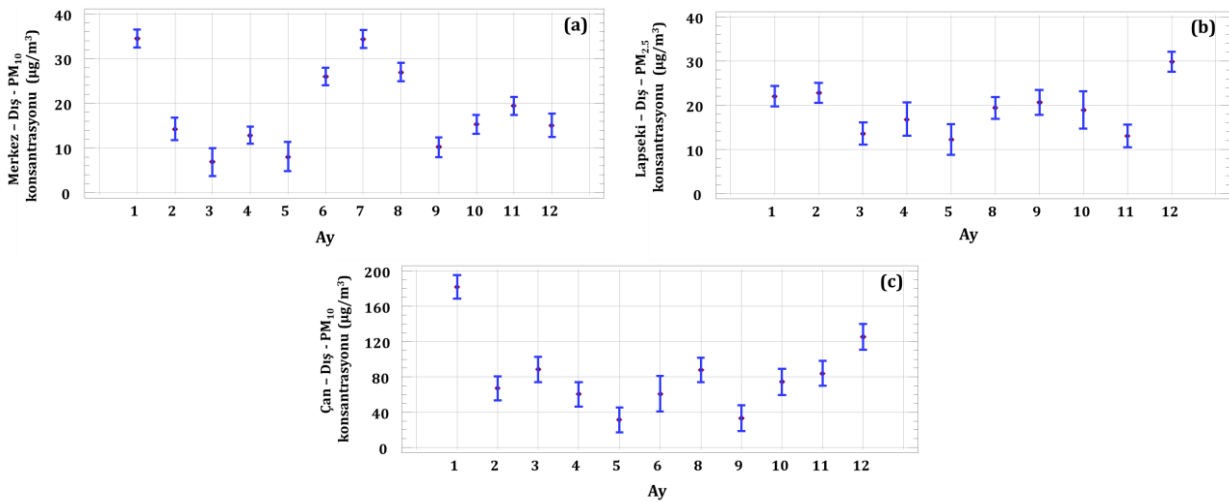
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Sıcaklık ve Nem Düzeyleri (Temperature and Humidity Levels)

İç ortamda ölçülen sıcaklık ve nem düzeyleri mevsimsel olarak ve genel olarak ölçüm yapılan evlerde benzerlik göstermiştir: ortalama sıcaklık 22 °C ve ortalama bağıl nem seviyesi %49 civarındadır. Dış ortam havasında ölçülen ortalama sıcaklıkları yaz aylarında 23,8 °C, sonbaharda 16,5 °C, kış aylarında 8,2 °C ve ilkbaharda ise 15,1 °C olarak; nem düzeyleri ise yaz aylarında %60, sonbaharda %68,2, kış aylarında %78,8 ve ilkbaharda %67,6 olarak ölçülmüştür.

4.2. Partikül Madde Seviyeleri (Particulate Matter Levels)

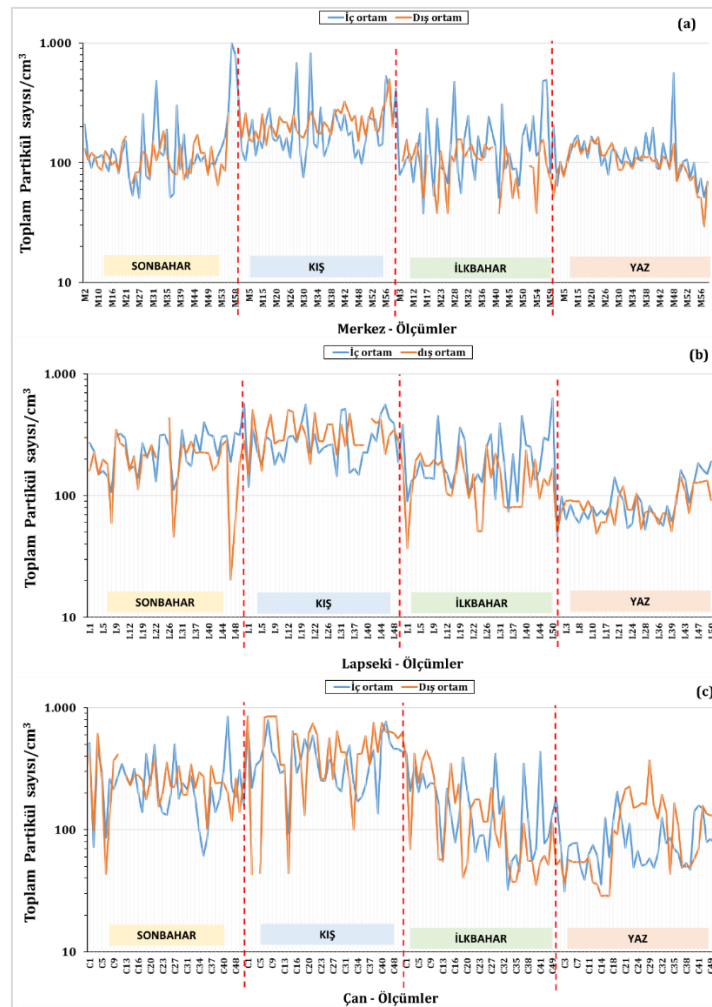
Şekil 2’de hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler ışığında, dış ortam havasında ölçülen PM₁₀ (Merkez İlçe ve Çan) ve PM_{2,5} (Lapseki) seviyelerinin değişimi verilmektedir. PM düzeylerinin 3 çalışma sahasında da aylık olarak değişiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,001$). PM₁₀ seviyeleri açısından kıyaslandığında; Merkez ilçede yıl boyu gözlenen PM₁₀ seviyelerinin Çan’da gözlenen seviyelerden düşük olduğu görülmektedir. Özellikle ısınma döneminde Çan’da PM₁₀ konsantrasyonunda belirgin bir artış eğilimi gözlenirken; Merkez ilçede ocak ayı ile haziran-ağustos ayları arasında PM₁₀ konsantrasyonlarında artış eğilimi gözlenmiştir. Çan’da ısınma periyodunda gözlenen partikül madde seviyesindeki artış, özellikle yerli kömür ve odun kullanıma bağlı olabilir. Merkez ilçede yaz döneminde gözlenen göreceli yüksek partikül seviyeleri ise, Çanakkale ilinin yaz döneminde turistik bir yer olarak ziyaret edilmesine ilaveten, İstanbul-Trakya-Anadolu arasında geçişi sağlayan karayolu ve denizyolu güzergahında olması nedeniyle yaz döneminde artan seyahat yoğunluğu nedeniyle trafik kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Lapseki’de PM_{2,5} seviyelerinin ölçülüyor olması; Merkez ve Çan ilçeleri ile partikül madde seviyeleri açısından birebir karşılaştırmaya imkan vermese de; PM₁₀ seviyesinin bölgelere göre değişse de belli bir miktarının PM_{2,5} içerdiği bilinmektedir. Bu açıdan, Merkez ilçe her ne kadar kentsel bölge olarak sınıflandırılmışsa da, Lapseki’deki PM_{2,5} seviyelerinin Merkez ilçede ölçülen PM₁₀ seviyeleriyle paralellik göstermiş olması; aslında Lapseki’de PM₁₀ ölçümü yapılmış olsa, Merkez ilçeden daha yüksek PM₁₀ seviyelerine ulaşılabilmesine işaret etmektedir. Lapseki’de yaz döneminde gözlenen PM_{2,5} seviyesinin kış döneminde gözlenen seviyelerden biraz daha düşük olarak gözlenmiş olması; partikül kaynağının kış döneminde özellikle ısınma amaçlı katı yakıt kullanımından kaynaklanabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 2. Hava kalitesi ölçüm istasyonlarında ölçülen PM_{2,5} ve PM₁₀ konsantrasyonunun (● ortalama ve I: %95 güven aralığı) dış ortam havasında a) Merkez ilçe, b) Lapseki ve c) Çan’da aylık değişimi (µg/m³) (Monthly distributions of ambient air levels (I: 95% confidence interval of the mean (●)) of PM_{2,5} and PM₁₀ at the air quality monitoring stations in a) Central town, b) Lapseki, and c) Çan (µg/m³))

İç ortamda ölçülen partiküllerin boyut dağılımları incelendiği ilçe bazında ve iç veya dış ortamda ölçümlerine bağlı olmadan 0,3 mikrondan küçük partiküler maddenin ($PM_{0,3}$) sayısının toplam PM sayısında baskın olduğu görülmüştür. $PM_{0,3}$ miktarının toplam PM sayısına (0,3-10 mikron) oranının ($PM_{0,3}/\text{top PM}$), her üç ölçüm sahasına ait iç ve dış ortam ölçümlerinde %90 civarında olduğu belirlenmiştir.

Toplam PM sayısının iç ve dış ortamlarda aylık değişimi (tane/cm^3) Şekil 3'te verilmiştir. İç ve dış ortam havasında ölçülen toplam PM sayısının 3 çalışma sahasında da aylık olarak değişiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,001$). Buna göre, toplam PM sayısı 10^2 ila 10^3 partikül/ cm^3 arasında değişim göstermektedir. Şekil 3'e göre, genel olarak dış ortam havasında en yüksek toplam PM seviyeleri kış aylarında ve en yüksek toplam PM seviyesi ise ocak ayında gözlenirken; en düşük toplam PM seviyeleri genel olarak ilkbahar ve yaz aylarında gözlenmiştir. Dış ortam havasında en yüksek toplam PM seviyesi ocak ayında Çan'da gözlenmiştir. Isınma amaçlı yakıt tüketimi açısından katılımcıların yaşadığı ilçelere bakıldığında; Merkez ilçede büyük oranda doğalgaz kullanımının olduğu; Lapseki'de başlıca odun ve Çan'da ise odun ve kömür kullanımının daha yaygın olduğu bilinmektedir. Her ne kadar sadece doğalgaz abone oranları ve doğalgaz tüketim verilerinin temin edilebilmiş olması ve odun ile kömür tüketim verilerine ulaşılamamış olmasına karşın; Merkez ilçede birincil ısınma amaçlı yakıt olarak büyük oranda doğalgaz ve daha sonra az oranda linyit ve diğer yakıtlar kullanılırken; Lapseki'de odun ve kömür tüketiminin daha baskın olduğu; Çan'da ise lokal kömür tüketiminin daha yaygın olduğu yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Bu nedenle, Lapseki ve Çan'da genel olarak ısınma periyodunda dış ortam havasında daha yüksek PM seviyeleri ölçülmüş olabilir. Bu sonuçlar, hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen PM sonuçları ile de uyumludur (bkz. Şekil 2).



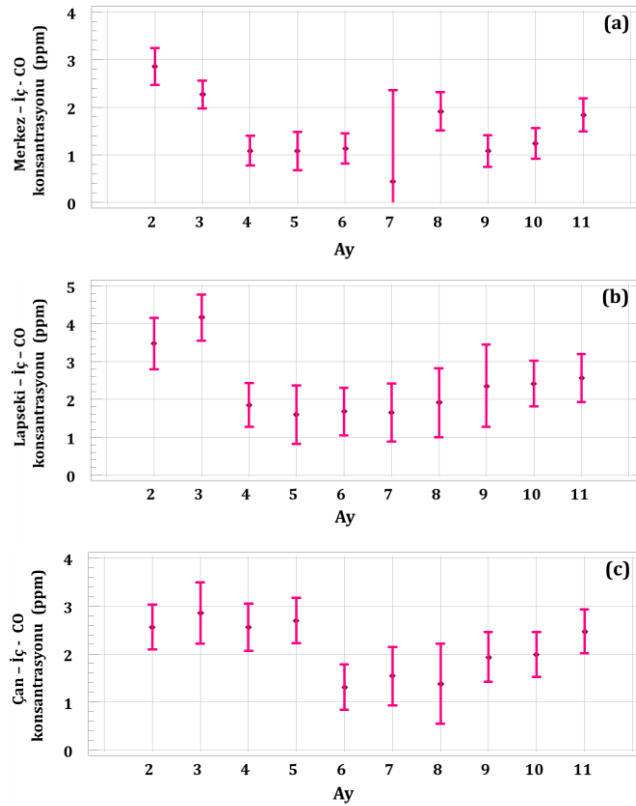
Şekil 3. İç ve dış ortam havasında ölçülen toplam partikül madde sayısının ($\text{sayı}/\text{cm}^3$) a) Merkez ilçe, b) Lapseki ve c) Çan'da Bulunan Örnekleme Noktalarında Mevsimsel Değişimi (logaritmik ölçekte verilmiştir) (Indoor and outdoor air concentrations of total particulate matter number ($\text{number}/\text{cm}^3$; in log-scale) measured at a) Central town, b) Lapseki, and c) Çan)

Merkez'de iç ortam havasında gözlenen toplam PM seviyesi aylık bazda büyük varyasyona sahip iken; Çan ve Lapseki'de benzer aylık değişimler gözlenmiştir. Genel olarak iç ortamlarda en yüksek toplam PM seviyeleri kış aylarında; en düşük toplam PM seviyeleri ise yaz aylarında gözlenmiştir. Yaz aylarında havalandırma oranının

artmasıyla ev havasındaki tozların halı ve yer kaplaması gibi yüzeylere çökmek suretiyle kuru çökeltme mekanizmasıyla havadaki oranının azalması mümkündür. Ayrıca kış döneminde atmosfer sıcaklığının düşmesiyle azalan havalandırma oranlarına ilaveten, ısınma amaçlı yakıt tüketimi ve havaların soğuk olmasıyla insanların ev içerisinde daha uzun vakit geçirmeleri sonucunda insan aktivitelerinin de katkısı olmuş olabilir.

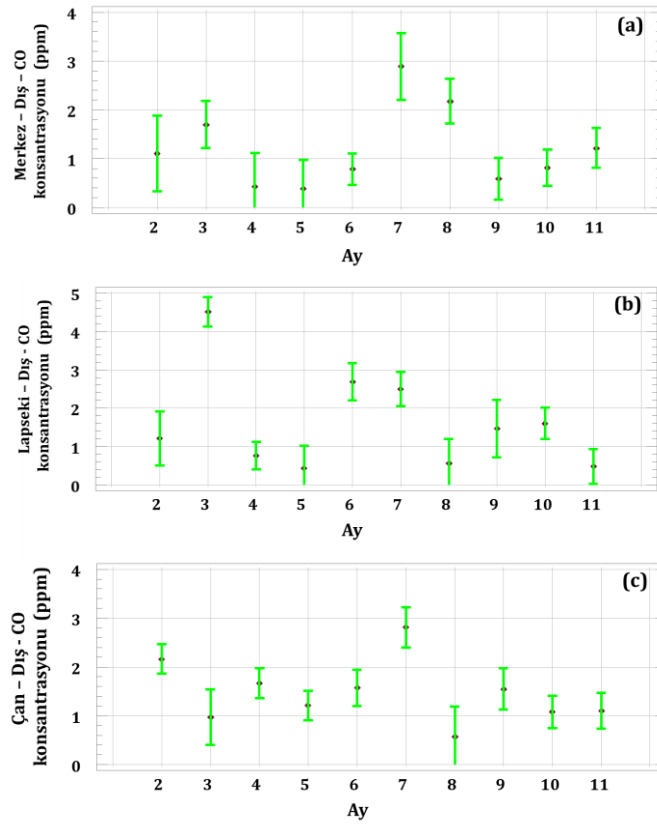
4.3. Karbon monoksit Seviyeleri (Carbon Monoxide Levels)

İç ve dış ortam havasında ölçülen CO seviyesinin (ppm) aylık değişimi, sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir. İç ve dış ortam havasındaki CO düzeylerinin 3 çalışma sahasında da aylık olarak değişiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Şekil 4'e göre, iç ortamda ölçülen CO seviyesinin genel olarak ısınma döneminde daha yüksek olduğu; yaz döneminde ise daha düşük olduğu görülmektedir. Isınma döneminde Lapseki'de iç ortam havasında gözlenen CO seviyesinin, aynı dönemlerde Merkez ve Lapseki ilçelerinde gözlenen CO seviyelerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Lapseki'de yaşayan katılımcıların büyük bir kısmı çiftçi ailesidir ve kış döneminde tarlada çalışma imkanları olmadıkları için vakitlerinin büyük bir bölümünü evde geçirmektedirler. Ayrıca, ısınma amaçlı yakıt tüketimi açısından Lapseki'de odun ve kömürün en temel yakıtlar olması Lapseki'de ısınma döneminde ölçülen göreceli daha yüksek CO seviyesini açıklamaktadır.



Şekil 4. Karbon monoksit (CO) konsantrasyonunun (● ortalama ve I: %95 güven aralığı) iç ortam havasında a) Merkez ilçe, b) Lapseki ve c) Çan'da Bulunan Örnekleme Noktalarında aylık değişimi (ppm) (Monthly distributions of indoor CO levels (I: 95% confidence interval of the mean (●); ppm) a) Central town, b) Lapseki, and c) Çan)

Şekil 5'te dış ortam havasında ölçülen CO seviyesinin aylık değişimi verilmektedir. Merkez ilçede dış ortam havasında ölçülen CO seviyesi, Lapseki ve Çan'da dış ortam havasında ölçülen CO seviyesinden belirgin olarak düşük gözlenmiştir. Merkez ilçede özellikle ısınma döneminde ısınma amaçlı olarak doğalgaz kullanımının yaygın olması; odun ve yerli linyit kullanımının daha yaygın olduğu Lapseki ve Çan'da ölçülen CO seviyelerinden daha düşük olmasını açıklamaktadır. Çan ve Lapseki'de yaz döneminde de yüksek CO seviyelerinin ölçüldüğü de dikkat çekmektedir. Çan'da yer alan linyit bazlı termik santral ile kömür ocaklarındaki yangınların yaz dönemi CO seviyesine katkısı olabileceği düşünülmektedir. Lapseki ise, Ankara-Bursa-Çanakkale-Balıkesir-İzmir güzergahı üzerindeki otoyola çok yakın konumdadır. Özellikle yaz döneminde bu yolun turizm amaçlı olarak seyahat eden yolcular tarafından yoğun bir şekilde kullanılmasının CO seviyesine katkısı olabileceği düşünülmektedir.

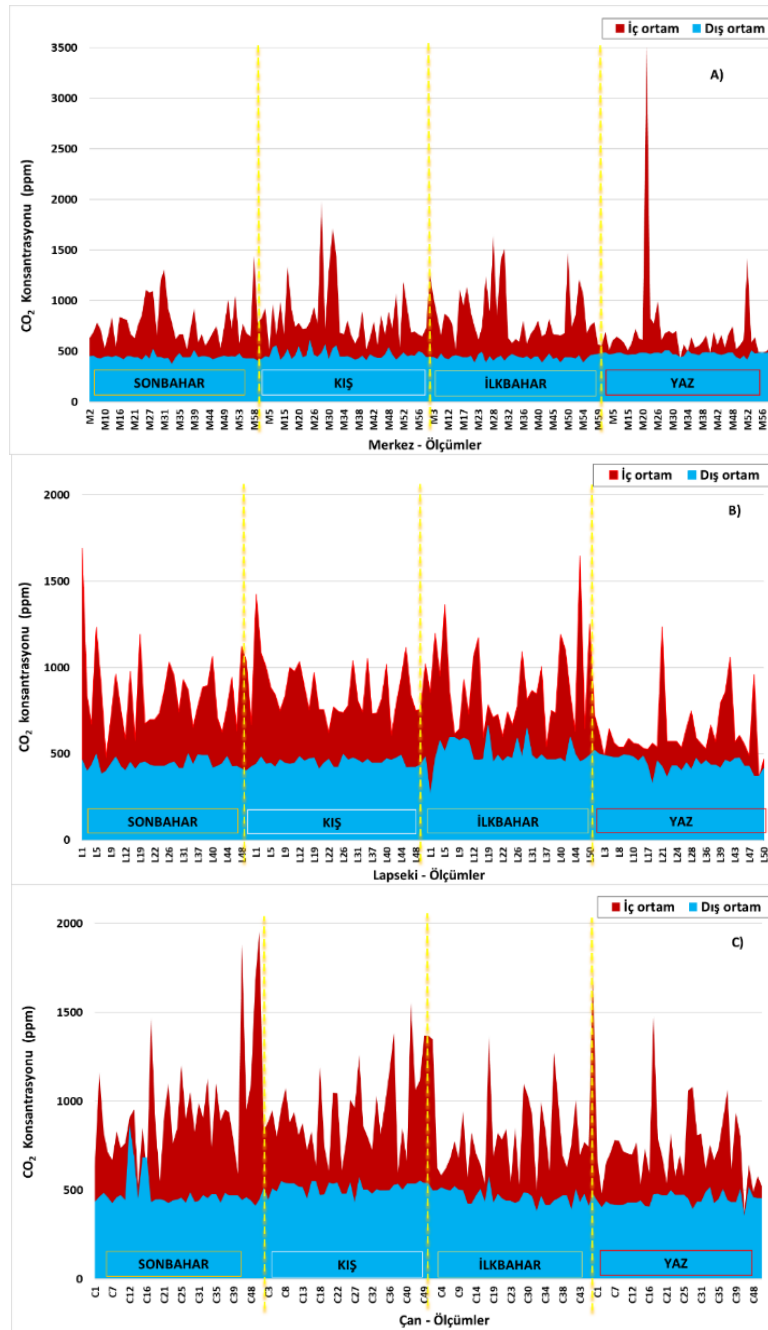


Şekil 5. Karbon monoksit (CO) konsantrasyonunun (● ortalama ve I: %95 güven aralığı) dış ortam havasında a) Merkez ilçe, b) Lapseki ve c) Çan'da aylık değişimi (ppm) (Monthly distributions of outdoor CO levels (I: 95% confidence interval of the mean (●); ppm) a) Central town, b) Lapseki, and c) Çan)

4.4. Karbondioksit Seviyeleri (Carbon dioxide Levels)

İç ve dış ortam havasında ölçülen Karbondioksit (CO₂) seviyesinin (ppm) aylık değişimi Şekil 6'da verilmektedir. İç ve dış ortam havasında ölçülen CO₂ düzeylerinin aylık değişimi istatistiksel olarak anlamlıdır (Çan'da iç ortam havasındaki CO₂ düzeyleri hariç). Buna göre, iç ortamda ölçülen CO₂ seviyesinin genel olarak ısınma döneminde daha yüksek olduğu; yaz döneminde ise daha düşük olduğu görülmektedir. Atmosfer sıcaklığının yüksek olduğu dönemlere kıyasla ısınma döneminde çeşitli faktörler iç ortam havasındaki CO₂ düzeyleri üzerinde etkili olabilmektedir: *i*) evlerde ısı tasarrufu amacıyla havalandırmanın daha az olması, *ii*) dış hava sıcaklığı düşük olması nedeniyle insanların vakitlerinin daha büyük bir kısmını ev ortamında geçirmesi ve *iii*) soba kullanan evlerde katı yakıt kullanımı neticesinde ilave olarak CO₂'nin oluşması. İç ortamlarda ölçülen CO₂ konsantrasyon ortalaması genel olarak 1200 ppm'in altındadır; ancak bazı ölçüm noktalarında bazı aylarda 2000 ppm'in üzerinde CO₂ seviyeleri de gözlenmiştir. CO₂ seviyesinin yüksek olması havalandırma miktarının yeterli olup olmamasına ilaveten, ortamdaki kişi sayısının fazla olduğuna da işaret etmektedir. Havalandırmanın az yapıldığı ısınma döneminde iç ortam havasındaki CO₂'nin kaynağı olarak insan ve/ya evcil hayvan varlığı ve kullanılan yakıtla bağlı olarak ısınma aktivitesi gösterilebilirken; yaz döneminde ölçülen göreceli yüksek sayılabilecek (>1000 ppm) CO₂ seviyesi ise ortamın havalandırma miktarının daha fazla olduğu durumda, insan/hayvan varlığına bağlanabilir (Mentese vd., 2009). Kış döneminde Çan'da ölçülen iç ortam CO₂ seviyesi, Lapseki ve Merkez'de ölçülen seviyelerden biraz daha yüksektir. Çan'da yerli kömür kullanımına bağlı olarak özellikle soba kullanılan evlerde iç ortamlarda CO₂ seviyesinin yükseldiği düşünülmektedir.

Ölçüm yapılan ilçelerde ölçülen dış ortam CO₂ seviyeleri 1000 ppm'in altındadır. En yüksek dış ortam CO₂ seviyelerinin Lapseki'de Mart ayında geniş bir aralıkta (yaklaşık 450-850 ppm) değiştiği gözlenmiştir. Çanakkale Zaferi'nin yıldönümü için Mart ayında özellikle karayolu ile Gelibolu yarımadasını ziyaret etmek için Lapseki'den geçen karayolu üzerinden çok sayıda yerli turist'in seyahat etmesi CO₂ seviyesine katkı sağlamış olabilir. Bunun haricinde genel olarak dış ortam CO₂ seviyesi tüm ölçüm ilçelerinde dar bir aralıkta değişim gösterdiği için belirgin bir aylık değişim eğiliminden bahsetmek pek mümkün değildir.



Şekil 6. İç ve dış ortam havasında ölçülen CO₂ konsantrasyonunun (ppm) a) Merkez ilçe, b) Lapseki ve c) Çan'da bulunan örnekleme noktalarında mevsimsel değişimi (Monthly distributions of indoor and outdoor CO₂ levels (ppm) measured at the sampling points located a) Central town, b) Lapseki, and c) Çan)

4.5. Ölçümü Yapılan Hava Kalitesi Parametrelerinin İç/Dış Ortam (İ/D) Oranların (Indoor-to-Outdoor (I/O) Ratios of the Measured Air Quality Parameters)

Tablo 1’de çalışma sahasında ölçülen hava kalitesi parametrelerine ait İ/D oranlarının aylık değişimleri ortalama değer cinsinden verilmiştir. Buna göre; İ/D oranı ortalama değer olarak Merkez ilçede tüm aylarda CO₂ ve CO açısından 1’den büyük olarak; toplam PM seviyeleri açısından ise sadece ocak ayında 1’den küçük olarak gözlenmiştir. Lapseki’de İ/D oranı ortalama değer olarak tüm aylarda CO₂, toplam PM konsantrasyonları açısından 1’den büyük olarak; CO seviyeleri açısından ise sadece şubat ayında 1’den biraz küçük olarak gözlenmiştir. Çan’da İ/D oranı ortalama değer olarak tüm aylarda CO₂, CO, konsantrasyonları açısından 1’den büyük olarak; toplam PM seviyeleri açısından ise sadece ocak ayında 1’den küçük olarak gözlenmiştir.

Tablo 1. Hava Kirlenici Parametreleri Açısından İ/D Oranlarının Aylık Değişimi
(Monthly variation of I/O ratios of the air pollutants)

Ay	CO ₂ seviyesi İ/D oranı			CO seviyesi İ/D oranı			Toplam PM sayısı İ/D oranı		
	M	L	Ç	M	L	Ç	M	L	Ç
1	1,75	1,85	1,66	NA	NA	NA	0,85	1,11	0,52
2	1,94	1,87	1,87	2,35	0,93	4,21	1,92	1,43	1,64
3	1,89	2,28	1,68	2,27	1,14	3,4	1,67	1,91	2,98
4	1,68	1,75	1,78	3,54	2,65	2,78	1,31	2,18	2,33
5	1,47	1,64	3,19	2,47	3,08	4,01	1,67	2,04	1,17
6	1,34	1,24	2,01	1,31	1,23	2,49	1,32	1,05	2,04
7	1,25	1,25	1,15	5,5	2,33	1,42	1,26	1,26	1,14
8	1,91	1,53	1,58	3,65	1,22	2,62	1,27	1,21	1,12
9	1,33	1,74	1,92	2,78	3,69	2,76	1,57	1,34	2,15
10	1,75	2,05	1,81	2,6	3,81	3,34	1,16	1,87	1,1
11	1,92	1,93	2,44	1,51	7,05	4,31	5,03	1,25	1,63
12*	1,81	NA	2,04	NA	NA	NA	1,38	NA	1,48

*Bu ayda yapılan ölçümlerde sürekli olarak yağmur yağdığı için dış hava ölçümlerinin çoğunun yapılmadığı durumlarda İ/D oranı hesaplanmamıştır.

Not: En yüksek İ/D oranlarının gözlemlendiği aylar koyu olarak gösterilmiştir; NA: yeterli veri mevcut değil; M: Merkez ilçe, L: Lapseki, Ç: Çan.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

PM₁₀ seviyeleri açısından kıyaslandığında; Merkez ilçede yıl boyu gözlenen PM₁₀ seviyelerinin Çan'da gözlenen seviyelerden düşük olduğu görülmektedir. Özellikle ısınma döneminde özellikle lokal kömür ve odun kullanıma bağlı olarak Çan'da PM₁₀ konsantrasyonunda belirgin bir artış eğilimi gözlenirken; Merkez ilçede artan seyahat yoğunluğu nedeniyle trafik kaynaklı yaz ayları boyunca PM₁₀ konsantrasyonlarında artış eğiliminin gözlenmiştir. Lapseki'de yaz döneminde gözlenen PM_{2.5} seviyesinin kış döneminde gözlenen seviyelerden biraz daha düşük olarak gözlenmiş olması; partikül kaynağının kış döneminde özellikle ısınma amaçlı katı yakıt kullanımından kaynaklanabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Türkiye'nin Güney'inde yer alan illerde yapılan bir çalışmada PM₁₀ düzeylerinin trafik ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığı belirlenmiştir (Tepe ve Doğan, 2019).

0,3 mikrometreden küçük partiküllerin (PM_{0.3}) miktarının toplam PM miktarına (0,3-10 mikron) oranının (PM_{0.3}/top PM), her üç ölçüm istasyonuna ait iç ve dış ortam ölçümlerinde %90 civarında olduğu görülmüştür. Son zamanlarda hava ortamında bulunan küçük boyuttaki partiküller özellikle sağlık etkilerinin, daha büyük olan partiküllere (Ör: PM₁₀) göre daha önemli olması nedeniyle dikkat çeken ve yeni çalışmalara dahil edilen bir husus olmuştur (Menteşe, 2009). Bu çalışmada da hava ortamındaki partiküllerin miktar açısından büyük bir kısmının 0,3 mikron gibi düşük boyuttaki partiküllerden oluşması önemlidir.

İç ortamdaki partiküllerin genel olarak iki kaynağının olduğu bilinmektedir; bunlar iç ortam aktiviteleri ve dış ortamdaki taşıyım. Hangi kaynağın daha baskın olduğunu belirleyen faktörler; hava-değişim oranı, dış ortam PM seviyesi, iç ortam aktiviteleri, ortama atılan partiküllerin aerodinamik çapları olarak sıralanabilir (Wallace, 1996; Long vd., 2000; Branis vd., 2005). İç ortamda sigara içimi, ısıtma veya yemek pişirme gibi toz yayıcı bir aktivitenin gerçekleşmediği durumda kişilerin aktiviteleri (yürümek, temizlik yapmak gibi), toz, toprak, deri döküntüleri, mantar sporları, kağıt ve kumaş liflerinden oluşup çökelen tozların tekrar ortama yayılmasına sebep olmaktadır (Monn vd., 1997; Luoma ve Batterman, 2001; Fromme vd., 2007). Özellikle yemek pişirmenin sıklıkla yapıldığı evlerde yapılan bir çalışmada 7 ila 600 nm arasındaki aerosollerin gözlemlendiği (Hussein vd., 2005); başka bir çalışmada ise 40 nm'den küçük çaplardaki aerosollerin sayılarının yüksek olduğu saptanmıştır (Fortmann vd., 2001).

Partiküllerin iç ortam yüzeylerine çökme hızını etkileyen en önemli faktörün havalandırma olduğu birçok çalışma ile belirlenmiştir (Jamriska vd., 2000; Wallace vd., 2004). Ofis ortamlarında, havalandırmanın etkisi ile mikron-altı partikül konsantrasyonlarında azalma sağlandığı tespit edilmiştir (Jamriska vd., 2000). Fromme vd. (2007) tarafından Almanya'da sınıflarda yapılan bir çalışmada, kışın artan PM seviyesinin yetersiz havalandırma sonucu oluştuğu; öğrencilerin fiziksel aktivitelerinin çökelen tozların havalanmasında önemli rol oynadığı tespit edilmiştir.

İç ortamda ölçülen CO seviyesinin genel olarak ısınma döneminde daha yüksek olduğu; yaz döneminde ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Merkez ilçede dış ortam havasında ölçülen CO seviyesi, Lapseki ve Çan'da dış ortam havasında ölçülen CO seviyesinden belirgin olarak düşük gözlenmiştir. Merkez ilçede özellikle ısınma döneminde ısınma amaçlı olarak doğalgaz kullanımının yaygın olması; odun ve kömür kullanımının daha yaygın olduğu Lapseki ve Çan'da ölçülen CO seviyelerinden daha düşük olmasını açıklamaktadır. Özellikle yoğunluğun yaşandığı dönemlerde, trafiğin de göz ardı edilmeyecek bir CO kaynağı olduğu düşünülmektedir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (US EPA), iç ortamdaki kirleticilerin ortamdaki yaşam kalitesini doğrudan etkilediğini vurgulayarak tavsiye olarak yayınladığı standartta, Karbon monoksit parametresi için iç ortamda müsaade edilen maksimum konsantrasyon 9 ppm olarak verilmiştir (US EPA, 2001). Ölçüm yapılan evlerde ortalama değer açısından bu değer aşılmasa da, bazı aylarda bu seviyeye yaklaşık değerler gözlenmiştir. Metin vd. (2011) yaptıkları araştırmada, 2010 yılında ülkemizde 10154 kişinin CO zehirlenmesi şikayeti ile hastanelere başvurduğunu belirtmiştir. Bu vakaların 39'u ölümlerle sonuçlanmıştır. Zehirlenme sıklığı yaklaşık yüz binde 14, ölüm sıklığı ise on milyonda 5 kişi olarak saptamışlardır (Metin vd., 2011). Edirne'deki dokuma faaliyetini sürdüren bir işletmede yapılan bir çalışmada, kapalı ortam hava kalitesinin çalışan kişilerin sağlığına olan etkileri araştırılmıştır. Farklı üretimlerin yapıldığı 9 departmanda ölçümler yapılmış ve kişilerden anket yoluyla kişisel sağlık problemleri hakkında bilgiler alınmıştır. CO seviyelerinin Dünya Sağlık Örgütü ve US EPA'nın tavsiye ettiği 8 saatlik maruziyet değeri olan 9 ppm'in üzerinde olduğu gözlenmiştir. Çalışanlar üzerinde yapılan anketler sonucunda öksürük, nefes darlığı, uyku durumu, göz problemleri, baş ağrısı, stres ve dikkatsizlik gibi şikayetler ile karşılaşmıştır (Motör, 2011).

İç ortamlarda ölçülen CO₂ konsantrasyon ortalaması genel olarak 1200 ppm'in altındadır; ancak bazı ölçüm noktalarında bazı aylarda 2000 ppm'in üzerinde CO₂ seviyeleri de gözlenmiştir. İç ortam havasındaki CO₂ seviyesi; ortamın havalandırma oranının yeterli olup olmadığını gösteren bir indikatör olarak da değerlendirilmektedir. CO₂ seviyesinin yüksek olmasını sağlayan diğer bir etken ise insan/hayvan varlığıdır. CO₂; solunum sonrasında biyo-çıkıtı olarak canlı bünyesinden ortam havasına verildiği için; CO₂ seviyesinin yüksek olması havalandırma miktarına ilaveten, ortamdaki kişi sayısının fazla olduğuna da işaret etmektedir (Menteşe vd., 2009). Havalandırmanın az yapıldığı ısınma döneminde iç ortam havasındaki CO₂'nin kaynağı olarak insan/hayvan varlığı ve kullanılan yakıtı bağlı olarak ısınma ısınma aktivitesi gösterilebilirken; yaz döneminde ölçülen göreceli yüksek sayılabilecek (>1000 ppm) CO₂ seviyesi ise ortamın havalandırılma miktarı fazla olduğu durumda insan/hayvan varlığına bağlanabilir. CO₂ seviyesi, havalandırmanın yeterli olup olmadığını gösteren önemli bir indikatördür (Menteşe, 2009; Heudorf vd., 2009). CO₂ seviyelerinin binalarda nasıl olması gerektiğine yönelik yayınlanan bir standartta %15 memnuniyetsizliğe dış ortam CO₂ seviyesinin yaklaşık 460 ppm üstünde; %20 memnuniyetsizliğe dış ortam CO₂ seviyesinin yaklaşık 660 ppm üstünde ve %30'luk memnuniyetsizliğe ise dış ortam CO₂ seviyesinin yaklaşık 1190 ppm üstünde olması durumunda neden olduğu belirtilmektedir (CEN, 2004; Olesen, 2004). Genellikle 1000 ppm üzeri CO₂ ölçüldüğü zaman ortam havasının kabul edilebilir kalitede olamayacağı ve yetersiz havalandırıldığı sonucuna varılmakta; ancak 1000 ppm'in altında olması durumunda da ortam havasının sağlık açısından yeterli kalitede olduğunu garanti etmemektedir (Apte vd., 2000; Seppanen vd., 1999). Bulut (2012), konut, ofis ve sınıflarda yaptığı bir çalışmada, CO₂ miktarının iç ortam hava kalitesinde belirleyici bir etken olduğunu tespit etmiş ve CO₂ miktarına göre havalandırma yapıldığında enerji tasarrufunun da olacağını vurgulamıştır (Bulut, 2012). Yüksek doluluk oranına sahip olan dersliklerde oldukça yüksek CO₂ değerlerinin gözlemlendiği başka bir çalışmada, doğal havalandırmanın yetersiz olduğu belirlenmiştir (Yurdakul vd., 2019).

İ/D oranı genel olarak ölçümü yapılan CO₂, CO ve PM açısından 1'den büyük olarak bulunmuştur. İ/D oranının 1'den büyük olduğu aylarda ölçülen hava kalitesi parametreleri için baskın olan kirletici kaynağın iç ortam olduğunu ve genellikle insan, hayvan ve bitki varlığının/aktivitelerinin en temel kaynaklar olduğu; İ/D oranının 1'den küçük olduğu aylarda ise baskın olan kirletici kaynağın dış ortam olduğunu söylemek mümkündür (Menteşe vd., 2009; 2012a,b; 2015b; Menteşe ve Tasdibi, 2015; Kalogerakis vd., 2005). Bu nedenle, iç ortamlarda yeterli seviyede havalandırmanın yapılması ile hava sirkülasyonu artırılarak iç ortam kirletici kaynakların etkisinin azaltılması mümkündür.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 112Y059 numaralı proje ile kısmen 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)

- Apte, G., Fisk, J., Daisey, J., 2000. Associations Between Indoor (CO₂) Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in Us Office Buildings: an Analysis of the 1994-1996 Base Study Data (Lbnl 44385). *Indoor Air*, 10, 246-257.
- Arı, A., Argante, J., Meliefst, K., 2008, İskenderun ve Payas'ta Atmosferik PM₁₀ ve PM_{2.5} Derişimlerinin İncelenmesi. Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu. 22-25 Ekim 2008, Hatay.
- ASHRAE, 2003. Ashrae HandbookCD, 2001 Fundamentals. Chapter 9: Indoor Environmental Health, Atlanta, USA.
- Branis, M., Rezáčová, P., Domasová, M., 2005, The Effect of Outdoor Air and Indoor Human Activity on Mass Concentrations of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in a Classroom. *Environmental Research* 99, 143-49.
- Bulut, H., 2012. Havalandırma ve İç Hava Kalitesi Açısından CO₂ Miktarının Analizi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*. Sayı 128 - Mart/Nisan 2012.
- CEN, 2004. Ventilation for non-residential buildings systems. EN 13779, Brussel.
- Choi, S., 2001. CO Poisoning: Systemic Manifestations and Complications. *J.Korean Med. Sci*, 16(3), 253-261.
- Çiçek, İ., Türkoğlu, N. Gürgen, G., 2004, Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi. *Fırat Üni. Sosyal Bilimler Dergisi*, 14, 1-18.
- Fortmann, R., Kariher, P., Clayton, R. 2001, Indoor Air Quality: Residential Cooking Exposures, State of California Air Resources Board (CARB), 97330.
- Fromme, H., Dietrich, S., Twardelle, D., Heitmann, D., Schiert, R., Liebl, B., Rüdén, H., 2007, Particulate Matter in The Indoor Air of Classrooms-Exploratory Results from Munich and Surrounding. *Atmospheric Environment* 41, 854-66.
- Heudorf, U., Neitzert, V., Spark J., 2009, Particulate Matter and Carbon Dioxide in Classrooms - The Impact Of Cleaning And Ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212(1), 45-55.
- Hussein, T., Dal Maso, M., Petäjä, T., Koponen, I.K., Paatero, P., Aalto, P., Hämeri, K., Kulmala, M. 2005. Evaluation of an automatic algorithm for fitting the particle number size distributions, *Boreal Environment Research*, 10, 337-355.
- İncecik, S., 1994. Hava Kirliliği Kitabı, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, s. 26-41.
- Jamriska, M., Morawaska, L., Clark, B.A. 2000. Effect of Ventilation and Filtration on Submicrometer Particles in an Indoor Environment, *Indoor Air*, 10, 19-26.
- Kalogerakis, N., Paschali, D., Lekaditis, V., Pantidou, A., vd. 2005. Indoor Air Quality—Bioaerosol Measurements in Domestic and Office Premises, *J Aerosol Sci*, 36 (5-6), 751-761.
- Kırımhan, P. D. 2006. Hava Kirliliği ve Kontrolü. Ankara: Turhan Kitabevi.
- Long, C., Sulh H., Koutrakis P., 2000. Characterization of Indoor Particle Sources Using Continuous Mass and Size Monitors. *Journal of the Air&Waste Management Association* 50, 1236-50.
- Luoma, M., Batterman, S., 2001. Characterization of Particulate Emissions from Occupant Activities in Offices. *Indoor Air*, 11:35-48
- Masters, G.M., 1991. Introduction to Environmental and Science. Prentice Hall International Editions.
- Mentese, S., Arısoy, M., Rad, A., Güllü, G. 2009, Bacteria and Fungi Levels in Various Indoor and Outdoor Environments in Ankara, Turkey. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 37(6), 487-493.
- Mentese, S., Mirici, N.A., Otkun, M.T., Bakar, C., Cevizci, S., Elbir, T., Palaz, E., Tasdibi, D., Cotuker, O. 2015a, Çanakkale İli Hava Kalitesinin Organik, İnorganik ve Mikrobiyolojik Kirlilik Düzeyinin Kronik Solunum Hastalıkları ile İlişkisi", TÜBİTAK Projesi Final raporu.
- Mentese, S., Mirici, N.A., Otkun, M.T., Bakar, C., Palaz, E., Tasdibi, D., Cevizci, S., Cotuker, O. 2015b. Association between respiratory health and indoor air pollution exposure in Çanakkale, Turkey", *Building and Environment*, 93(1), 72-83.
- Mentese, S., Tasdibi, D. 2016. Airborne bacteria levels in indoor urban environments: The influence of season and prevalence of sick building syndrome (SBS). *Indoor and Built Environment*, 25(3), 563-580.
- Mentese, S., Yousefi Rad, A., Arısoy, M., Gullu, G., 2012a. Multiple Comparisons of Organic, Microbial, and Fine Particulate Pollutants in Typical Indoor Environments: Diurnal and Seasonal Variations, *Journal of Air and Waste Management Association*, 62(12), 1380-1393.
- Mentese, S., Yousefi Rad, A., Arısoy, M., Gullu, G., 2012b. Seasonal and Spatial Variations of Bioaerosols in Indoor Urban Environments, Ankara, Turkey, *Indoor and Built Environment*, 21(6), 797-810.
- Menteşe, S., 2009. Bina İçi Hava Kalitesinin Belirlenmesi ve Kaynaklarının Tespiti, Doktora tezi., Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, s.456.
- Metin, S., Yıldız, Ş., Çakmak, T., Demirbaş, Ş. 2011. 2010 Yılında Türkiye'de Karbon monoksit Zehirlenmesinin Sıklığı, *TAF Prev Med Bull*, 10(5), 587-92.
- Mitscherlich, G., 1995. Die Welt in Der Wir Leben. Entstehung - Entwicklung, Heutige Stand Rombach Ökologie, Rombach Verlag, Freiburg.
- Monn, C., Fuchs, A., Hogger, D., Junker, M., Kogelschatz, D., Roth, N., Wanner, U., 1997. Particulate Matter Less Than 10µm (PM₁₀) and Fine Particles Less Than 2.5µm (PM_{2.5}): Relationships Between Indoor, Outdoor and Personal Concentrations. *Science of the Total Environment* 208, 15-21.
- Motör, D., 2011. Edirne'de Bir İşletmede İç Ortam Hava Kalitesi ve Çalışanların Sağlığına Olan Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Müezzinoğlu, A., 2000. Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları. İzmir: Dokuz Eylül Yayınları.
- Müezzinoğlu, A., 2003. Atmosfer Kimyası. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:305.
- Olesen, B.W., 2004., International standards for the indoor environment. *Indoor Air*, 14(s7), 18-26.
- Özkan, G., 2009, Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısız Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İstanbul
- Schwartz, J., 1999. Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight US counties. *Epidemiology*, 10, 17-22.
- Seppanen, O.A., Fisk, W.J., Mendell, M.J., 1999. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9, 226-252.

- Soylu, S., 2010. Hava Kirliliği ve Kirleticileri Raporu, Sakarya hava kalitesi koruma ve iyileştirme projesi (SAHAKK-İ). www.sahakk.sakarya.edu.tr (erişim: 10.01.2014).
- Tepe, A.M., Doğan, G. 2019. Türkiye'nin Güney Sahilinde Yer Alan Dört Şehrin Hava Kalitesinin İncelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 585-595.
- Turalıoğlu, F.S., Bayraktar, H., Tuncel G., 2008. Erzurum Atmosferinde TSP, PM10, PM10-2.5, PM2.5 Kütleli Konsantrasyonları. Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Mayıs (2008), Konya, Bildiriler Kitabı s.89-97.
- US EPA, 2001. Case Study Two: EPA's Research Triangle Park Laboratory Facility.
- Wallace, L., 1996. Indoor Particles: A Review, Journal of the Air&Waste Management Association, 46, 98-126.
- Wallace, L.A., Emmerich S.J., Howard-Reed C. 2004. Source strengths of ultrafine and fine particles due to cooking with a gas stove. Environmental Science and Technology, 38, 2304-231.
- Weaver, L., Hopkins, R., Chan, K., Churchill, S., Elliott, C., Clemmer, T. 2002. Hyperbaric Oxygen for Acute Carbon Monoxide Poisoning. N Engl J Med 347, 1057-67.
- Yurdakul, S., Ayyıldız, N., Çelik, V.E., İçöz, E. 2019. Süleyman Demirel Üniversitesi Seçili Dersliklerinin İç Çevre Kalitesi Açısından İncelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 811-818.



KETEN TOHUMU YAĞI VE YAĞSIZ SÜT TOZU İÇEREN EMÜLSİYONLARIN PÜSKÜRTEREK KURUTMA İLE ENKAPSÜLASYONU: YAĞ ORANI VE KURUTMA SICAKLIĞININ ETKİLERİ

Kutlu ÇEVİK^{1*}, Hamza ALAŞALVAR², Mustafa ÇAM³, Hasan YALÇIN³

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Karaman, Niğde Türkiye

²Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

³Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Keten Tohumu Yağı,
Yağsız Süt Tozu,
Enkapsülasyon Etkinliği,
Püskürtmeli Kurutucu.*

Öz

Gıda endüstrisinde, yağların oksidatif stabilitesini geliştirmek ve gıda formülasyonlarına ilavesini kolaylaştırmak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri enkapsülasyon işlemidir. Enkapsülasyon işleminin etkinliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu çalışmada, keten tohumu yağının yağsız süt tozu kullanılarak püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsülasyonu amaçlanmıştır. Yağ oranının etkisini belirlemek için üç farklı yağ oranına (%20, 40 ve 60) sahip emülsiyonlar sabit sıcaklıkta (175°C) enkapsüle edilmiştir. Sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için de sabit yağ (%40) oranına sahip emülsiyonlar, üç farklı sıcaklıkta (150, 175 ve 200°C) enkapsüle edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda (175, 200°C) yapılan kurutma işlemlerinde benzer enkapsülasyon verimleri (%39,13-40,74) elde edilmiştir. Ayrıca, en yüksek enkapsülasyon etkinliği (%76,63) ise, düşük yağ oranına (%20) sahip kapsülde olduğu belirlenmiştir. Yağ oranındaki artışın enkapsülasyon etkinliği üzerine olumsuz etki göstermiştir (p<0,05). Yağsız süt tozu kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon işlemi sonrasında kapsüllerin akış özellikleri istenilen düzeyde olmamıştır. Ancak yüksek etkinlik ve verim değerlerinden dolayı keten tohumu yağının enkapsülasyonu için kaplama materyali olarak yağsız süt tozunun kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

ENCAPSULATION OF EMULSIONS CONTAINING FLAXSEED OIL AND SKIM MILK POWDER BY SPRAY DRYING: THE EFFECTS OF OIL RATIO AND DRYING TEMPERATURE

Keywords

*Flaxseed Oil,
Skim Milk Powder,
Encapsulation Efficiency,
Spray Dryer.*

Abstract

In the food industry, one of the methods commonly used to improve the oxidative stability of oils and to facilitate their addition to food formulations is the encapsulation process. The efficiency of the encapsulation process depends on several factors. In this study, it was aimed to encapsulate flaxseed oil by spray drying using skimmed milk powder. To determine the effect of oil ratio, emulsions with three different oil ratios (20, 40, 60%) were spray-dried at a constant temperature (175°C). Also, an emulsion with a fixed oil ratio (40%) was encapsulated at three different temperatures (150, 175, and 200°C) to evaluate the effect of temperature. Similar encapsulation yields (39.13-40.74%) were obtained in drying processes applied at high temperatures (175, 200°C). Besides, the highest encapsulation efficiency (76.63%) was determined in the capsule having low oil ratio (20%). The increase in the oil ratio showed a negative effect on the encapsulation efficiency (p<0.05). The flow properties of the capsules were an undesirable level after the encapsulation process using skimmed milk powder. However, it seems suitable to use skimmed milk powder as a coating material for the encapsulation of flaxseed oil due to its high efficiency and yield values.

Alıntı / Cite

Çevik, K., Alaşalvar, H., Çam, M., Yalçın, H., (2021). Keten Tohumu Yağı ve Yağsız Süt Tozu İçeren Emülsiyonların Püskürterek Kurutma ile Enkapsülasyonu: Yağ Oranı ve Kurutma Sıcaklığının Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 735-742.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Çevik 0000-0003-1187-0901

H. Alaşalvar 0000-0003-3000-7310

M. Çam 0000-0003-1258-0834

H. Yalçın 0000-0002-1038-1877

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 24.11.2020

Revizyon Tarihi / Revision Date 23.01.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date 31.01.2021

Yayın Tarihi / Published Date 21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: kutlucevik@kmu.edu.tr, +90-338-226-2000

1. Giriş (Introduction)

Keten tohumu (*Linum usitatissimum*) yağı ticari değere sahip önemli bir bitkisel yağdır. Keten tohumu yağı yüksek oranda (%75) doymamış yağ asidi içermekte ve yağ asitlerinin önemli bir kısmını (%50-60) α -linolenik asit (ALA, C18:3) oluşturmaktadır. ALA açısından zengin olan yağlar üzerine son zamanlarda yoğun bir ilgi vardır. Çünkü, ALA hem omega-3 yağ asidi grubuna girmekte hem de insan vücudunda sentezlenemediği için esansiyel yağ asidi olarak kabul edilmektedir (Goyal vd., 2014; Jaček vd., 2020). Omega-3 yağ asitlerinin günlük diyetlerle alınması ile kanser ve kardiyovasküler rahatsızlıkların görülme riski azalmaktadır. Omega-3 yağ asidi tüketimi kandaki toplam kolesterol, LDL (kötü kolesterol), trigliserid seviyesini azalttığı, HDL (iyi kolesterol) seviyesini de arttırdığı bilinmektedir (Figueiredo vd., 2017; Gogus ve Smith, 2010; Stupin vd., 2019). İnsan sağlığı üzerine olumlu etkilerine rağmen, ALA (omega-3) bakımından zengin keten tohumu yağı oksidasyon reaksiyonlarından olumsuz etkilenmektedir. Oksidasyon sonucunda, insan vücudunda toksik etkiler gösterebilecek, tat bozukluklarına ve serbest radikallere neden olan uçucu bileşikler oluşmaktadır (Tontul ve Topuz, 2013). Bu sebeple keten tohumu yağı gibi oksidasyon stabilitesi çok düşük olan yağların beslenmede etkin bir şekilde kullanılabilmesi için oksidasyon stabilitesinin artırılması gerekmektedir.

Enkapsülasyon işlemi, özellikle doymamış yağ asidi oranı yüksek olan yağların oksidasyona stabilitesini ve raf ömrünü arttırmak için uygulanan yaygın bir metottur (Icyer vd., 2017; Linke vd., 2020). Ayrıca bu uygulama ile sıvı formda olan yağ, katı (toz) forma dönüşmekte ve bu sayede kullanım kolaylığı sağlanmaktadır. Enkapsülasyon işleminde uygulanabilirliğinin kolay ve pratik olmasından dolayı püskürterek kurutma metodu gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lavanya vd., 2020; Tatar Turan ve Kahyaoglu, 2020). Başarılı bir enkapsülasyon uygulaması için en önemli faktörlerden birisi kaplama materyali seçimidir. Elde edilecek toz ürünlerin enkapsülasyon etkinliği ve enkapsülasyon verimi gibi özellikleri kaplama materyalinin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle de yağların enkapsülasyon uygulamalarında kullanılacak olan kaplama materyallerinin emülsifiye edici özelliğinin iyi olması gerekmektedir (Zhang vd., 2020). Kullanılan kaplama materyallerinin fiyatı da gıda endüstrisinde kullanılabilirlik açısından oldukça önemli bir parametredir. Emülsifiye edici özelliklerinden dolayı peynir altı suyu protein konsantresi (WPC), peynir altı suyu protein izolatu, soya proteinleri, jelatin, kazein ve yağsız süt tozu (YST) gibi birçok kaplama materyali yağların enkapsülasyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Gharsallaoui vd., 2007). Bu kaplama materyalleri içerisinde ulaşılabilirliğinin kolay olması, fiyatının uygun olması, kurabiye (Chauhan vd., 2015) ve kek (Kaçar ve Sivri Özyay, 2019) gibi yaygın tüketimi olan endüstriyel gıda ürünlerinin üretiminde bileşen olarak da kullanılmasından dolayı YST ön plana çıkmaktadır (Shamaei vd., 2017). Balık yağı (Aghbashlo vd., 2013) ve ceviz yağı (Shamaei vd., 2017) gibi doymamış yağ asidi içeriği yüksek olan yağların enkapsülasyonu için YST kaplama materyali olarak kullanılmış ve kaplama materyali olarak etkinliği ortaya konulmuştur. Püskürterek kurutma işleminde, besleme çözeltisi olarak hazırlanan emülsiyonun yağ oranı elde edilen toz ürünlerin fizikokimyasal özellikleri, enkapsülasyon etkinliği ve enkapsülasyon verimi gibi özellikleri üzerine etkilidir. Beslenen emülsiyonun özelliklerinin yanı sıra, püskürtmeli kurutucu işlem şartları da (kurutma sıcaklığı, besleme oranı, hava akış hızı ve aspirasyon hızı) toz ürünlerin özelliklerini etkilemektedir. Bu işlem şartlarından özellikle de kurutma sıcaklığı (giriş sıcaklığı) elde edilen toz ürünlerin özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Aghbashlo vd., 2012; Tontul ve Topuz, 2015). Keten tohumu yağı; gam arabik, WPC, modifiye nişasta, maltodekstrin, sodyum kazeinat, laktoz gibi farklı kaplama materyalleri kullanılarak enkapsüle edilmiştir (Goyal vd., 2015; Tonon vd., 2012; Tontul ve Topuz, 2013). Yağların enkapsülasyon uygulamalarında kullanılacak kaplama materyallerinin emülsifiye edici özelliğinin iyi olması gerektiğinden protein ve karbonhidrat içeriği ayarlanarak işlemler gerçekleştirilmektedir. Hem protein (kazein) hem de karbonhidrat (laktoz) içerdiği için YST yağların enkapsülasyon uygulamalarında tek başına kullanılabilmesi mümkündür. YST fiyatının uygun olması, ulaşılabilirliğinin kolay olması gibi olumlu yönlerinden dolayı enkapsülasyon uygulamalarında etkin bir kaplama materyali olarak kullanılabilir (Setyaningsih vd., 2020).

Bu çalışmada, soğuk pres keten tohumu yağının YST kullanılarak püskürtmeli kurutucuya enkapsüle edilmesi amaçlanmıştır. Püskürtmeli kurutucuya beslenen emülsiyonların yağ oranının ve püskürtmeli kurutucu işlem sıcaklığının toz ürünler üzerine etkileri incelenmiştir. Yağ oranının kapsüller üzerine olan etkisinin belirlenmesi için, farklı yağ oranına sahip emülsiyonlar hazırlanarak sabit şartlarda püskürtmeli kurutucuya beslenerek kapsüller üretilmiştir. Ardından, püskürtmeli kurutucu işlem sıcaklığının etkisini belirlenmesi için, aynı yağ oranına sahip emülsiyonlar hazırlanarak farklı giriş sıcaklıklarında püskürtmeli kurutucu ile kapsüller üretilmiştir. Elde edilen kapsüllerin fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Soğuk pres keten tohumu yağı (Oneva, Türkiye) ve kaplama materyali olarak yağsız süt tozu (YST) (Pınar, Türkiye) yerel marketlerden satın alınmıştır. Çalışmada analitik saflık derecesine sahip kimyasallar (Merck, Almanya) kullanılmıştır.

2.2. Emülsiyon Hazırlama ve Püskürterek Kurutma (Emulsion Preparation and Spray Drying)

Püskürtmeli kurutucuya beslenmesi için hazırlanan tüm emülsiyonların kuru madde (yağ+kaplama materyali) oranı %30 olarak sabit tutulmuştur. İlk olarak, kaplama materyali olan YST saf su içerisine eklenerek manyetik karıştırıcı yardımıyla 10 dakika karıştırılarak homojenize edilmiştir. Sonrasında homojenize edilmiş bu karışıma (saf su+YST) soğuk pres keten tohumu yağı eklenmiş ve homojenizatör (Silverson, L5, İngiltere) yardımıyla maksimum hızda (10.800 rpm) 10 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Homojenize edilmiş emülsiyonlar bekletilmeden püskürtmeli kurutucuya beslenmiştir.

Emülsiyonların püskürterek kurutulmasında laboratuvar ölçekli püskürtmeli kurutucu (Buchi B-290, İsviçre) kullanılmıştır. Tablo 1’de belirtilen farklı yağ oranına (%20, 40 ve 60) sahip örnekler (Y1, Y2 ve Y3) 175°C giriş sıcaklığında püskürtmeli kurutucuya beslenerek kapsüller üretilmiştir. Ayrıca, Tablo 1’de belirtilen aynı yağ oranına (%40) sahip örnekler (S1, S2 ve S3) ise 3 farklı sıcaklıkta (150, 175 ve 200°C) püskürtmeli kurutucuya beslenerek kapsüllerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Tüm kurutma işlemlerinde, püskürtmeli kurutucu emülsiyon besleme hızı 8 ml/dk, aspiratör çalışma hızı %85 ve hava akış hızı 600 L/saat olacak şekilde azot gazı kullanılarak kurutma işlemleri yürütülmüştür. Tüm kurutma işlemleri tamamlanana kadar, üretilen kapsüller sızdırmaz cam şişelere aktarılarak -18°C’de muhafaza edilmiştir.

Tablo 1. Emülsiyonların yağ içeriği ve kurutma işlem sıcaklığı değerleri
(Oil content and drying process temperature values of emulsions)

Örnek	Yağ oranı (%) (Kuru maddede)	İşlem sıcaklığı (°C)
Y1	20	175
Y2	40	175
Y3	60	175
S1	40	150
S2	40	175
S3	40	200

2.3. Toz Ürünlerin Analizleri (Analysis of Powder Products)

2.3.1. Enkapsülasyon Verimi (EV) (Encapsulation Yield)

EV değeri, kurutma işlemi sonrasında toplama haznesinde biriken kapsül miktarı ile püskürtmeli kurutucuya beslenen emülsiyonun kuru madde miktarı arasındaki ilişkiyi yansıtarak Denklem 1’e göre hesaplanmıştır (Kaushik vd., 2016).

$$EV (\%) = \frac{\text{Kurutma sonrasında üretilen kapsül miktarı (g)}}{\text{Beslenen emülsiyonun kuru madde miktarı (g)}} \times 100 \quad (1)$$

2.3.2. Enkapsülasyon Etkinliği (EE) (Encapsulation Efficiency)

Kapsüllerin yüzey yağ değerlerinin belirlenebilmesi için yaklaşık 1 g kapsül erlen içerisine tartılmış ve üzerine 5 ml petrol eteri eklenerek oda sıcaklığında 5 dk hafifçe karıştırılmıştır. Sonrasında erlen içinde bulunan karışım (kapsül+solvent), sabit tartıma getirilmiş cam kapların (ilk tartım) içerisine Whatman no.1 filtre kâğıdından geçirilerek süzülümüştür. Filtre kâğıdın üzerinde kalan tortu (kapsül) tekrardan 5 ml taze petrol eteri kullanılarak 2 kez yıkanmıştır. Alınan yağ değerinin gravimetrik olarak belirlenebilmesi amacıyla cam kaplar 105°C’de 1 saat bekletilerek çözücü uzaklaştırılmıştır. Sonrasında cam kap desikatörde soğutulmuş tartım yapılmış (son tartım) ve Denklem 2’ye göre yüzey yağ değerleri hesaplanmıştır (Başyigit vd., 2020). Kullanılan soğuk pres keten tohumu yağı uçucu özellikte olmadığı için beslenen emülsiyonun yağ oranı emülsiyondaki toplam yağ değeri olarak kabul edilmiştir (Tonon vd., 2011). EE değeri ise beslenen emülsiyonun yağ oranı (toplam yağ) ve kapsüllerin yüzey yağ değerleri kullanılarak Denklem 3’e göre hesaplanmıştır (Frascareli vd., 2012).

$$\text{Yüzey yağ (\%)} = \frac{\text{Son tartım} - \text{İlk tartım}}{\text{Örnek miktarı}} \times 100 \quad (2)$$

$$EE (\%) = \frac{\text{Toplam yağ}-\text{Yüzey yağ}}{\text{Toplam Yağ}} \times 100 \quad (3)$$

2.3.3. Su Aktivitesi (Water Activity)

Kapsüllerin su aktivitesi değeri otomatik su aktivitesi cihazı (AquaLab, ABD) kullanılarak 25°C'de belirlenmiştir. Yaklaşık 5 g kapsül cihazın haznesine konularak cihazın sabit değere gelmesi beklenmiş ve okunan veriler kaydedilmiştir.

2.3.4. Nem Analizi (Moisture Analysis)

Kapsüllerin nem değeri hesaplanabilmesi için cam petri kapları (ilk tartım) sabit tartıma getirilmiştir. Sabit tartıma getirilmiş cam petri kaplarına belirli bir miktarda kapsül tartılmış ve 105°C'de 8-10 saat etüvde (GEMO GT104, Türkiye) bekletilerek yapısında bulunan suyun uzaklaşması sağlanmıştır. Etüvden alınan petri kaplarının soğuması ve ortamdan nem kapmaması için silikajel içeren desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan petri kapları hassas terazi yardımıyla tartılarak (son tartım) Denklem 4'e göre nem değerleri hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\text{Nem değeri (\%)} = \frac{\text{Son tartım}-\text{İlk tartım}}{\text{Örnek miktarı}} \times 100 \quad (4)$$

2.3.5. Renk Değeri Analizi (Colour Value Analysis)

Kapsüllerin renk değerleri (L^* ; koyu-parlak, a^* ; yeşillik-kırmızılık ve b^* ; mavilik-sarılık) renk tayini cihazı (Konica Minolta CR-5, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca kapsüllerin toplam renk farkı değeri (ΔE) YST'nin renk değerleri ($L^*_o:95,97$, $a^*_o:-4,96$ ve $b^*_o:15,91$) kullanılarak Denklem 5'e göre hesaplanmıştır (Castel vd., 2018).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L^*_o)^2 + (a^* - a^*_o)^2 + (b^* - b^*_o)^2} \quad (5)$$

2.3.6. Yığın Yoğunluk, Sıkıştırılmış Yoğunluk, Carr İndeks ve Hausner Oranı (Bulk Density, Tapped Density, Carr Index and Hausner Ratio)

Kapsüllerin yığın yoğunluk değerlerinin belirlenebilmesi için 10 ml hacme sahip cam mezür içerisine herhangi bir baskı uygulamadan toz üründen aktarılmıştır. Yığın yoğunluk değeri, kapsülün kütlelerinin kapladığı hacme oranlanmasıyla belirlenmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk ise kapsülün bulunduğu cam mezürün sert bir zemin üzerine saniyede 1 vuruş olacak şekilde 180 kez vurulmasıyla analiz edilmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk değeri, kapsülün kütlelerinin vurma işlemi sonrasında okunan hacme oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Tatar ve Kahyaoglu, 2015). Carr indeks ve Hausner oranı değerleri yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri kullanılarak Denklem 6 ve Denklem 7'ye göre belirlenmiştir (Goyal vd., 2015). Hesaplanan veriler kapsüllerin akış özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

$$\text{Carr index} = \frac{\text{Sıkıştırılmış yoğunluk} - \text{Yığın yoğunluk}}{\text{Sıkıştırılmış yığın yoğunluk}} \quad (6)$$

$$\text{Hausner oranı} = \frac{\text{Sıkıştırılmış yoğunluk}}{\text{Yığın yoğunluk}} \quad (7)$$

2.4. İstatiksel Analiz (Statistical Analysis)

Elde edilen sonuçların istatistiksel açıdan değerlendirilmesi SPSS 22.0 (SPSS Chicago, ABD) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek yönlü varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile %95 güven aralığında veriler değerlendirilmiştir ($p < 0,05$).

3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

3.1. Enkapsülasyon Verimi (EV), Yüzey Yağ ve Enkapsülasyon Etkinliği (EE) (Encapsulation Yield, Surface Oil and Encapsulation Efficiency)

Tablo 1'de belirtilen şartlarda üretilen toz ürünlerin EV değerleri %27,14-40,74, yüzey yağ değerleri %4,81-33,02, EE değerleri ise %44,59-76,63 arasında değişmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3). Kurutma sıcaklığının ve emülsiyon yağ oranının değişmesi kapsüllerin EV ve EE değerlerini önemli düzeyde ($p < 0,05$) etkilemiştir. Besleme sonrasında

elde edilen kapsül miktarı hakkında bilgi veren EV değeri, emülsiyonun yağ oranının artmasından olumsuz yönde etkilenmiştir ($p<0,05$). Aynı yağ oranına sahip farklı kurutma sıcaklıklarında üretilen kapsüllerin (S1, S2 ve S3) EV değerleri ise sıcaklık artışından olumlu şekilde etkilenmiştir ($p<0,05$). En düşük EV değeri (%27,14), 150°C'de kurutma işlemi yapılarak elde edilen S1 numaralı örnekte belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda yapılan kurutma işleminden üretilen kapsül miktarı düşük olmuştur. Bu durum kurutma işlem sıcaklığının düşük olması sonucu yapıdan suyun uzaklaşmadığı ve kurutma haznesinin iç yüzeyinde daha çok yapışma olması ve dolayısıyla da daha fazla kayıp meydana gelmesi ile açıklanabilir. Yağların enkapsülasyonunda, kurutma sıcaklığının yüksek olması buharlaşmanın daha kısa sürede gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak EV değerinin arttırdığı bilinmektedir (Roccia vd., 2014). Kalkan vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, 140-220°C sıcaklık aralığında fındık yağı ile hazırladıkları emülsiyonları püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Elde edilen kapsüllerin EV değerlerinin %16,37-30,03 arasında değiştiğini ve işlem sıcaklığının artmasının EV değeri üzerine olumlu etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu durum sıcaklığın artmasıyla kapsüllerin nem değerlerinin düşmesine ve dolayısıyla yapışkanlığın azalmasına atfedilmiştir. Kaushik vd. (2016) tarafından keten tohumu yağını püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edildiği bir çalışmada, kapsüllerin EV değerlerinin %35,46-52,60 arasında değiştiği rapor edilmiştir.

Farklı kurutma sıcaklıklarında elde edilmiş örneklerin (S1, S2 ve S3) yüzey yağ ve EE değerlerinde önemli bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). Yüzey yağ değerlerinin kurutma sıcaklığından etkilenmediği belirlenmiştir. Yüzey yağ değeri genelde kaplama materyali ile yağ oranından etkilendiği bilinmektedir (Tonon vd., 2012). Farklı yağ oranına sahip emülsiyonlardan elde edilen kapsüllerin (Y1, Y2 ve Y3) yağ oranının artmasına bağlı olarak yüzey yağ değerinin de önemli düzeyde arttığı ($p<0,05$), EE değerinin ise önemli düzeyde ($p<0,05$) azaldığı belirlenmiştir. Yüksek yağ oranına sahip emülsiyonlardan elde edilen toz ürünlerin yüzey yağ değerinin yüksek olması toz ürünlerdeki yağ damlacıklarının kapsül yüzeyine difüzyon yolunun kısılmasıyla açıklanabilmektedir. Tontul ve Topuz (2014) yaptıkları bir çalışmada, püskürtmeli kurutucuya beslenen emülsiyondaki yüksek yağ oranının toz ürünlerin EE değerini olumsuz yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Farklı yağ oranına sahip emülsiyonlardan elde edilen kapsüllerin (Y1, Y2 ve Y3) EE değerlerinin yağ oranının artmasından negatif yönde etkilendiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Kaushik vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı oranlarda keten tohumu yağına sahip emülsiyonlar hazırlanmış ve püskürtmeli kurutucu ile enkapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kapsüllerin EE değerlerinin %73,43-87,60 arasında olduğunu ve püskürtmeli kurutucuya beslenen emülsiyonun yağ oranının artmasıyla EE değerinin olumsuz şekilde etkilendiğini bildirmişlerdir.

Tablo 2. Farklı yağ oranına sahip emülsiyonlardan elde edilmiş toz ürünlerin analiz verileri
(Analysis values of powders obtained from emulsions with different oil ratio)

Örnek no	EV (%)	Yüzey yağ (%)	EE (%)	a_w	Nem (%)	L^*	a^*	b^*	ΔE	Yığın yoğunluk	Sıkıştırılmış yoğunluk	Carr indeksi	Hausner oranı
Y1	33,79± 0,59 ^b	4,81± 0,37 ^a	76,63± 0,94 ^c	0,24± 0,01 ^b	2,54± 0,29 ^b	94,82± 0,06 ^c	-3,02± 0,02 ^c	11,69± 0,12 ^a	5,04± 0,46 ^a	0,23± 0,00 ^a	0,54± 0,01 ^a	58,51± 0,00 ^b	2,41± 0,00 ^b
Y2	35,02± 0,81 ^b	15,37± 1,63 ^b	60,14± 2,04 ^b	0,23± 0,00 ^a	0,61± 0,06 ^a	92,69± 0,49 ^b	-4,44± 0,11 ^b	18,93± 0,20 ^b	5,35± 1,44 ^a	0,23± 0,01 ^a	0,56± 0,02 ^a	59,01± 2,88 ^b	2,45± 0,17 ^b
Y3	30,83± 0,44 ^a	33,02± 0,64 ^c	44,59± 0,53 ^a	0,22± 0,00 ^a	0,47± 0,04 ^a	89,11± 0,08 ^a	-6,16± 0,02 ^a	32,81± 0,59 ^c	18,78± 0,13 ^b	0,36± 0,01 ^b	0,62± 0,02 ^b	41,04± 2,91 ^a	1,70± 0,08 ^a

^{a,b,c} Aynı sütunda bulunan farklı harfler istatistiksel açıdan farklı olduğunu belirtir ($p<0,05$). Y1: %20 yağ oranı, Y2: %40 yağ oranı, Y3: %60 yağ oranı.

Tablo 3. Farklı giriş sıcaklığında kurutulmuş elde edilmiş toz ürünlerin analiz verileri
(Analysis values of powders obtained by drying at different inlet temperatures)

Örnek no	EV (%)	Yüzey yağ (%)	EE (%)	a_w	Nem (%)	L^*	a^*	b^*	ΔE	Yığın yoğunluk	Sıkıştırılmış yoğunluk	Carr indeksi	Hausner oranı
S1	27,14± 0,47 ^a	15,36± 3,6 ^a	61,60± 9,00 ^a	0,29± 0,00 ^c	1,97± 0,49 ^b	93,40± 0,36 ^a	-4,30± 0,10 ^{ab}	19,27± 0,31 ^{ab}	4,29± 0,45 ^a	0,24± 0,00 ^{ab}	0,56± 0,01 ^b	57,96± 0,93 ^a	2,38± 0,05 ^a
S2	40,74± 0,33 ^b	16,51± 2,34 ^a	58,72± 5,86 ^a	0,23± 0,00 ^b	1,04± 0,12 ^{ab}	93,42± 0,09 ^a	-4,66± 0,16 ^a	20,11± 0,55 ^b	4,93± 0,51 ^a	0,25± 0,00 ^b	0,57± 0,01 ^b	56,28± 0,26 ^a	2,29± 0,01 ^a
S3	39,13± 0,23 ^b	15,49± 0,89 ^a	61,27± 2,23 ^a	0,19± 0,00 ^a	0,80± 0,01 ^a	93,41± 0,18 ^a	-4,24± 0,06 ^b	18,50± 0,26 ^a	3,70± 0,25 ^a	0,22± 0,01 ^a	0,50± 0,04 ^b	56,18± 1,37 ^a	2,28± 0,07 ^a

^{a,b,c} Aynı sütunda bulunan farklı harfler istatistiksel açıdan farklı olduğunu belirtir ($p<0,05$). S1:150°C, S2: 175°C, S3: 200°C.

3.2. Su Aktivitesi, Nem ve Renk Analizi Sonuçları (Water Activity, Moisture and Colour Analysis Results)

Elde edilen kapsüllerin su aktivitesi ve nem değerleri sırasıyla 0,19-0,29 ve %0,47-2,54 arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3). Kurutma işlem sıcaklığı ve emülsiyon yağ oranındaki değişimler su aktivitesi ve nem değerlerini etkilemiştir ($p<0,05$). Beslenen emülsiyonun yağ oranının artması 175°C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemi sonucunda elde edilen toz ürünlerin (Y1, Y2 ve Y3) nem değerini önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,05$). Bu durumun muhtemel nedeni yağ oranının artmasıyla emülsiyonun zayıflaması ve kurutma işlemi esnasında yapıdaki suyun çok daha kolay buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tonon vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada keten tohumu yağı, gam arabik ve modifiye nişasta kullanılarak enkapsüle edilmiştir.

Çalışmada, beslenen emülsiyonun yağ oranının artmasına bağlı olarak kapsüllerin nem değerlerinde azalma olduğunu bildirilmiştir. Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinin kapsüllerin (S1, S2 ve S3) nem değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Yüksek kurutma sıcaklıklarında elde edilen kapsüllerin nem değerinin beklendiği gibi önemli düzeyde azaldığı görülmektedir. Giriş sıcaklığını artması yapıdaki suyun çok daha kolay buharlaşmasına neden olduğu için nem değeri beklendiği gibi azalmıştır. Kapsüllerin nem değeri püskürtmeli kurutucu giriş sıcaklığıyla yakından ilişkilidir (Aghbashlo vd., 2013). Shamaei vd. (2017) ceviz yağı+YST içeren emülsiyonların 180°C 'de püskürterek kurutulması ile üretilen kapsüllerin nem değerlerini %0,99-1,99 arasında belirlemişlerdir. Bu değerler bu çalışmada keten tohumu yağı+YST içeren emülsiyonlar ile elde edilen kapsüllerin nem değerlerine benzerdir.

Keten tohumu yağı kapsüllerinin renk özellikleri ile ilgili değerler Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Keten tohumu yağı kapsüllerinin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerlerinin emülsiyonun yağ oranının değişiminden önemli düzeyde ($p<0,05$) etkilenmiştir. Özellikle b^* değerinin yağ oranının artmasıyla birlikte önemli düzeyde arttığı sarıya daha yakın bir renk aldığı belirlenmiştir. Bu durumun yüzey yağ ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yüzey yağ değeri yüksek olan Y3 örneğinin b^* değerinin de yüksek olduğu, yani keten tohumu yağının renk özelliklerine daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Yağ oranının değişmediği sadece sıcaklığın değiştiği S1, S2 ve S3 numaralı örneklerin toplam renk değişimi değerine bakıldığında önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir ($p>0,05$). Yağ oranının değiştiği Y1, Y2 ve Y3 numaralı örneklerde ise toplam renk değişimi değerinin bu değişimden önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir ($p<0,05$).

3.3. Carr İndeks ve Hausner Oranı Değerleri (Carr Index and Hausner Ratio Values)

Kapsüllerin yığın yoğunluğu $0,22-0,36$ (g/cm^3) değerleri arasında değişmektedir (Tablo 2 ve Tablo 3). Kurutma işlem sıcaklığının değiştiği örneklerde (S1, S2 ve S3) sıcaklığın artmasıyla yığın yoğunluk değerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, yüksek kurutma sıcaklığı ile üretilen kapsüllerin boyutunun büyük olması ile açıklanabilir (Tonon vd., 2011). Aghbashlo vd. (2013) balık yağı+YST içeren kapsüllerin yığın yoğunluk değerlerini $0,248-0,279$ (g/cm^3) arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Aghbashlo vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada 140 , 160 ve 180°C 'de yapılan kurutma işlemlerinde sıcaklığın artmasının bağıl yoğunluğunun azalmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Gözlenen bu azalma, yüksek sıcaklıklarda daha büyük kapsüllerin oluşmasıyla açıklanmıştır.

Kapsüllerin Carr indeks ve Hausner oranı verileri tozların akış özellikleri hakkında genel bilgi vermektedir. Kapsüllerin taşınması esnasında kolaylık sağlaması açısından Carr indeks ve Hausner oranı değerlerinin düşük olması istenmektedir (Goyal vd., 2015). Enkapsülasyon işlemlerinde kullanılan kaplama materyalleri kapsüllerin akış özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Carr indeks ve Hausner değerleri sıcaklık değişiminden etkilenmezken ($p>0,05$), emülsiyonun içerdiği yağ oranından önemli derecede etkilenmiştir ($p<0,05$). Carr indeks değerinin 25'den büyük olması akış özelliklerinin zayıf olduğunu göstermektedir (Goyal vd., 2015). YST kullanılarak üretilen tüm kapsüllerin Carr indeks değeri 40'ın üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3 ve Tablo 4) ve akış özelliklerinin zayıf olduğu belirlenmiştir. YST'nin akış özellikleri zayıf olduğu için, YST akış özelliği iyi olan farklı kaplama materyalleri ile kombine edilerek kullanılması elde edilen toz ürünlerin akış özelliklerini geliştirebileceği düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Suggestion)

Soğuk pres keten tohumu yağının enkapsülasyonunda kaplama materyali olarak YST'nin kullanılabilirliği, farklı yağ oranlarının ve kurutma sıcaklıklarının kapsüller üzerine olan etkileri incelenerek belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinin kapsül verimini olumlu şekilde etkilediği belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutucu ile yapılacak kurutma işlemlerinde $175-200^{\circ}\text{C}$ giriş sıcaklığının seçilmesinin enkapsülasyon verimi açısından uygun olduğu görülmektedir. Düşük yağ oranına sahip emülsiyonlardan elde edilen kapsüllerin enkapsülasyon etkinliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Yağ oranının artması kapsül etkinliğini olumsuz yönde etkilemiş olsa da YST'nin bileşen olarak kullanıldığı kek ve kurabiye gibi endüstriyel ürünlerde yapılacak uygulamalar için kullanılabilirliği 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)

- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., and Rafiee, S. 2012. The correlation of wall material composition with flow characteristics and encapsulation behavior of fish oil emulsion. *Food Research International*, 49(1), 379–388.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., and Rafiee, S. 2013. Influence of Wall Material and Inlet Drying Air Temperature on the Microencapsulation of Fish Oil by Spray Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1561–1569.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. In *Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 17th edn, vol 2, issue no. 41*.
- Başıyigit, B., Sağlam, H., Kandemir, Ş., Karaaslan, A., and Karaaslan, M. 2020. Microencapsulation of sour cherry oil by spray drying: Evaluation of physical morphology, thermal properties, storage stability, and antimicrobial activity. *Powder Technology*, 364, 654–663.
- Castel, V., Rubiolo, A. C., and Carrara, C. R. 2018. Brea gum as wall material in the microencapsulation of corn oil by spray drying: Effect of inulin addition. *Food Research International*, 103, 76–83.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., and Singh, S. 2015. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 939–945.
- Figueiredo, P. S., Inada, A. C., Marcelino, G., Cardozo, C. M. L., Freitas, K. de C., Guimarães, R. de C. A., Hiane, P. A. 2017. Fatty acids consumption: The role metabolic aspects involved in obesity and its associated disorders. *Nutrients*, 9(10), 1–32.
- Frascareli, E. C., Silva, V. M., Tonon, R. V., and Hubinger, M. D. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, 90(3), 413–424.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., and Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121.
- Gogus, U., and Smith, C. 2010. n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(3), 417–436.
- Goyal, A., Sharma, V., Sihag, M. K., Tomar, S. K., Arora, S., Sabikhi, L., and Singh, A. K. 2015. Development and physico-chemical characterization of microencapsulated flaxseed oil powder: A functional ingredient for omega-3 fortification. *Powder Technology*, 286, 527–537.
- Goyal, A., Sharma, V., and Upadhyay, N. 2014. Flax and flaxseed oil : an ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1633–1653.
- Icyer, N. C., Toker, O. S., Karasu, S., Tornuk, F., Kahyaoglu, T., and Arici, M. 2017. Microencapsulation of fig seed oil rich in polyunsaturated fatty acids by spray drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(1), 50–57.
- Jaček, M., Hrnčířová, D., Rambousková, J., Dlouhý, P., and Tůma, P. 2020. Effect of food with low enrichment of N-3 fatty acids in a two-month diet on the fatty acid content in the plasma and erythrocytes and on cardiovascular risk markers in healthy young men. *Nutrients*, 12(8), 1–12.
- Kaçar, D., and Sivri Özyay, D. 2019. Olive oil shortenings as an alternative to commercial shortenings in cake production: physical and sensory properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2846–2852.
- Kalkan, F., Vanga, S. K., Murugesan, R., Orsat, V., and Raghavan, V. 2017. Microencapsulation of hazelnut oil through spray drying. *Drying Technology*, 35(5), 527–533.
- Kaushik, P., Dowling, K., McKnight, S., Barrow, C. J., and Adhikari, B. 2016. Microencapsulation of flaxseed oil in flaxseed protein and flaxseed gum complex coacervates. *Food Research International*, 86, 1–8.
- Lavanya, M. N., Kathiravan, T., Moses, J. A., Anandharamakrishnan, C., Kathiravan, T., Moses, J. A., and Anandharamakrishnan, C. 2020. Influence of spray-drying conditions on microencapsulation of fish oil and chia oil. *Drying Technology*, 38(3), 279–292.
- Linke, A., Hinrichs, J., and Kohlus, R. 2020. Impact of the powder particle size on the oxidative stability of microencapsulated oil. *Powder Technology*, 364, 115–122.
- Roccia, P., Martínez, M. L., Llabot, J. M., and Ribotta, P. D. 2014. Influence of spray-drying operating conditions on sunflower oil powder qualities. *Powder Technology*, 254, 307–313.
- Setyaningsih, D., Kurniawan, D., and Muna, N. 2020. Encapsulation of ginger oleoresin with a combination of maltodextrin and skim milk powder as wall material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472, 1–11.
- Shamaei, S., Seiedlou, S. S., Aghbashlo, M., Tsotsas, E., and Kharaghani, A. 2017. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 101–112.
- Stupin, M., Kibel, A., Stupin, A., and Mihalj, M. 2019. The Physiological Effect of n-3 Polyunsaturated Fatty Acids (n-3 PUFAs) Intake and Exercise on Hemorheology , Microvascular Function , and Physical Performance in Health and Cardiovascular Diseases ; Is There an Interaction of Exercise and Dietary n-3 PUF. *Frontiers in Physiology*, 10, 1129.

- Tatar, F., and Kahyaoglu, T. 2015. Microencapsulation of Anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) Oil: Emulsion Characterization and Optimization by Response Surface Methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 624–633.
- Tatar Turan, F., and Kahyaoglu, T. 2020. The effect of an ultrasonic spray nozzle on carbohydrate and protein-based coating materials for blueberry extract microencapsulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 120-30.
- Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., and Hubinger, M. D. 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1), 282–289.
- Tonon, R. V., Pedro, R. B., Grosso, C. R. F., and Hubinger, M. D. 2012. Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying: Effect of Oil Load and Type of Wall Material. *Drying Technology*, 30(13), 1491–1501.
- Tontul, I., and Topuz, A. 2013. Mixture Design Approach in Wall Material Selection and Evaluation of Ultrasonic Emulsification in Flaxseed Oil Microencapsulation. *Drying Technology*, 31(12), 1362–1373.
- Tontul, Ismail, and Topuz, A. 2014. Influence of emulsion composition and ultrasonication time on flaxseed oil powder properties. *Powder Technology*, 264, 54–60.
- Tontul, Ismail, and Topuz, A. 2015. Chapter 13. Microencapsulation of Plant Oils Rich in Alpha-Linolenic Acid_ Effect of Processing Parameters. *Microencapsulation and Microspheres for Food Applications*, 253–270.
- Zhang, Y., Pang, X., Zhang, S., Liu, L., Ma, C., Lu, J., and Lyu, J. 2020. Buttermilk as a wall material for microencapsulation of omega-3 oils by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 109320.



27 HAZİRAN 1998 ADANA ($M_w=6.2$) DEPREMİNİN UZAK ALAN DALGA ŞEKİLLERİNDEN ELDE EDİLEN FAYLANMA PARAMETRELERİ

Emrah BUDAKOĞLU*, Murat UTKUCU

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
27 Haziran 1998 Adana Depremi, Nokta Kaynak Ters Çözümü, Telesismik Dalga Şekli Modellemesi.	Doğu Anadolu Fay Zonu uzanımının tartışma konusu olduğu Kilikya Havzasında 27 Haziran 1998 yılında orta büyüklükte ($M_w=6.2$) bir deprem meydana gelmiştir. Çalışmada depremin kaynak parametreleri belirlenmesi amacıyla deprem kaynağı nokta-kaynak ters çözüm yöntemi telesismik P ve SH dalga şekilleri kullanılarak yapılmıştır. Nokta-kaynak modellemesinde gözlenmiş-kuramsal dalga şekilleri arasında yaklaşık olarak aynı derecede uyum gözlenmiştir. Böylece tek alt olaylı bir kırılma süreci nokta kaynak gösteriminde depremin kırılma süreci olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda nokta kaynak modellemesi denemeleri 24 km' de kaynak lokasyonu ile derin alt kabukta bir kırılmayı gerektirmektedir. Kaynak mekanizması çözümünde KD-GB yönelimli (doğrultu=57°, eğim=70° ve kayma açısı=20°) düğüm düzlemi fay düzlemi olarak belirlenmiştir ve yakındaki Göksu fay zone ile paralellikten sapmış bir görüntü vermiştir. Nokta kaynak modeli için sismik moment 2.24×10^{18} Nm ($M_w=6.2$) olarak hesaplanmıştır. Telesismik modelleme sonuçları bir bütün olarak deprem kırılmasının Göksu Fay Zonu (GFZ)' nin yeryüzüne ulaşmayan, GD eğimli ve GFZ' nin yüzeydeki haritalanmış izinden farklı doğrultulu bir dalı üzerinde gerçekleştiğini önermektedir.

FAULT PARAMETERS THE JUNE 27, 1998 ADANA EARTHQUAKE ($M_w=6.2$) FROM THE TELESEISMIC WAVEFORMS

Keywords	Abstract
27 June 1998 Adana Earthquake, Teleseismic Point-Source Modelling, Teleseismic Waveform Inversion.	The moderate-sized June 27, 1998 Adana earthquake ($M_w=6.2$) occurred in the Clica Basin, where a possible extent of the Eastern Anatolian fault is under question. In the present study point-source inversions of the earthquake source are carried out using the teleseismic P and SH waveform in order to determine the source parameters. In the point source modeling stage nearly the same fit is achieved between the observed and the synthetic waveforms for the single and multiple source inversions. Therefore, a single subevent rupture process is considered for the earthquake rupture process. It is also found in the point source modeling trials that the data is requires a deep lower crust rupture with a source location at 24 km depth. The NE-SW trending nodal plane (strike=57°, dip=70° and rake=20°) of the source mechanism is subparallel to the nearby Göksu fault zone and is considered as the fault plane. A seismic moment of 2.24×10^{18} Nm ($M_w=6.2$) is calculated for the point source model. As a whole the teleseismic modeling suggests that the earthquake rupture occurred on a branch fault within the GFZ that do not reach the free surface, dips SE and strikes differently from the surface trace of the GFZ.

Alıntı / Cite

Budakoğlu, E., Utkucu, M., (2021). 27 Haziran 1998 Adana ($M_w=6.2$) Depreminin Uzak Alan Dalga Şekillerinden Elde Edilen Faylanma Parametreleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 743-757.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Budakoğlu, 0000-0002-9897-2435
M. Utkucu, 0000-0001-7528-937X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.02.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.03.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

*İlgili yazar / Corresponding author: ebudakoglu@sakarya.edu.tr, +90-264-295-5710

1. Giriş (Introduction)

Türkiye bulunduğu konum itibarıyla tektonik hareketlere sıkça maruz kalan ve bunun neticesinde eski çağlardan günümüze kadar birçok şiddetli depreme sahne olan bir ülkedir. Bu depremlerin insanlığın kendisine, yaşadığı çevre ve medeniyetlere büyük zarar vermesinden ötürü depremler her çağda merak edilmiş doğal olaylardır. Özellikle son yıllarda ülkemizde meydana gelen şiddetli depremler büyük can ve mal kayıplarına neden olmuş bu doğrultuda depremlerin özelliklerinin anlaşılması, oluş sebeplerinin ve zararlarının azaltılması çalışmalarının ne kadar önemli olduğunu bir kez daha gözler önüne sermiştir.

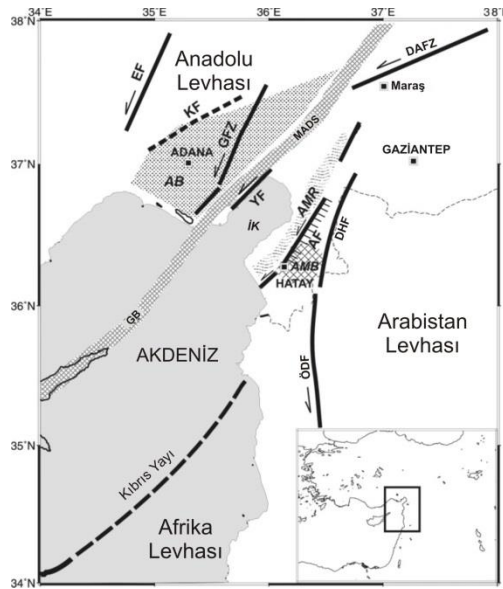
Teknolojinin gelişmesiyle depremlerin kayıt edilme işlemleri gelişmiş ve bunun sonucunda deprem kaynağının incelenmesiyle ilgili detaylı çalışmalar ortaya konmaya başlamıştır. Günümüze kadar yapılan araştırmalardan dalga kayıtlarının biçim ve frekans içeriğini etkileyen başlıca parametrelerin kaynak etkisi, yayılma etkisi ve alet etkisi olduğunu bilinmektedir (Lay ve Wallace, 1995). Bu parametrelerin her birini matematiksel olarak modellemek ve bunlardan yapay olarak sismogram oluşturmak mümkündür. Matematiksel olarak hesaplanan dalga şekilleri kuramsal (yapay) dalga şekilleri olarak adlandırılır. Modellemenin doğruluğunun teyit edilmesi depremin modellenmiş kuramsal dalga şekilleri ile gerçek kayıtlarının karşılaştırılması yani dalga şekli modellemesi (waveform modelling) yapılmasından geçer. Sismolojide yerin iç yapısını ve deprem kaynağını oluşturan faydaki kırılma sürecinin belirlenmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden biri dalga şekli modellemesidir.

Bu çalışmada 27 Haziran 1998 Adana depreminin ($M_w=6.2$) uzak alan cisim dalgaları analiz edilerek depremin kaynak parametreleri ve kırılma özellikleri nokta kaynak yöntemi (Kikuchi ve Kanamori, 1991) kullanılarak belirlenmeye çalışılacaktır. Telesismik analiz ile elde edilen kaynak yerleri güvenilir olarak bulunmuş artçı deprem dağılımı ile karşılaştırılarak deprem kırılması hakkında yorumlarda bulunulacaktır. Son olarak elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak deprem kaynağı ve civarının sismotektoniği hakkında yorumlarda bulunulacaktır.

2. Kilikya Bölgesinin Tektonik Özellikleri (Tectonic Features of the Cilicia Region)

Kilikya bölgesi, önemli levha hareketleri ve önemli fay zonlarının etkisine maruz kalmış ve bunun neticesinde uğradığı deformasyon ile bünyesinde pek çok farklı yapısal unsuru bulundurmaktadır. Bölgede sıkışma, gerilmeli ve doğrultu atımlı unsurların çoğu gözükmektedir. Arap levhası Anadolu levhası ile çarpışırken bu çarpışma rejimi batıda göreceli bir dalma-batma rejimine dönüşmekte ve Afrika levhası Kıbrıs yayı boyunca Anadolu levhası altına dalmaktadır. Bu iki tektonik rejimin etkisini sürdürdüğü bölgeler arasındaki geçiş bölgesi Doğu Anadolu Fayı Zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile kontrol edilmektedir (Ergin, 1999; Ergin vd. 2004; Westaway, 2004) (Şekil 1) ve bu faylar bölge için en etkin yapısal unsurlardır. Hatay Amik havzası civarında gözlenen yerel bir açılma rejiminin bu iki fayın birleştiği bölge olduğu iddia edilmektedir (Över vd., 2001). Bölgenin önemli yapısal unsurlarından diğerleri ise Bitlis-Zagros Bindirme ve Kıvrım Kuşağı'dır. Bunun yanında tektonik olarak bir geçiş bölgesi olan Kilikya Havzası içerisinde ve yakın civarında Anadolu levhasının iç deformasyonunu karşılayan çok sayıda sol yönlü doğrultu atımlı fay zonu gelişmiştir. Bunlar Göksu ve Ecemiş fay zonları ile Yumurtalık-Karataş ve Kozan fay zonlarıdır (Şekil 1) (Ergin, 1999; Alp, 2009).

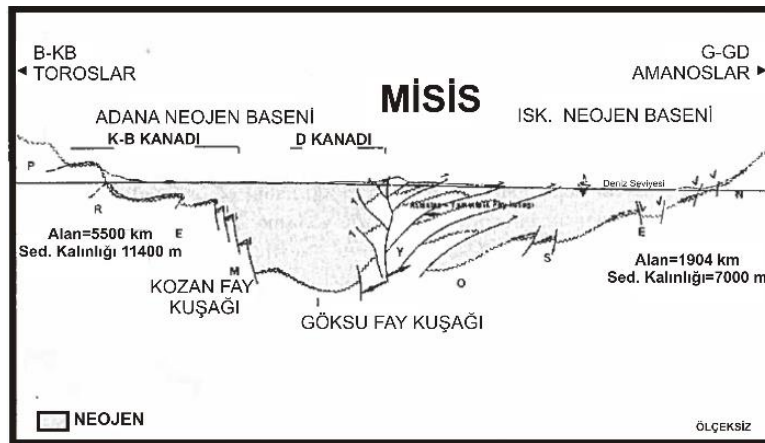
Bölgede Türkiye'nin güneydoğusundan başlayıp ve Girne'ye kadar devam etmekte olan yay biçimli yüksek bir yapı bulunmaktadır. Genişliği 10 km'den az olan bu yapı sismik çalışmalardan elde edilmiştir. Aynı zamanda yapının uzunluğu 450 km'ye kadar çıkmaktadır. Bu yapı Adana-Kilikya Basenleri ile İskenderun-Latakya Basenleri olarak bilinen iki baseni birbirinden ayırmaktadır (Biju-Duval vd., 1974; Anastasakis ve Kelling, 1991; Ergin, 1999; Burton-Ferguson vd., 2005; Aksu vd., 2005; Aksu vd., 2014). Derinliği 1000 m'nin üzerinde olan Kilikya Havzasının sahil kısmındaki devamını oluşturan Adana Baseni Neojen çökellerle doludur. Kilikya Havzası, Adana Havzası'nın denizde Kıbrıs'a doğru olan uzantısını temsil etmektedir. Alt Miyosen döneminde oluşuma başlayan bu basen günümüze kadar kabaca 6 km kalınlığında sediment tabakası ile örtülmüştür (Ergin, 1999; Biju-Duval vd., 1974; Anastasakis ve Kelling, 1991). Dewey vd. (1986) yaptığı çalışmalar sonucu İskenderun Baseni ve Adana Baseni'nin çek-ayır basenleri olduğu öne sürmektedirler. Bu çek-ayır basenleri DAFZ'nun kolları arasında gelişmiştir.



Şekil 1. Kiliya bölgesi ve civarının tektonik unsurlarını şematik olarak gösteren harita. Tüm aktif faylar sol yönlü doğrultu atımlıdır (Ergin vd., 2004' den değiştirilmiştir). AB, Adana Baseni; AF, Amanos Fayı; AMB, Amik Baseni; ÖDF, Ölü Deniz Fayı; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; EF, Ecemiş Fayı; DHF, Doğu Hatay Fayı; GFZ, Göksu Fay Zonu; İK, İskenderun Körfezi; KF, Kozan Fayı; GB, Girne Bindirmesi; MADS, Misis Andırın Dağ Silsilesi; YF, Yumurtalık-Karataş Fayı (Map showing schematically the tectonic elements of the Cilicia region and its surroundings. All active faults are left-lateral strike-slip (modified from Ergin et al., 2004). AB, Adana Basin; AF, Amanos Fault; AMB, Amik Basin; ÖDF, Dead Sea Fault; EAFZ, East Anatolian Fault Zone; EF, Ecemiş Fault; DHF, East Hatay Fault; GFZ, Göksu Fault Zone; İK, Iskenderun Bay; KF, Kozan Fault; GB, Kyrenia Thrust; MADS, Misis Andırın Mountain Range; YF, Yumurtalık-Karataş Fault)

Deprem meydana geldiği bölgede K25°D uzanımlı sol yanal atımlı Göksu Fay Zonu (GFZ) bulunmaktadır. Ortalama 35-40 km genişliğinde olan GFZ, Gülen vd. (1987)' ye göre 170 km, bir diğer araştırmacı Özer ve Çuhadar (1986)' ya göre ise 130 km uzunluğunda olarak belirtilmiştir. Bu fayın oluşumunda Anadolu Bloğunun içsel deformasyonları etkin bir rol oynamıştır. İlk olarak Sarı ve Taşköprü ilçeleri arasında uzanan fay daha sonra ise Taşköprü'den güneybatı yönünde ilerleyerek Akdeniz'e Misis dağlarının kuzeybatı sınırını oluşturmaktadır (Ergin, 1999; Ökeler, 2003; Özer ve Çuhadar, 1986; Karıg, 1990; Robertson vd., 2004). GFZ, sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olup yönü KD-GB doğrultuludur. Bu fayın eğimi düşeye yakın ve fay düzlemi boyunca iki yöne değişkenlik göstermektedir.

GFZ' nun doğu ve batısı kendisine paralel olarak çok sayıda fay ile parçalara ayrılmıştır. Bu fayların doğrultuları K-G ve KKD-GGB yönündedir. Bunun yanında doğu bloğu kısmında ters atım bileşenli faylar gözlemlenmektedir. Bazı kesimlerde bu ters fayların yanında doğru atım bileşenli olan D-GD eğimli ters faylarla karşılaşmaktadır. KD yönünde bulunan Göksu-Daroluk arasındaki vadide mevcut fayların aniden kesildiği gözlemlenmektedir. Bu bölgede K-G doğrultulu uzanan fay olasılığı mevcuttur. Ayrıca faylar etkinliğini sıkışmanın güneybatıdan kuzeydoğuya azalması ile yitirmektedir (Perinçek vd., 1987; Ergin, 1999; Ökeler, 2003). Kiliya baseninde yapılan sismik yansıma ve jeolojik çalışmalar Göksu Fay Zonu içinde yer alan birçok gömülü fay veya fay parçasının varlığını ortaya çıkarmıştır (Şekil 2), (Williams vd., 1995; Çoban vd., 1999; Burton-Ferguson vd., 2005).

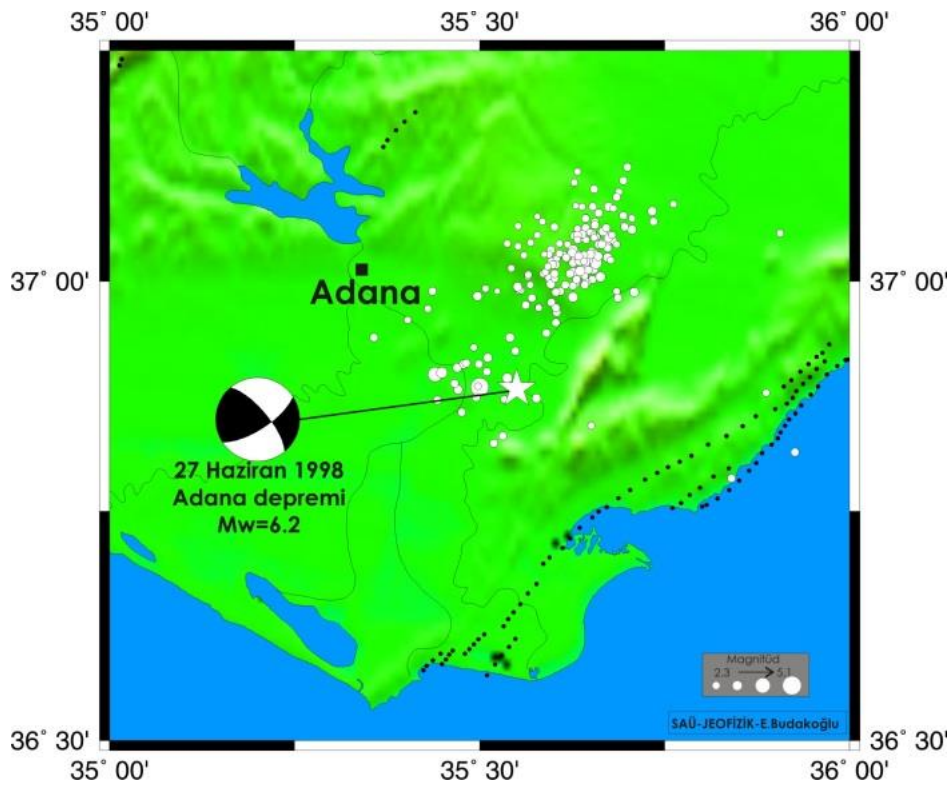


Şekil 2. Adana-İskenderun Neojen Basenleri boyunca alınmış KB-GD yönlü basitleştirilmiş jeolojik kesit (A simplified geological section in NW-SE direction taken along the Adana-İskenderun Neogene Basins) (Çoban et al., 1999)

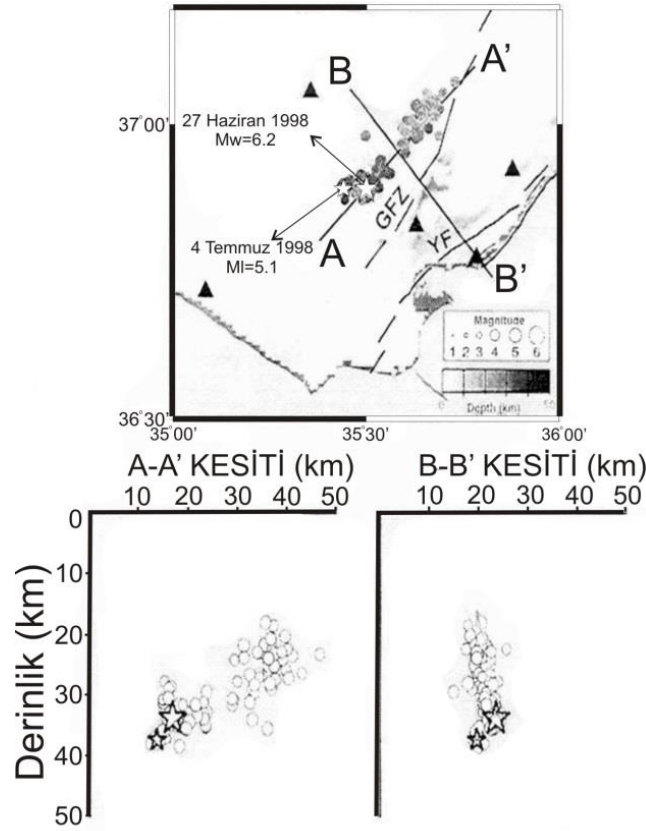
3. 27 Haziran 1998 Adana Depremi (The June 27, 1998 Adana Earthquake)

Türkiye'nin yoğun nüfus ve sanayileşmiş bölgelerinden biri olan Adana havzasında 27 Haziran 1998 tarihinde saat 13:55' de (GMT) büyüklüğü $M_w=6.2$ koordinatları $36^{\circ}.53K$ ve $35^{\circ}.33D$ olan 32 km derinlikte bir deprem meydana gelmiştir (Aktar vd., 2000). Deprem dış merkezine 30-35 km uzaklıkta olan Adana şehri ve Ceyhan ilçesi bu depremden oldukça etkilenmiş ve bu felaket 145 can kaybı ve 1000' in üzerinde yaralanmaya neden olmuştur (Gündoğdu vd., 1999). Aynı zamanda bölgedeki çoğu bina yıkılmış birçoğu da oturulmayacak duruma gelmiştir. Adana depreminde meydana gelen can ve mal kaybında yerel jeolojik koşulların önemli olması (Çelebi, 2000) ve bölgede TÜBİTAK tarafından işletilen Kilikya Sismograf Ağı'nın (Ergin, 1999; Aktar vd., 2000; Ergin vd., 2004) ortasında meydana gelmesi depremi önemli kılmış ve bölgedeki güncel tektoniğin irdelenmesine olanak sağlamıştır.

Ana şokun ardından bölgede en büyük artçı deprem 4 Temmuz 1998 tarihinde $ML=5.1$ büyüklüğünde meydana gelmiştir (Aktar vd., 2000). Bölgede TÜBİTAK tarafından işletilen Kilikya Sismograf Ağı tarafından kaydedilmiş olan anaşok ve artçı depremlerin dağılımlarını gösteren harita Şekil 3' de verilmiştir. Ayrıca artçı depremlerin yoğunlaştığı Göksu Fay Zonu doğrultusunda yaklaşık olarak paralel ve fayı dik olarak kestiği düşünülerek alınan iki kesit görünümü Şekil 4' de verilmiştir (Aktar vd., 2000). Artçı depremlerin derinliğinin yaklaşık olarak 17-37 km arasında yoğunlaştığı ve KD' ya doğru yönelmekte olduğu açıkça gözükmemektedir. Bu bilgiler Adana depremi kaynak bölgesinde derin bir sismojenik zonun varlığını desteklemektedir (Aktar vd., 2000). Ayrıca Ergin vd. (1999) depremin artçı sarsıntılarında hesaplanan fay düzlemi çözümlerinin büyük çoğunluğunun KD-GB doğrultulu sol yanal faylanmalara karşılık geldiğini, tüm artçı depremlerden bulunan birleşik odak mekanizması çözümünün 55° doğrultulu ve 75° GD eğimli bir düzlem üzerinde tamamen sol yanal bir faylanma belirlediğini ve bu fay düzlemi çözümleri için yapılan gerilme tensörü analizi sonuçlarının da DB yönlü bir açılma ve KG yönlü bir sıkışma kaynaklı bir tam yanal atımlı tektonik rejimi önerdiğini göstermiştir.



Şekil 3. Kilikya Sismograf Ağı tarafından ana şok (yıldız ile simgelenmiştir) sonrası bölgede bir aylık dönem içerisinde gözlenmiş artçı şoklar (Aftershocks were observed within a month period in the region after the mainshock (symbolized with a star) by the Cilician Seismograph Network) (Aktar et al., 2000)



Şekil 4. Kilikya Sismograf Ağı tarafından kaydedilmiş 27 Haziran 1998 Adana depremi artçı şokların dağılımı. Derinlik kesitleri A-A' ve B-B' konumları (Aktar vd., 2000'den değiştirilmiştir). GFZ, Göksu Fay Zonu' nu; YF, Yumurtalık Fay Zonu' nu temsil etmektedir (Distribution of aftershocks from the 27 June 1998 Adana earthquake recorded by the Cilicia Seismograph Network. Depth sections A-A' and B-B' positions (modified from Aktar et al., 2000). GFZ represents Göksu Fault Zone and YF represents Yumurtalık Fault Zone)

27 Haziran 1998 Adana depreminin USGS, HRV gibi ulusal ve uluslararası deprem enstitüleri ve araştırma kurumlarınca ve Aktar vd. (2000) ve Arpacıoğlu (2000) tarafından belirlenen kaynak parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu parametreler doğrultusunda belirlenen odak mekanizmaları çözümleri Şekil 5' de harita üzerinde gösterilmiştir.

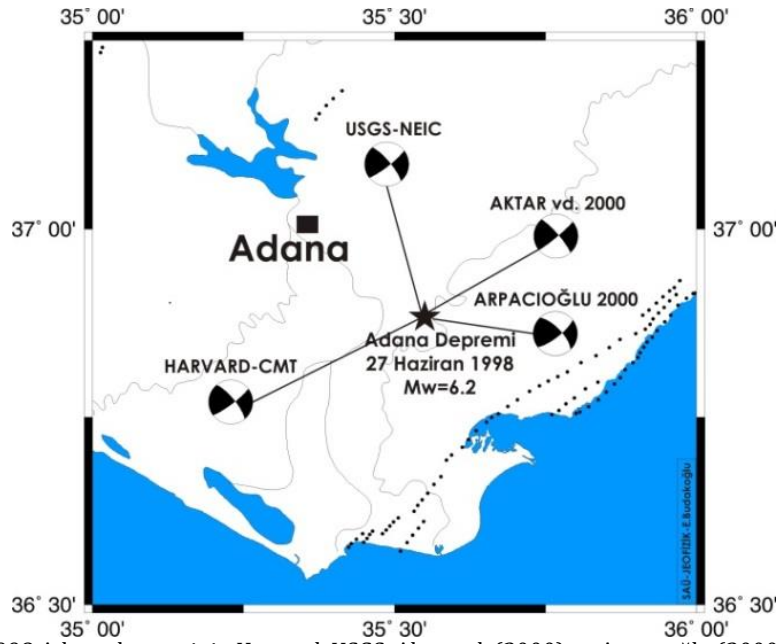
Tablo 1. 27 Haziran 1998 Adana depreminin kaynak parametreleri
(Source parameters of the 27 June 1998 Adana earthquake)

	USGS		HRVD		Aktar vd (2000)		Arpacıoğlu (2000)
Enlem(°)	36.94		36.87		36.53		-
Boylam(°)	35.30		35.58		35.33		-
Derinlik (km)	14		29.5		32		18
M_0 ($\times 10^{18}$ Nm)	3.96		2.96		3.63		2.63
Moment magnitüd (M_w)	6.3		6.2		6.2		6.2
Doğrultu(°)	323	52	321	53	65*	50 ⁴	52 [□]
Eğim(°)	77	81	75	81	90	85	75
Kayma(°)	170	13	121	15	5	10	22

*P dalgası ilk hareket yönünden elde edilen kaynak mekanizması (Source mechanism obtained from the P wave initial motion direction)

⁴P dalga şekli ters çözümlemesi sonucu elde edilen kaynak mekanizması (Source mechanism obtained as a result of P waveform inversion)

[□]P dalga şeklinin Kikuchi ve Kanamori yöntemine göre ters çözümü (Inversion of the P waveform according to the Kikuchi and Kanamori method)



Şekil 5. 27 Haziran 1998 Adana depreminin Harvard, USGS, Aktar vd. (2000) ve Arpacioğlu (2000) tarafından belirlenen odak mekanizması çözümleri. Faylanma parametreleri için Tablo 1'e bakınız. USGS: Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu, HARVARD: Harvard Üniversitesi (According to Harvard, USGS, Aktar et al. (2000), and Arpacioğlu (2000) focus mechanism solutions. See Table 1 for faulting parameters. USGS: American Geological Survey, HARVARD: Harvard University)

4. Yöntem (Method)

Deprem oluşumundan sonra sismik istasyonlarda kaydedilen cisim dalgalarının spektrumu ve dalga şekilleri, kaynak ve yırtılma mekanizması hakkında önemli bilgiler taşımaktadır. Karmaşık telesismik cisim dalgaları için sistematik bir ters çözüm metodunu Kikuchi ve Kanamori, ilk olarak 1982 yılında geliştirmişlerdir. Daha sonra çeşitli düzenlemelerle bu methodu geliştirmişlerdir [Kikuchi ve Kanamori, 1982; Kikuchi ve Kanamori, 1986; Kikuchi ve Kanamori, 1991].

Ters çözüm algoritmasının başlangıcı olan Kikuchi ve Kanamori (1982)'de referans olarak gösterilen deprem kaynağı karmaşık kaynak olarak ve aynı fay geometrisine sahip, nokta kaynak dislokasyonları (alt olay) şeklinde kabul edilmiştir. Alt olayların aynı fay geometrisine sahip olduğunu kabuldeki amaç, her bir kaynak parametresinin belirlenmesindeki zorluktan kaçınmaktır. Bununla birlikte, alt olayların mekanizmalarının değişmesine izin verildiği durumlarda, mekanizma, zaman ve alt olayın lokasyonu arasındaki etkileşimden dolayı, ters çözümün duraylı durumdan uzaklaşması ve çoğu kez ters çözüm sonucunda birçok farklı dizinin aynı sonucu vermesiyle hangi dizinin uygun çözüm olduğuna karar vermenin zorlaşması, böyle bir sınırlama konulmasına sebep olmuştur. Kikuchi ve Kanamori (1982), bir noktadaki dislokasyonun zaman evriminin, bir yırtılma cephesinin varışından ölçülen zamanın fonksiyonu tarafından verildiğini belirlemişlerdir. Dislokasyon zaman evriminin, τ yükselim zamanına sahip bir ramp fonksiyonu tarafından verildiğini kabul etmişlerdir.

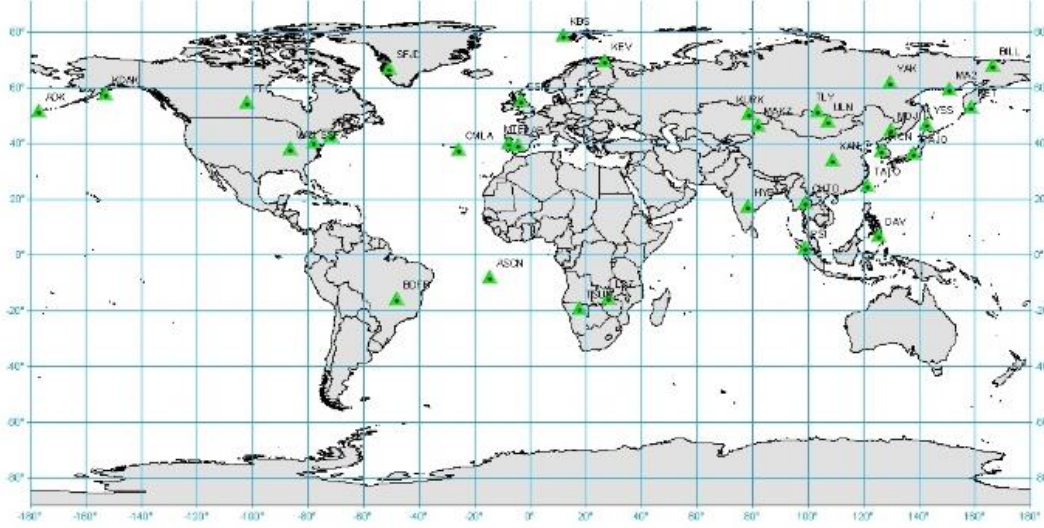
Büyük depremlerin kaynak mekanizmalarının birden çok alt olaya sahip olduğu bilinmektedir. Kikuchi ve Kanamori (1986)'da, ilk çalışma biraz daha genelleştirilmiş ve farklı mekanizmaya sahip bir alt olay eklenerek ters çözüm metodu biraz daha geliştirilmiştir.

Genel olarak, bir nokta kaynak, sismik moment, başlangıç zamanı, lokasyonu, faylanma mekanizması ve zaman fonksiyonu gibi çeşitli parametrelerle karakterize edilir. Kikuchi ve Kanamori (1986)'da, tüm alt olaylar için bu parametrelerin bazılarının aynı olduğu, bazılarının ise olaydan olaya değiştiği kabul edilmiştir. Kikuchi ve Kanamori 1991 yılında, daha önceki çalışmalarında, belirlenecek parametre sayısını azaltmak ve ters çözümü duraylı halde tutabilmek için yapmış oldukları sınırlamaları kaldırarak, metodlarını geliştirmişlerdir Kikuchi ve Kanamori, 1991). Daha önceki çalışmalarında sadece P dalgası kullanırken, son çalışmalarında, P, SH, SV ve PP fazları aynı anda modellenilebilmektedir. Kaynak, istasyon ve PP yansıma noktası tepkilerini hesaplamak için Haskell yayıcı matris tekniği [Haskell, 1960; Haskel, 1962; Bouchon, 1976] ile çok-tabakalı yapılar kullanılmıştır. Kikuchi ve Kanamori (1991)'de bir sismik kaynak, değişik odak mekanizmalarına sahip nokta kaynaklar dizisi olarak tanımlanmaktadır. Daha önceki çalışmalarında olduğu gibi, nokta kaynaklar iteratif olarak gözlemsel sismogramlar ile hesaplanan sismogramların uyumu ile bulunmaktadır. Sismik kaynağı oluşturan her bir nokta kaynak, bir moment tensor ile tanımlanmıştır.

5. Bulgular (Results)

5.1. Kullanılan Veri ve Veri Üzerinde Yapılan İşlemler (Data Used and Regulations on Data)

1998 Adana depreminin ters çözüm işlemi için geniş band (broadband) uzak alan (telesismik) verileri kullanılmıştır. Bu veriler internet üzerinden IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) web sayfasındaki (www.iris.washington.edu) veri arşivinden temin edilmiştir. Verilerin temin edilmesi sırasında istasyonların dış merkez uzaklıklarının $30^\circ \leq \Delta \leq 90^\circ$ arasında olmasına özen gösterilmiştir (Şekil 6). Bunun nedeni çekirdek ve üst manto yansımalarından kaynaklanan dalga şekillerini etkileyecek saçılmılardan kaçınmaktır.

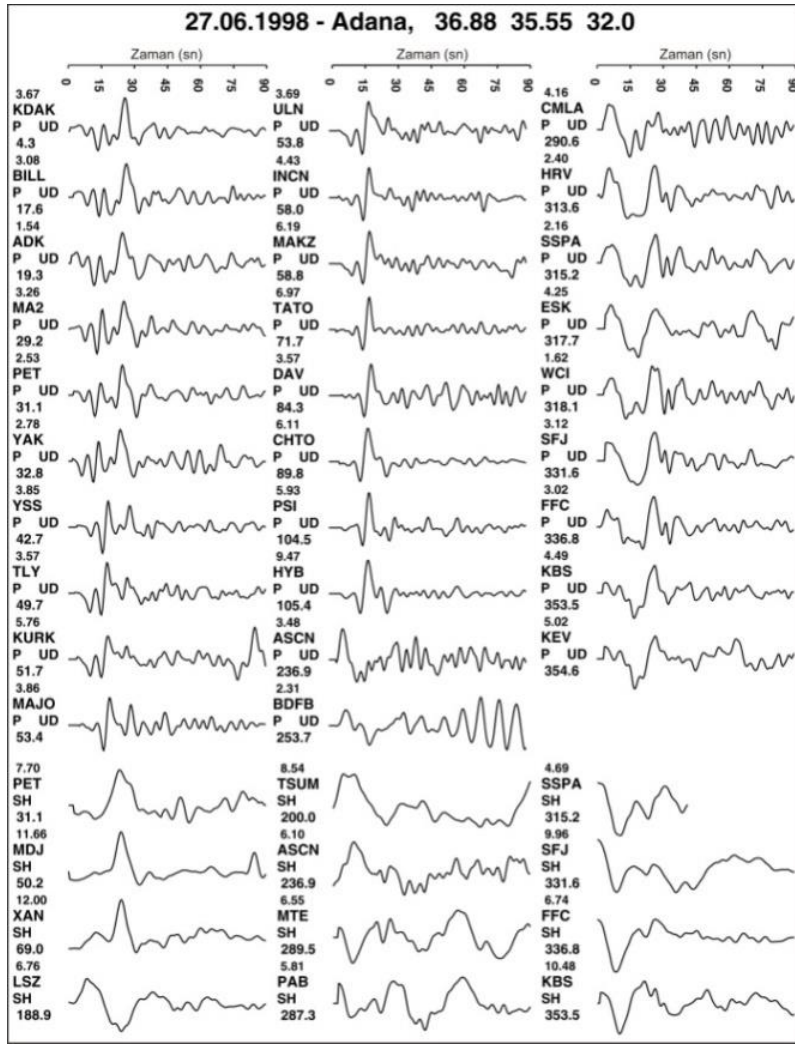


Şekil 6. Adana depreminin ters çözümü için kullanılan telesismik istasyonların dünya üzerindeki azimutal dağılımı
(The azimuthal distribution of the teleseismic stations used for the inversion of the Adana earthquake)

Elde edilen verilerden alet tepkisi giderilmiş ve yer değiştirme sismogramlarına dönüşümü gerçekleştirilmiştir. 1998 Adana depremi için daha önce yapılan faylanma parametrelerinin belirlenmesine yönelik dalga şekli ters çözümü çalışmalarında [Aktar vd., 2000; Arpacıoğlu, 2000] sadece P dalga şekilleri kullanılmıştır. Bu çalışmada 1998 Adana depreminin faylanma düzleminin kısıtlanmasına yönelik bir tartışma amaçlandığından faylanma parametrelerinin daha güvenilir belirlenmesi için P dalga şekillerinin yanında SH dalga şekilleri de kullanılmıştır. P ve SH dalga yayılım örüntülerinin farklı olması ve SH dalga yayılım örüntüsünde maksimum genliğin P dalgalarının yayılım örüntüsünden genliğin sıfır olduğu azimutlarda gözlenmesi gibi nedenlerden ötürü faylanma parametrelerinin daha güvenilir belirlenmesinde SH dalgaları da kullanılmıştır (Lay ve Wallace, 1995). Ayrıca SH dalgalarının kayma vektörü açısına olan duyarlılığı da bu nedenlere eklenebilir (Mendoza vd., 1996).

Tüm istasyon verileri 0.5 sn örnekleme aralığı seçilerek örneklenmiş ve gözle kontrol amacıyla verinin ilk 100 sn'lik kısmı P ve SH dalgaları çizim programı yardımıyla görüntülenmiştir. Bazı istasyon kayıtlarında gürültü/sinyal oranının yüksek olduğu görülmüş ve bu kayıtlar çözüme katılmadan çıkarılmıştır. Geriye kalan verilerdeki gürültü seviyesi göz önünde bulundurularak 0.01 ile 0.33 Hz frekansları arasında bant geçişli filtre veriyeye uygulanmıştır. Sonuç olarak 29 P ve 12 SH dalga şekli kaynak ters çözümlemesinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen dalga şekilleri Şekil 7' de gösterilmiştir.

Ters çözümlemede kullanılacak veriler üzerinde yapılan incelemelerde esas dalga enerjisi ilk 30-35 sn içerisinde olduğu gözlemlenirken yola çıkılarak Şekil 6' da verilen dalga şekillerinin ilk 35 saniyelik penceresinin ters çözümde kullanılması sonucuna varılmıştır. Bu pencere boyu Adana depreminin magnitüdü ($M_w=6.2$) göz önüne alındığında da yeterli görülmüştür.



Şekil 7. 27 Haziran Adana depreminin ters çözüm işleminde kullanılmaya hazır hale getirilmiş telesismik uzaklıklardaki istasyonlarda kaydedilmiş 29 P (üstteki 10 sıra) ve 12 SH (alttaki 4 sıra) dalga şekli (29 P (10 rows at the top) and 12 SH (4 rows at the bottom) waveforms recorded at the stations at teleseismic distances prepared for use in the inversion of the 27 June Adana earthquake)

5.2. 27 Haziran 1998 Adana Depremi Nokta Kaynak Ters Çözümü (The June 27, 1998 Adana Earthquake Point Source Inversion)

Kaynak bölgesindeki yapı dalga yayılımı üzerindeki etkisinin önemli olması sebebiyle kaynak civarındaki yer yapısı mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın olmalıdır. Bu nedenden dolayı bu ters çözüm çalışmasında Aktar vd. (2000) tarafından Adana baseni için belirlenen kabuksal hız modeli kullanılmıştır (Tablo 2).

Modelleme için gerekli olan Green fonksiyonlarının hesaplanmasında 128 örnekleme noktası, 0.5 sn örnekleme aralığı kullanılmıştır. Başlangıç fay düzlemi eğimi 90° olarak alınmıştır. Kaynak derinliğinin belirlenebilmesi için düşey doğrultuda bir referans derinliği belirlenmiş ve bu derinlik referans alınarak derinlik boyunca gridleme yapılmıştır. Bu amaçla derinlik boyunca 8 nokta kaynaktan oluşan bir nokta kaynak grid düzlemi kullanılmıştır (Şekil 8a). Referans derinliği 32 km, derinlik artım miktarı 4 km olarak seçilmiştir. Bu derinlik boyutu nokta kaynak dağılımı tercih edilen nokta-kaynak ters çözüm denemesi için yapılan parametrisasyonu yansıtmaktadır.

Doğrultu boyunca ise 4 km grid aralıklarıyla 10 nokta kaynak grid düzlemi kullanılmış, referans 2 nolu nokta kaynak seçilmiştir. Nokta kaynaklar gridinin doğrultusu 50° olarak seçilmiştir. Fayın başlangıç doğrultusu seçilirken daha öncede yapılmış çalışmalar ve artçı sarsıntılarının dağılımı dikkate alınmıştır. Şekil 8b' de doğrultunun tanımlanmasında kullanılan nokta kaynaklar gridinin basit bir modeli görülmektedir. Bu doğrultu boyunca nokta kaynak dağılımı tercih edilen nokta-kaynak ters çözüm denemesi için yapılan parametrisasyonu yansıtmaktadır. Yapay sismogramların hesaplanmasında 2.5 sn yükselim ve düşümlü toplam süresi 5 sn olan üçgen kaynak zaman fonksiyonu kullanılmıştır (Lay ve Wallace, 1995; Pınar vd., 1995). Kırılma hızı ise 3 km/sn olarak kabul edilmiştir.

Deprem kırılmasının derinlik boyutunun kullanılan veri yardımıyla kısıtlanıp kısıtlanmadığının tartışılması için kırılmanın daha sığ olduğunun kabulü ile tek kaynaklı iki ayrı deneme yapılmıştır. Bu denemelerin ilkinde nokta kaynaklar 24 km derinliğine kadar indirilmiş ve 8 nokta kaynağın derinlik boyunca 3 km derinlik artımı ile yerleştirildiği bir başlangıç model tanımlaması yapılmıştır (Şekil 9, Model A3). Yani bu model tanımlaması kırılmanın 24 km' den daha derine ulaşmadığı varsayımını yansıtmaktadır. Bu ters çözüm denemesi sonucunda kaynak konumu doğrultu boyunca '-4 km'de (yani referans noktasının hemen GB'sında), derinlik boyunca ise 0 km (referans noktasın derinliğinde) çıkmıştır (Şekil 9, Model A3).

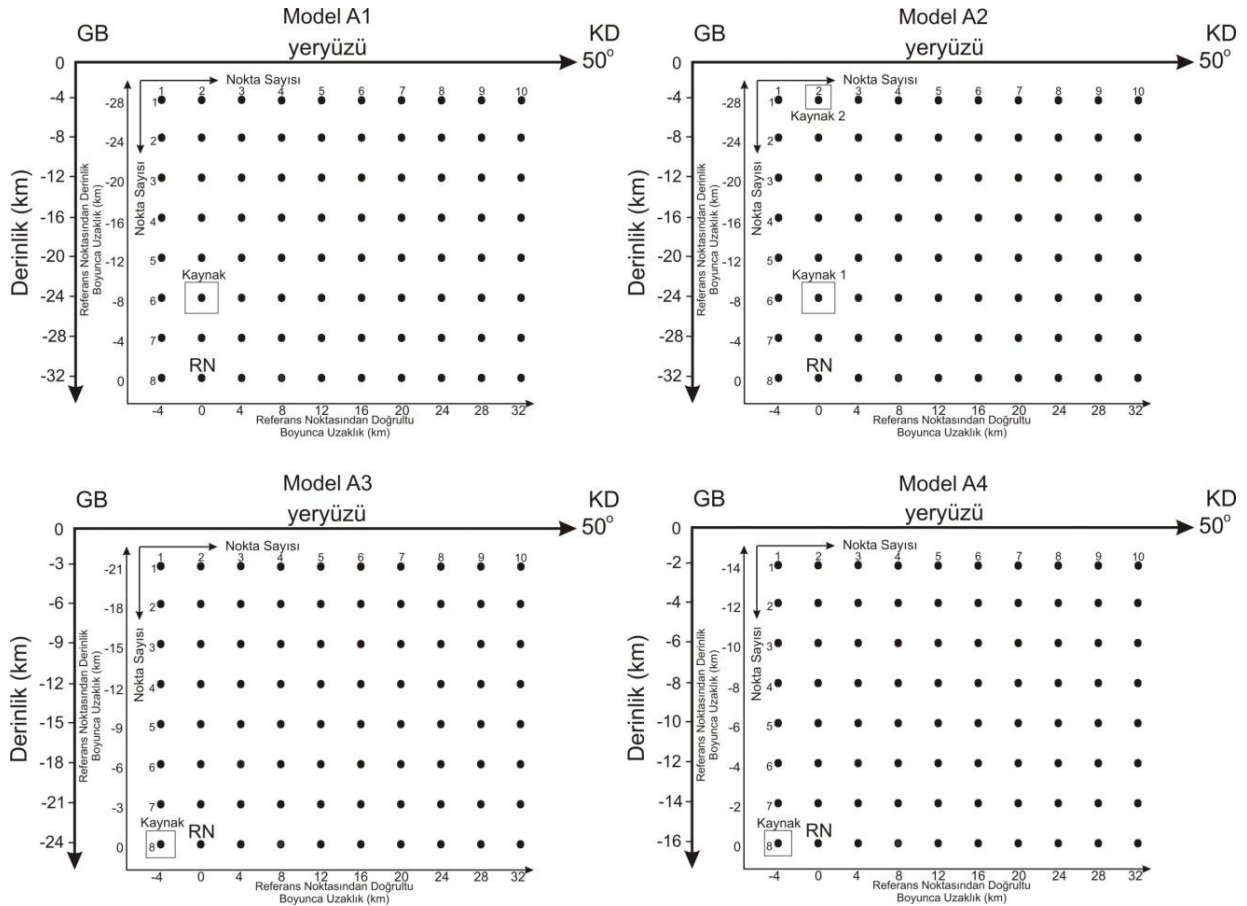
Nokta kaynakların 16 km derinliğe kadar yerleştirildiği bir deneme (Model A4) daha yapılmıştır. Bu denemede derinlik boyunca 8 nokta kaynak 2 km aralıklarla yerleştirildiği, en derindeki nokta kaynağın (16 km derinlik) referans noktası kabul edildiği ve doğrultu boyunca nokta kaynak dağılımının önceki denemelerdeki gibi olduğu bir nokta kaynak gridi ile ters çözüm işlemi yapılmıştır (Şekil 9, Model A4). Tablo 3' den görüleceği üzere bu deneme sonucu RMS hatası önemli ölçüde artmıştır. Model A1 denemesi için verilen gözlenmiş-kuramsal dalga şekli karşılaştırması ile Model A4 denemesi için gözlenmiş kuramsal dalga şekli uyumu karşılaştırılmış ve uyumun önemli ölçüde bozulduğu gözlemlenmiştir. Model A4 denemesi için kaynak konumu referans noktasında yani nokta kaynak gridinde en derinde çıkmıştır (Şekil 9, Model A4). Hata oranı oldukça yüksek olarak elde edilmiştir (Tablo 3). Aynı zamanda dalga şekillerinde gözlenmiş-kuramsal uyumunda da gözle görülür bir bozulma olmuştur.

Model A1 denemesinde 32 km derinliğe kadar kırılma modellemeye müsaade edildiği halde kaynak 24 km derinlikte çıkmıştır. 24 km derinliğe kadar kırılmaya müsaade edildiği Model A3 ters çözüm denemesinde Model A1 denemesine benzer bir gözlenmiş-kuramsal dalga şekli uyumu ve hemen hemen aynı hata ile yine 24 km derinlikte ancak Model A1'e göre 4 km GB da bir kaynak konumu elde edilmiştir.

Nokta kaynak gridinin 24 km' den daha sığ alındığı (16 km derinlik) Model A4 denemesinde gözlenmiş-kuramsal dalga şekli uyumu bozulmuş ve RMS hata miktarı önemli ölçüde artmıştır. Kaynak konumu yine en derinde çıkmıştır. Bu ters çözüm denemeleri çalışmada kullanılan verilerin 1998 Adana depremi için kabuğun derinliklerinde bir kırılma önermektedir. Model A4 denemesinde kırılmanın 16 km derinlikle sınırlandırılmasının verilere olan uyumda oluşturduğu bozulma deprem için asıl kırılmanın 16 km'den daha derinde olduğunu önermektedir.

Tablo 3. 1998 Adana depremi için telesismik cisim dalga şekilleri ters çözüm sonuçları (Teleseismic waveform inversion results for 1998 Adana earthquake)

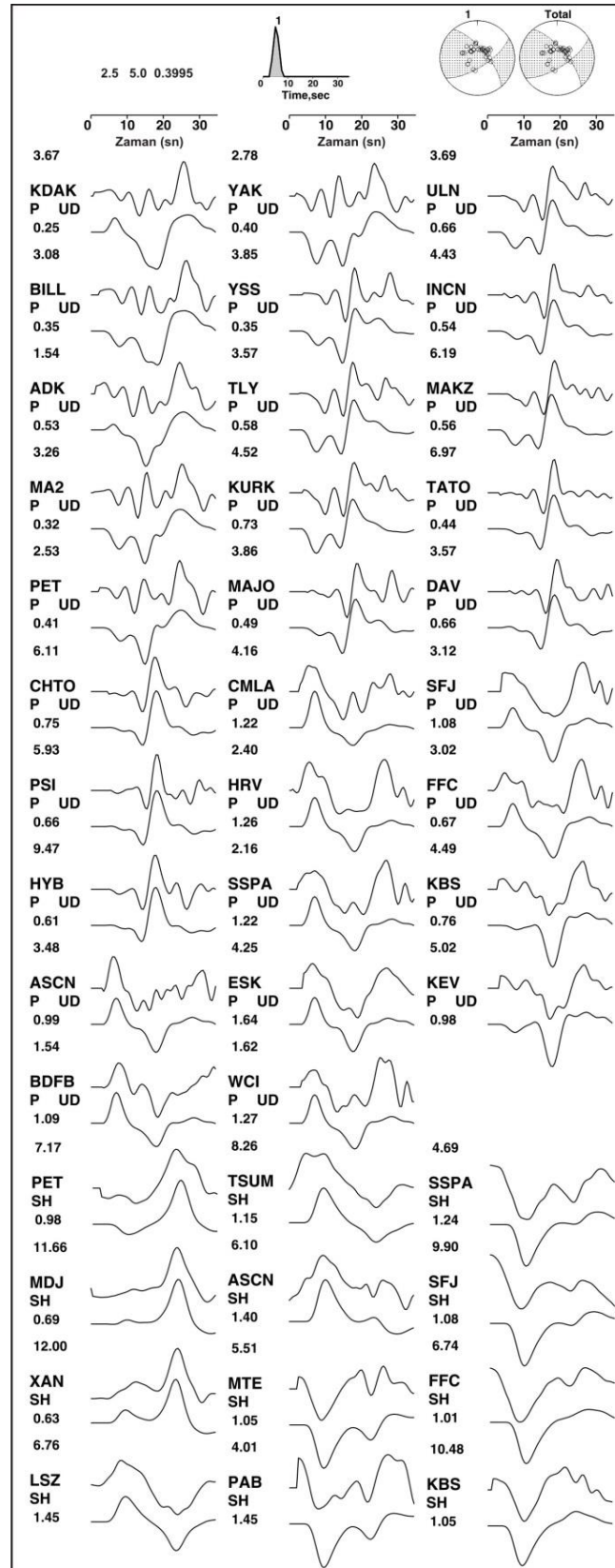
Model	Referans derinliği (km)	Kırılma Zamanı (sn)	Referans Noktasına Uzaklık (km)	Referans Noktasına Derinlik (km)	Grid Doğrultusu (°)	Doğrultu (Strike) (°)	Eğim (Dip) (°)	Kayma (Slip) (°)	M ₀ (x10 ¹⁸ Nm)	RMS Hatası
Model A1	32	2,5-8,5	0	-8	50	57	70	20	2,24	0,3995
Model A3	24	3,5-7	-4	0	50	57	70	20	2,27	0,3895
Model A4	16	6-10	-4	0	50	56	74	17	2,07	0,4990



Şekil 9. Ters çözüm için kullanılan nokta kaynak grid düzlemi modelleri. Tüm modellerde (A1, A2, A3 ve A4) doğrultu boyunca 10, derinlik boyunca 8 nokta kaynağın olduğu bir grid düzlemi kullanılmıştır. Şekillerde kare içine alınmış nokta kaynak ters çözüm sonucu deprem kaynağının hangi nokta kaynağa bulunduğu ifade etmektedir. Modellerde derinlik ölçeklerinin farklı olduğuna dikkat ediniz. RN: Referans noktası (Point source grid plane models are used for inversion. In all models (A1, A2, A3, and A4), a grid plane with 10 point sources along the direction and 8 point sources along the depth was used. The point source squared in the figures indicates the point source of the earthquake source due to the inverse solution. Note that the depth scales are different in the models. RN: Reference point)

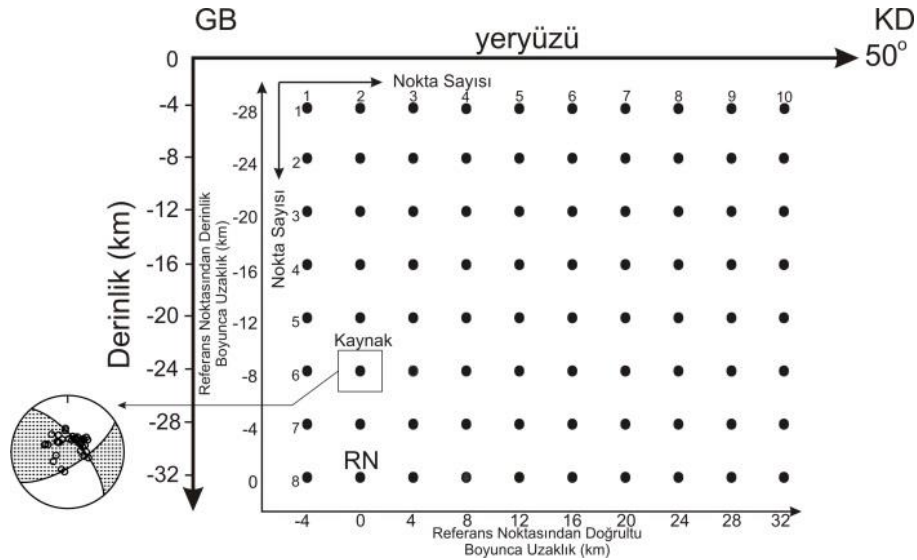
Bu sonuçlar, 1998 Adana depremi için alt kabukta gerçekleşen bir kırılmanın önerildiği önceki bir çalışmanın (Aktar vd., 2000) sonuçları ve Harvard CMT çözümüyle (29.5 km derinde bir CMT lokasyonu, Tablo 1) örtüşmektedir. Bölgenin sismotektoniğini araştırmak için kurulan TÜBİTAK Kilikya sismik ağınca güvenilir belirlenmiş 17-37 km derinlikleri arasındaki artçı deprem dağılımı (Aktar vd., 2000) derin depremsellik (Ergin vd., 2004) ve bazı yüzey deformasyonları haricinde kosismik yüzey kırıklarının gözlenmemesi (Gündoğdu, 1999; Demirtaş, 2002) 1998 Adana depremi kaynak bölgesinde derin bir sismojenik zonu ve yüzeye ulaşmamış bir kırılmayı desteklemektedir. Derin depremselliğin güvenilirliği Ergin vd. (2004) tarafından tartışılmıştır.

Ayrıca nokta kaynaklar grid doğrultusu 36° alınarak kırılmanın bölgedeki Göksu Fay Zonu' nun (GFZ) harita uzanımı ile paralel bir doğrultuda olduğu varsayımı ile de ters çözüm denemesi yapılmıştır. Yapılan bu deneme sonucunda aynı RMS hataları ve faylanma parametreleri ve benzer gözlenmiş-kuramsal dalga şekli uyumları elde edilmiştir.



Şekil 10. 27 Haziran 1998 Adana depremi kaynağının 24 km elde edildiği (Model A1) ve çözümde elde edilen kaynak zaman fonksiyonu, odak mekanizması çözümü ve gözlemsel-kuramsal dalga şekillerinin karşılaştırılması. Üsttekiler gözlemsel ve alttakiler hesaplanan dalga şekillerini ifade etmektedir. Kayıtların üstündeki numaralar, gözlenmiş kayıtların - ve + maksimum değerleri oranının alet büyütmesine bölümünü ifade etmektedir. Altta verilen sismogram genlik oranlarını göstermektedir (Comparison of the source time function, focal mechanism solution, and observational-theoretical waveforms obtained in the 27 June 1998 Adana earthquake where the source is 24 km (Model A1). The upper ones are observational, and the lower ones are the calculated waveforms. The numbers above the recordings represent the ratio of the - and + maximum values of the observed recordings divided by the instrument magnification. The seismogram genlik oranlarını göstermektedir).

Tüm denemeler sonucunda en uygun çözümü sunan Model A1' in tek kaynaklı bir model olarak çalışmada kullanılan verileri tatmin edici bir şekilde modellediği görülmüştür (Şekil 10 ve Şekil 11). Kaynak derinliği için yapılan denemelerde telesismik verilerin 1998 Adana depremi için 20 km' den derinde yerleşmiş bir kaynak gerektirdiği görülmüş ve kaynak derinliği 24 km olarak bulunmuştur. Elde edilen kaynak mekanizması deprem için 57° doğrultulu ve 70° GD eğimli bir düzlem üzerinde küçük bir ters faylanma bileşeni olan sol yanal doğrultu atımlı faylanma (kayma vektörü açısı 20°) önermektedir. Tercih edilen kırılma modeli için hesaplanan sismik moment $2.24 \times 10^{18} \text{Nm}$ ' dir ($M_w=6.2$).KD-GB uzanımlı düğüm düzlemi deprem episantrı yakınında uzanan Gökusu fayının uzanımı ile uyumludur ve fay düzlemi olarak seçilmiştir. Kayma (rake) vektörü açısının 20° olduğu dikkate alındığında deprem kırılmasının küçük bir ters faylanma bileşeni olan sol-yanal doğrultu atımlı faylanma ile gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Nokta kaynak modellemesinde tek kaynaklı bir modelin tercih edilmesi ve kaynak konumunun doğrultu boyunca odakta derinlik boyunca da odağın 8 km yukarısında çıkması eğim yukarı ilerlediğini önermektedir.



Şekil 11. Denemeler sonucu modellemede kullanılan nokta kaynak grid düzlemi ve elde edilen odak mekanizma çözümü.

Doğrultu boyunca 10, derinlik boyunca 8 nokta kaynağın olduğu bir grid düzlemi kullanılmıştır. Kaynak parametreleri için Tablo 3' e bakınız. Odak mekanizma çözümünün harita (yatay) düzlemi görüntüsü gösterilmiştir. RN: Referans noktası (The point source grid plane used in modeling and the focal mechanism solution obtained as a result of the trials. A grid plane was used with 10 point sources along the direction and 8 point sources along the depth. See Table 3 for source parameters. The map (horizontal) plane view of the focus mechanism solution is shown. RN: Reference point)

Aktar vd. (2000) TUBİTAK Kilikya sismik ağı verilerinden yararlanarak Adana depremini $36^\circ.53\text{K}-35^\circ.33\text{D}$ koordinatlarında ve 32 km derinlikte bulmuştur. Ergin vd. (2004) 1993-2002 Yılları arasındaki depremselliğin 1998 Adana depremi kırılma düzlemi civarında 40 km derinliğe ulaştığını belirlemiştir. 1998 Adana depreminin odak derinliği ve odağı civarındaki depremsellik kıtasal kabukta beklenen depremsellik derinliğine göre oldukça derine ulaşmaktadır. Bununla birlikte, hesaplamalarda kullanılan verilerin çok iyi bir azimutal dağılıma sahip bir sismik ağdan elde edilmesi ve hesaplamalarda detaylı bir kabuksal hız modeli kullanılması çözümün güvenilirliğini güçlendirmektedir. Nitekim Ergin (1999) Kilikya bölgesi içinde bölgesel olarak Moho süreksizliği derinliğini 32 km olarak bulmuştur. Özalaybey ve Aktar (1999) ve Aktar vd. (2000) alıcı fonksiyonları analizi ile bölgede kabuk kalınlığının 31 ile 45 km arasında değiştiğini bulmuştur. Buna deprem için bu çalışmada bulunan kırılma derinliği (yani 24 km derinde bir CMT lokasyonu) ve Harvard CMT çözümünden elde edilen 29.5 km derinliğindeki CMT lokasyonu eklendiğinde deprem kaynak bölgesinde sismojenik zonun alt kabuğu da içerdiği sonucuna ulaşılabilir. Ergin ve Aktar (2018) bölgedeki alt kabuk derinliklerine karşılık gelen depremselliği sadece Adana baseni ile sınırlı ve G-GB dalımlı karakterde olmasından hareketle önceleri üst kabuk derinliklerinde yer alan sismojenik zonun Adana Baseni altındaki litosferik bükülme ile birlikte 7-8 km derinliğe reolojik özellikleri değişmeden taşınması ile ilişkilendirmişler ve nümerik modellemesini yapmışlardır.

1998 Adana depreminin Tablo 3' de özetlenen kaynak parametreleri ve kaynak mekanizmaları ve bu çalışmada yapılan nokta-kaynak ters çözüm sonuçları deprem için yaklaşık $K57^\circ\text{D}$ doğrultulu ve GD' ya 70 derece eğimli bir düzlem üzerinde küçük bir ters bileşeni olan sol yanal doğrultu atımlı faylanma belirlemektedir. Depremin derinlikleri 17-37 km arasında değişen çok sayıda artçı depremi bir birinden ayırt edilebilen iki kümelenme göstermekte (Şekil 4) ve harita uzanımları yaklaşık $K50^\circ\text{D}$ bir doğrultu belirlemektedir. Bu doğrultu deprem için çalışmada belirlenen doğrultu ($K57^\circ\text{D}$) ile uyumludur. Artçı deprem dağılımının enine kesitleri (Şekil 4) GD' ya eğimli bir kırılma düzlemi belirlemektedir. Artçı deprem dağılımından elde edilen bu bilgiler depremin Tablo 1' de özetlenen ve bu çalışmada belirlenen çözümleriyle de büyük bir uyum içindedir.

1998 Adana depremi episantrı GFZ' nun 9-10 km batısında yer almaktadır (Şekil 4) Episantr lokasyonunun güvenilirliği de dikkate alındığında bu durum fayın eğiminin KB'ya doğru olmasını gerektirmektedir. Ancak tüm dalga şekli ters çözümü çalışmalarından ve artçı depremlerin derinlik kesitinden belirlenen fay düzlemi eğim yönü GD' dur. Ayrıca GFZ' nun haritadaki uzanımı yaklaşık K36D doğrultuludur (Şekil 4). Bu durumda dalga şekli ters çözümü çalışmalarından belirlenen fay düzlemi doğrultusu ile GFZ' nin uzanımı arasında 15-20° bir doğrultu farkı vardır. Bu gözlemler 1998 Adana depremi kırılmasının GFZ' nin yüzeyde gözlenen ve haritalanan izi üzerinde değil de bu fayın yüzeye ulaşmamış derindeki bir parçası üzerinde olduğunu önermektedir. Nitekim sismik yansıma çalışmalarında Göksu Fay Zonunun içinde yer alan ve Kilikya Baseni tarafından örtülmüş fay parçaları görülmektedir (Bkz. Burton-Ferguson vd., 2005). Sismik yansıma ve jeolojik çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuş basitleştirilmiş jeolojik kesitte de GFZ içinde yer alan örtülü bu fay parçaları görülebilir (Şekil 2). 1998 Adana depremi ardından GFZ B-KB'sında Ceyhan nehir yatağı boyunca yüzey deformasyonları hariç herhangi bir kırık rapor edilmemesi, artçı depremlerin 17-37 km derinlikleri arasında yerleşmesi ve Harvard CMT lokasyonu (29.5 km) ile bu çalışmadaki nokta kaynak ters çözümlerinin derinde (24 km) bir CMT lokasyonu belirlemesi GFZ içinde derinde örtülü bir fay parçasının varlığını desteklemektedir. Böyle bir sonuç deprem kaynak bölgesinde belirlenmiş deprem tehlikesini önemli ölçüde değiştirecek ve gelecekte yapılacak deprem tehlike belirleme çalışmalarında da çok farklı bir boyut kazandıracaktır. Kilikya Baseninin altında çok sayıda gömülü fayların belirlendiği yada varlığının tartışıldığı çalışmalar (Perinçek vd., 1987; Williams vd., 1995; Burton-Ferguson, 2005) dikkate alındığında bu deprem tehlikesinin ciddiyeti daha da anlam kazanmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma yazarlardan birinin (Emrah BUDAKOĞLU) Yüksek Lisans Tezi' nin bir kısmını içermektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Aksu, A.E., Calon T.J., Hall, J., Mansfield, S., Yaşar, D., 2005. The Cilicia-Adana basin complex, Eastern Mediterranean: Neogene evolution of an active fore-arc basin in obliquely convergent margin. *Marine Geology* 221, 121-159.
- Aksu, A.E., Walsh-Kennedy, S., Hall, J., Hiscott, R.N., Yaltrak, C., Akhun, S.H., Çifçi, G., 2014. The Pliocene-Quaternary tectonic evolution of the Cilicia and Adana basins, eastern Mediterranean: Special reference to the development of the Kozan Fault zone. *Tectonophysics*, 622, 22-43.
- Aktar, M., Ergin, M., Özalaybey, S., Tapırdamaz, C., Yörük, A., Biçmen, F., 2000. A Lower-Crustal Event İn The Northeastern Mediterranean: The 1998 Adana Earthquake (Mw=6.2) And Its Aftershocks, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2361-2364.
- Alp, H., 2009. Doğu Akdeniz Bölgesi Jeofizik Verilerine Dalgacık Analiz Yöntemi Uygulanarak Bölgenin Tektonik Yapısının Arastırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 234 Syf.
- Anastasakis, G., Kelling, G., 1991. Tectonic Connection Of The Hellenic And Cyprus Arcs And Related Geotectic Elements, *Matine Geology*, 97, 261-277.
- Arcacıoğlu, B., 2000. 27 Haziran 1998 Adana Depreminin Odak Mekanizması Çözümü, Moment Tensör Analizi Ve Tektonik Yorumu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 69 Syf.
- Biju-Duval, B., Courrier, P. Ve Letouzey, J., 1974. Interpretation De La Structure Des Monts De Misis, Turquie Et Son Extension En Mediterranee Orientale, 2nd Reun. Annu. Sci. Terre. Soc. Geol. Fr., Paris, Pont-E-Mousson, Nancy Resumes Commun., 48.
- Bouchon, M., 1976. Teleseismic Body Wave Radiation From A Seismic Source İn A Layered Medium, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 47, 515-530.
- Burton-Ferguson, R., Aksu, A.E., Calon, T.J., Hall, J., 2005. Seismic Stratigraphy And Structural Evolution Of The Adana Basin, Eastern Mediterranean; *Marine Geology* 221, 189-222.
- Çelebi, M., 2000. Revelations From A Single Strong-Motion Record Retrieved During The 27 June 1998 Adana (Turkey) Earthquake, *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 20, 283-288.
- Çoban, K, M., Tok, N., Aydın, M., Eser, D., 1999. Adana Neojen Baseni Batı Kanadında K.İsalı Formasyonunun Rezervuar Parametreleri, Hidrodinamik, Sismik Verilerle Değerlendirilmesi Ve Yeni Arama Kuşakları, Tpaö Arama Dairesi, Arşv., Rap. No:3990, Ankara.
- Demirtaş R., 2002. Adana Depremi Ve Yeni Yerleşim Alanlarının Seçimi, *Jeoloji Bülteni*, 1-2, P6-15.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening Of Crustal Lithosphere: The Neotectonics Of Eastern Anatolia-A Young Collision Zone, İn *Collision Tectonics*, Geol. Soc. Spec. Publ, 19, 3-36.
- Ergin, M., 1999. Kilikya Bölgesinin Güncel Sismisitesi Ve Sismotektoniği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 312 Sayf.
- Ergin, M., Aktar, M., Eyidoğan, H., 2004. Present-Day Seismicity And Seismotectonics Of The Cilician Basin: Eastern Mediterranean Region Of Turkey, *Bull. Seism. Soc. Am.* 94(3), 930-939.
- Ergin, M., Aktar, M., 2018. Lower crustal seismic activity in the Adana Basin (Eastern Mediterranean): Possible connection to gravitational flexure. *Tectonophysics*, 730, 1-10.
- Gülen, L., Barka, A.A., Toksöz, M.N., 1987. Continental Collision And Related Complex Deformation; Maras Triple Junction And Surrounding Structures İn Se Turkey, *Spec. Publ., Hacettepe Univ. Ankara*, 88-133.

- Gündoğdu, O., Özer, N., Baki, M., Akkargan, Ş., 1999. Adana – Ceyhan Depreminde Ne Oldu ? Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Yer Bilimleri Sempozyumu, 20 –23 Ekim 1999, 11. Mühendislik Haftası Bildiriler Kitabı, Isparta.
- Haskell, N.A., 1960. Crustal Reflection Of Plane Sh Waves, J. Geophys. Res., 65, 4147-4150.
- Haskell, N.A., 1962. Crustal Reflections Of The Plane P And Sv Waves, J. Geophys. Res., 67, 4751–4767.
- IRIS, 2010. Incorporated Research Institutions For Seismology Web Sayfası ([Http://Www.Iris.Washington.Edu](http://www.iris.washington.edu)).
- Karig, D.E., Kozlu, H., 1990. Late Palaeogene-Neogene Evolution Of The Triple Junction Region Near Marag South-Central Turkey, Journal Of The Geological Society, London, Vol. 147, Pp. 1023-1034, 7 Figs Printed In Northern Ireland.
- Kikuchi, M., Kanamori, H., 1982. Inversion Of Complex Body Waves, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 491-506, 1982.
- Kikuchi, M., Kanamori, H., 1986. Inversion Of Complex Body Waves-II, Phys. Earth Planet. Inter. 43, 205-222, 1986.
- Kikuchi, M., Kanamori, H., 1991. Inversion Of Complex Body Waves-III, Bull. Seism. Soc. Am., 81, 2335-2350.
- Lay, T., Wallace, T.C., 1995. Modern Global Seismology, Academic Pres, San Diego (Isbn-0-12-732870-X).
- Mendoza, C., Fukuyama, Eiichi., 1996. The July 12, 1993, Hokkaido-Nansei-Oki, Japan, Earthquake: Coseismic Slip Pattern From Strong-Motion And Teleseismic Recording, Journal Of Geophysical Research, Vol. 101, No. B1, Pages 791-801, January 10.
- Ökeler A., 2003. Kiliya Bölgesi'nin Güncel Depremselliği Ve Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Över, S., Ünlügenç, U.C., Ve Özden, S., 2001. Hatay Bölgesinde Etkin Gerilme Durumları, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama Ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 1-14.
- Özalaybey, S., Aktar, M., 1999. Alıcı Fonksiyonları Yöntemi İle Kiliya Bölgesinde Kabuk Yapısı, Atag-2 Makaleler Kitabı, İtü-Avrasya Yer Bil. Enst., 68-78, 1999.
- Özer, B., Çuhadar, Ö., 1986. Adana Baseni Değerlendirmesi, Tpaö Rapor No:2207, Ankara.
- Perinçek, D., Günay, Y., Kozlu, H., 1987. New Observation On Strike-Slip Faults İn East And Southeast Anatolia, 7th. Biannu. Pet. Cong. Türk Assoc. Pet. Geol. Proc, 89-103, Ankara.
- Pınar, A., Kikuchi, M., Honkura, Y., 1995. A Rupture Model Of The 1967 Mudurnu Valley Earthquake And İts İmplication For Seismotectonics Of The Western Part Of The North Anotolian Fault Zone, Geophys. Res. Lett., 23, 29-32.
- Robertson, A., Ünlügenç, U.C., Inan, N., Taşlı, K., 2004. The Misis–Andırın Complex: A Mid-Tertiary Melange Related To Late-Stage Subduction Of The Southern Neotethys İn S Turkey, Journal Of Asian Earth Sciences 22, 413–453.
- Williams, G.D., Unlugenc, U.C., Kelling, G., Demirkol, C., 1995. Tectonic Controls On Stratigraphic Evolution Of The Adana Basin, Turkey, Journal Of The Geological Society, London, Vol. 152, Pp. 873-882, 13 Figs., 2 Tables. Printed İn Northern Ireland.



COMPARISON OF DIFFERENT MODELING METHODS FOR PREDICTION OF PALLADIUM ADSORPTION ONTO WASTE ORANGE PEEL

Aysun ÖZKAN^{1*}, Şahin IŞIK², Zerrin GÜNKAYA¹, Kemal ÖZKAN², Müfide BANAR¹

¹ Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey

² Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Eskişehir, Turkey

Keywords

*Adsorption,
Curve Fitting,
Nonlinear Modeling,
Palladium.*

Abstract

The objective of this work was to evaluate the adsorption potential of waste orange peels for the removal of palladium. Among linear models, Langmuir isotherm model was more suitable for the adsorption process. Adsorption kinetics analysis of pseudo-second-order model revealed that intraparticle transport was not the only rate-limiting step. Analysis based on the nonlinear mathematical modeling indicated that Smoothing Spline model shows best fitting with higher R-square (R^2) and lower Sum of Square Error (SSE) and Root Mean Square Error (RMSE). It was concluded that the SSE and RMSE values should be taking into account as well as R^2 in the adsorption studies.

ATIK PORTAKAL KABUKLARI ÜZERİNE PALADYUM ADSORPSİYONU İÇİN FARKLI MODELLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler

*Adsorpsiyon,
Eğri Uydurma,
Nonlineer Modelleme,
Paladyum.*

Öz

Bu çalışmanın amacı, paladyumun giderimi için atık portakal kabuklarının adsorpsiyon potansiyelini değerlendirmektir. Doğrusal modeller arasında Langmuir izoterm modeli adsorpsiyon prosesi için en uygun olarak belirlenmiştir. Yalancı ikinci dereceden modelin adsorpsiyon kinetik analizi, partikül içi taşınmanın tek hız sınırlayıcı adım olmadığını ortaya koymuştur. Doğrusal olmayan matematiksel modellemeye göre, Yumuşatılmış Spline modeli daha yüksek R^2 ve daha düşük Toplam Kare Hatası (SSE) ve Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ile en uygun model olmuştur. Adsorpsiyon çalışmalarında R^2 'nin yanı sıra, SSE ve RMSE değerlerinin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Alıntı / Cite

Özkan, A., Işık, Ş., Günkaya, Z., Özkan, K., Banar, M., (2021). Comparison of Different Modeling Methods for Prediction of Palladium Adsorption onto Waste Orange Peel, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(3), 758-767.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Özkan, 0000-0003-1036-7570
Ş. Işık, 0000-0003-1768-7104
Z. Günkaya, 0000-0002-7553-9129
K. Özkan, 0000-0003-2252-2128
M. Banar, 0000-0003-2795-6208

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	23.03.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.03.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: aysunozkan@eskisehir.edu.tr, +90-222-321-3550

1. Introduction

Palladium (Pd) is an important precious metal and widely used for catalytic applications, electronic devices, plating materials, jewelry and pharmaceuticals (Morcali and Zeytuncu, 2015). The rapid industrial development resulting in the increasing demand for Pd has further enhanced the significance towards recovering this valuable metal. Techniques such as solvent extraction, ion exchange, chemical precipitation and adsorption are some of the well-known methods for the recovery of Pd (Sharma and Rajesh, 2016). Among them, adsorption is an effective strategy for the recovery of metal ions from aqueous solution and the selection of adsorbent plays a key role in it. Therefore, researches on novel adsorbents have attracted considerable attention in analytical chemistry. Studies are also carried out on biosorbents such as tea waste (Öztürk et al., 2020); hazelnut processing plant wastes (Tunç Dede, 2019); banana peel (Fabre et al., 2020); lemongrass leaf (Putri et al., 2020); kiwifruit (Kızmaz et al., 2019).

In the literature, different adsorbents were used for Pd adsorption including, crosslinked lignophenol (Parajuli et al., 2009), chemical modified waste paper (Adhikari et al., 2008), modified polyacrylonitrile (Morcali and Zeytuncu, 2015), thiazole ligand tethered on an amine functionalized polymeric resin (Sharma and Rajesh, 2016), 1,3,5-triazine-pentaethylenhexamine polymer (Sayın et al., 2015), polyamine functionalized polystyrene-based beads and nanofibers (Fayemi et al., 2013), 2-mercaptobenzothiazole impregnated cellulose (Sharma and Rajesh, 2014).

Mathematical modeling is an important and powerful tool that can be used regarding the identification of the limiting transfer mechanism. The model is validated through experimental data of the kinetics of sorption and allows the prediction of answers in many operational conditions, project design, optimization and control (Suzaki et al., 2017). Specifically, the curve fitting is one of the most used mathematical modeling tools by analyzing the relationship between the series of data points and representing the trend of them with a concise mathematical function. Depending on the subject, it can be used to estimate inner prediction (interpolation) or outer prediction (extrapolation). Usually, the curve fitting is utilized for interpolation as capturing the relationship between original variables and estimating the value of unknown inter variables that are located between original variables. Although there are different types of curve fitting, the least square curve fitting is a popular method among them. In the concept of least square curve fitting methodology, the sum of the square of error between original and estimated variables is minimized by taking the derivative of both sides of two equations. There are two types of curve fitting functions, namely, linear and nonlinear functions. In adsorption studies, in addition to linear models such as Langmuir, Freundlich and BET, various nonlinear mathematical models including Pseudo first order (Rathinam et al., 2010), Pseudo second order (Herrero et al., 2011), artificial neural network modeling (Yang et al., 2014), phenomenological mathematical modeling (Suzaki et al., 2017), Response Surface Methodology (Igherase et al., 2017; Kalantari et al., 2015) were used by researchers.

In this study, differently from the literature, waste orange peel was used as an adsorbent for Pd adsorption and the obtained results were modelled by different nonlinear mathematical methods (Polynomial, Smoothing Spline, Power, Exponential, Gaussian and Fourier curve fitting models). The results are discussed in two parts as kinetic model results and isotherm model results. Results of non-linear methods were compared to those of linear models (Langmuir, Freundlich, BET isotherms and pseudo first order, diffusion, pseudo second order kinetic models) that were already existed. Additionally, to evaluate the performance of all mathematical methods in terms of relation between estimated and observed data, least square curve fitting method was also applied.

2. Material and Method

In adsorption studies, waste orange peel was used as the adsorbent. First, the waste orange peels were washed, dried (at 55°C), grinded and sieved to the particle size of 0.2 to 0.5 mm. Pd standard solution was from Fluka in analytical purity.

2.1. Experimental Studies

Adsorption kinetics and isotherms experiments were realized for the conditions (pH:5, temperature: 60°C, duration:120 min.) that yield the highest Pd adsorption efficiency (92.77% adsorption efficiency and 0.72 mgL⁻¹ final concentration) indicated in our previous study (Özkan et al., 2018). Adsorption experiments were realized with using 2.5 g of waste orange peel in the 500 mL Pd solution at the initial concentration of 10 mgL⁻¹. For adsorption isotherm studies, different weights of waste orange peel (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 g) were mixed with 500 mL of 10 mgL⁻¹ Pd solution for 120 min. Final palladium concentrations of the samples were measured by ICP-OES (Model 720, Varian, Palo Alto, CA, USA). According to the experimental results; pseudo first order, diffusion and pseudo second order models used for adsorption kinetics and Freundlich, Langmuir and BET isotherm models were applied. The detailed explanations were given in our previous study (Özkan et al., 2018).

2.2. Nonlinear Mathematical Fitting Models Application

To model the Pd adsorption onto waste orange peel, six different nonlinear data modeling methods were applied: polynomial, smoothing spline, power, exponential, Gaussian and Fourier models. The polynomial model is explained in detail, including the basic approach of curve fitting, and other models are summarized. The details of the models can be found in the Chapra and Canale (2010). All of the models were implemented in MATLAB environment.

Polynomial Model: In order to reveal the mathematical procedure behind the curve fitting, the derivation of curve fitting with least square error minimization technique is exhibited by following stages. Assuming that we are aiming to modeling the data based on the second-order polynomial function with a_0, a_1, a_2 coefficients. In this case, the mathematical model should be formulated as in Equation (1).

$$e = y - a_0 - a_1x - a_2x^2 \tag{1}$$

where e is the expected residual value. If the both of y_i equations and then sum of squares of the residual (error) value are gathered and represented with a single equation as in Equation (2), then the curve fitting procedure can be initiated on given function.

$$e_{sum} = \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x - a_2x^2)^2 \tag{2}$$

With respect to the least square error minimization idea, it is required to take the derivative of both sides of equations per each coefficient stated on the fitted polynomial function as in Equation (3);

$$\begin{aligned} \frac{\partial e_{sum}}{\partial a_0} &= -2 \sum_{i=1}^m (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \\ \frac{\partial e_{sum}}{\partial a_1} &= -2 \sum_{i=1}^m x_i (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \\ \frac{\partial e_{sum}}{\partial a_2} &= -2 \sum_{i=1}^m x_i^2 (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \end{aligned} \tag{3}$$

Since the left side of equations was scalar, the derivative of scalar values would be simultaneously equal to zero. Also, the coefficient of summation symbols would be 1, when the both side was divided with -2. Later, the emergent each of terms can be arranged to expose the coefficients (a_0, a_1, a_2) that are needed to be estimated as shown in Equation (4).

$$\underbrace{\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 & \sum_{i=1}^m x_i^4 \end{bmatrix}}_{\text{Input Data } X} \underbrace{\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}}_A = \underbrace{\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i \end{bmatrix}}_{\text{Observed Data } Y} \tag{4}$$

The obtained mathematical form refers a non-linear system. By expanding the idea of curve fitting, it can be easily adopt the concept of second-order curve fitting onto k th-order polynomial curve fitting as shown in Equation (5):

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^m x_i^k \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^m x_i^{k+1} \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 & \sum_{i=1}^m x_i^3 & \sum_{i=1}^m x_i^4 & \dots & \sum_{i=1}^m x_i^{k+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^m x_i^k & \sum_{i=1}^m x_i^{k+1} & \sum_{i=1}^m x_i^{k+2} & \dots & \sum_{i=1}^m x_i^{k+k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m x_i^k y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

Smoothing Spline Model: Since the polynomial curve fitting is sensitive to trend of data, it yields a high error value when few terms chosen. On the other hand, if the high number of terms are chosen, then residual error becomes smaller, but the computational cost is increased with respect to selected number polynomial terms. To overcome these problems, a piecewise polynomial model, the smoothing spline curve fitting strategy were proposed as working based on the spline functions. Theoretically, a smoothing spline function with smoothing parameter was utilized in case of interpolation. Smoothing spline model minimizes the following error value as indicated in Equation (6).

$$e_{sum} = p \sum_{i=1}^n w_i (y_i - s(x_i))^2 + (1-p) \int \left(\frac{d^2 s}{dx^2} \right)^2 dx \quad (6)$$

Where, w_i denotes the weight coefficient (default 1), p is smoothing parameter between 0 and 1 as $p=0$ indicates a least-squares straight-line applied on data and $p=1$ denotes a cubic spline interpolant.

Power Model: Power curve fitting relies on describing the variation between two variables as power of another. In general, it is considered two independent variables are relatively dependent to each other. For example, the area of rectangle depends on the height and width, if the height and width are multiplied with 3, then the area have to multiplied with 9, which is square of 3. The one and two terms power function can be represented with Equation (7) and Equation (8), respectively.

$$y = ax^b \quad (7)$$

$$y = ax^b + c \quad (8)$$

Where the a , b and c indicate the coefficients required to be estimated, while x and y refer to observed and estimated data, respectively.

Exponential Model: In addition to the power curve fitting as explained above, the exponential function can be used in terms of curve fitting based on the least square estimation. Let's assume that we want to represent the given original data with a one term exponential relationship equation likewise to Equation (9). In exponential case, an exponential function, e , is utilized on modeling function.

$$y = ae^{bx} \quad (9)$$

If one takes the logarithm of both sides of equation, then it will be in the form of Equation (10).

$$\ln(y) = \ln(ae^{bx}) = \ln(a) + bx \quad (10)$$

Later, the concept of least square error minimization applied to construct the augment matrix Equation (11).

$$e_{sum} = \sum_{i=1}^m (\ln(y_i - a - bx_i))^2 \quad (11)$$

To avoid giving great weights to y_i values, the both side of equation is multiplied with and the derivation procedure applied on both side of equation. Once the derivation procedure completed, the formula would be turn out the following structure in Equation (12).

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i & \sum_{i=1}^m x_i y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 y_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \ln y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \ln y_i \end{bmatrix} \quad (12)$$

Gaussian Model: The Gaussian curve fitting is another technique to summarize the characteristic of data with a Gaussian function. Similar to one term exponential, a Gaussian one term function is operated as shown in Equation (13). As if the least square estimation performed on the difference between estimated and original variable as given in Equation (14), then the model would be converted into augmented matrix form. The aim is determining the value of a_i , b_i and c_i coefficients.

$$y_i = \sum_{i=1}^m a_i e^{\left[-\left(\frac{x_i - b_i}{c_i}\right)^2\right]} \quad (13)$$

$$e_{sum} = \sum_{i=1}^m \left(y_i - a_i e^{\left[-\left(\frac{x_i - b_i}{c_i}\right)^2\right]} \right)^2 \quad (14)$$

Fourier Model: Based upon the Fourier assumption, it is possible to represent the data with a series of cosine and sine curves. The theory under Gaussian model was utilized in case of least square error estimation. Fourier model can be summarized with Equation (15).

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i * \cos(iwx) + b_i * \sin(iwx) \quad (15)$$

Where, x denotes the observed data, a_0 equals to model constant as taking $i=0$, w refers to frequency of observed data and n is the number of terms for modeling the data.

2.3. Performance Evaluation Metrics

To evaluate the performance of proposed methods, some statistical metrics were utilized to reveal the relation between estimated and observed data. The observed data refers to experimental amount of adsorbed Pd by the waste orange peels, whereas the estimated data indicate the data points obtained after applied mathematical curve fitting functions. Depending upon the error metrics, the results of linear and non-linear regression models for kinetic and isotherm studies were compared to each other in terms of benchmarking performance evaluation. Specifically, the produced lowest error value from a model presents the best fitting one in terms of making some predictions on adsorbed Pd concentrations onto orange peels.

For statistical performance evaluation, the R-square (R^2), Sum of Square (SSE) and Root Mean Square Error (RMSE) numerical metrics were utilized. Technically, the obtained lower value of SSE and RMSE refers to the more accurate modelled the data. SSE indicates the sum of squares of residuals between estimated and observed palladium concentrations. In a simple way, the SSE is computed with Equation (16).

$$SSE = \sum_{i=1}^n (X_{observed,i} - X_{estimated,i})^2 \quad (16)$$

As n refers to number of observations $X_{observed,i}$ and $X_{estimated,i}$ denote the i . value of estimated and measured data for palladium, respectively. On the other side, the RMSE unveils the squared root of mean square error (MSE). RMSE can be obtained as represented with Equation (17).

$$RMSE = \sqrt{MSE}, \quad MSE = SSE/n \quad (17)$$

where n is the number of observations. For the performance evaluation, we would like to expect that the value of SSE and RMSE should be more close to 0, and the value of R^2 should be high as much as possible, in terms of good accuracy rate.

R^2 is the coefficient of determination and is computed with Equation (18).

$$SST = \sum_{i=1}^n (\text{estimated}_i - \bar{x}), R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \tag{18}$$

In given Equation (18), SST denotes the total sum of square error and \bar{x} refers to mean of observed data.

3. Results and Discussions

The results are discussed in two parts as kinetic model and isotherm model results.

3.1. Kinetic Model Results

Likewise, the aforementioned curve fitting models were applied on kinetic coefficients. The visual plots of each nonlinear model with linked R² scores are given in Figure 1 (t: min; qt: mg/g). According to Figure 1, the best fitted nonlinear models are Smoothing Spline and Gaussian models show the best fitting (R²: 1) fluctuations with increased time intervals.

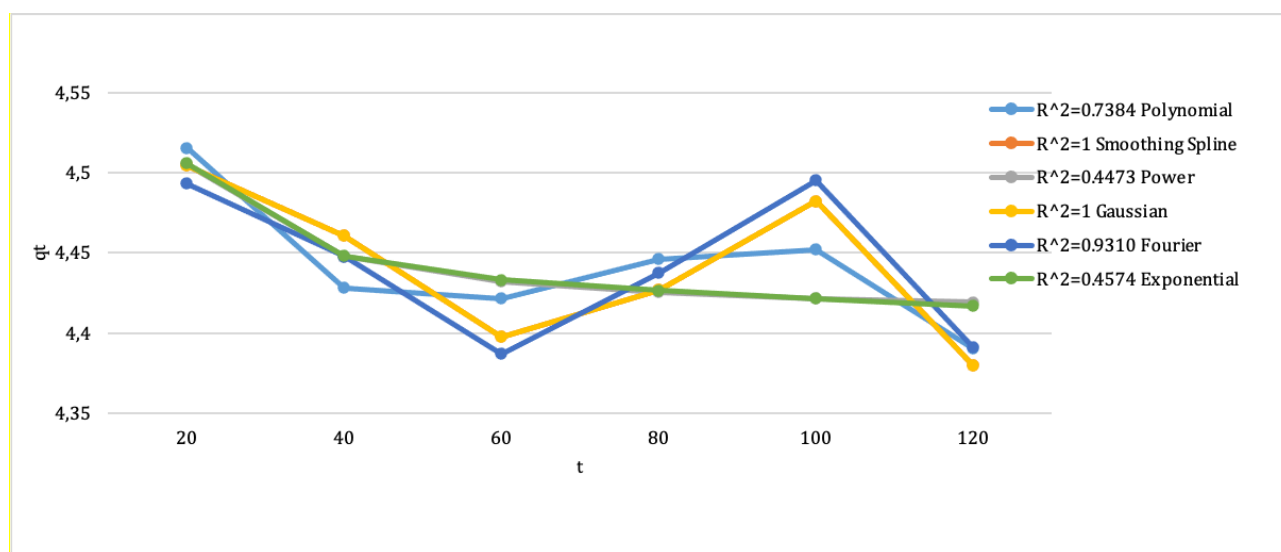


Figure 1. Fitting graphics of nonlinear models for kinetic studies

In addition to Figure 1, Table 1 represents results of statistical metrics for linear (pseudo first order, pseudo second order and diffusion models) and nonlinear models (polynomial, smoothing spline, power, exponential, Gaussian and Fourier models). Undoubtedly, it can be inferred that the pseudo second order model presents dominant R² value, which is reported as 0.9995. On the other side, the performances of pseudo first order model and diffusion model are very similar to each other. Although the higher value of R² obtained in case of pseudo second order model, but the SSE and RMSE scores are not satisfied in terms of describing the characteristic of data when comparing with other kinetic models. Based on this fact, it is vitally important to emphasize that it would be not correct to decide whether a fitted mathematical model is efficient and promising only by considering R² values. Therefore, the SSE and RMSE values should be taking into account as well as R². According to Table 1, for nonlinear models, Gaussian (two terms), smoothing spline and pseudo second order model were very close to each other. Although the higher value of R² obtained in case of pseudo second order model, but the SSE and RMSE scores are not satisfied in terms of describing the characteristic of data when comparing with other kinetic models. Then it can be said that the Gaussian and Smoothing spline are in a competition and produced same results that are superior to kinetic and other curve fitting models. In fact, the sharp differential in performance can be distinguished when the RMSE values are taken as reference. Clearly, it is shown that the Smoothing spline model take first place in ranking with 0.0000 score, whereas the Gaussian model comes in second rank with 0.0028 score in terms RMSE metric.

Table 1. The statistical performance of linear and nonlinear models for kinetic studies

Model	R ²	SSE	RMSE	Function
Linear Models				
Pseudo first order	0.3364	0.0079	0.0445	$y = 0.0008x + 0.0095$
Pseudo second order	0.9995	0.1634	0.2021	$y = 0.2275x - 0.1201$
Diffusion Model	0.3722	0.0075	0.0433	$y = -0.0124x + 4.542$
Nonlinear Models				
Polynomial (two terms)	0.3684	0.0075	0.0501	$y = p1*x^2 + p2*x + p3$ $p1=0.1151, p2=-0.2252, p3=4.5250$
Polynomial (three terms)	0.7384	0.0031	0.0395	$y = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$ $p1=-1.032e-06, p2=0.0002247, p3=-0.01496, p4=4.733$
Smoothing Spline	1	0.0000	0.0000	$y = \text{piecewise polynomial computed from } p$ $p = 0.999986$
Power (two terms)	0.4473	0.0066	0.0469	$y = a*x^b + c$ $a=5.516, b=-1.359, c=4.411$
Exponential (two terms)	0.4574	0.0065	0.0569	$y = a*\exp(b*x) + c*\exp(d*x)$ $a=0.3442, b=-0.08291, c=4.445, d=-5.265e-05$
Gaussian (two terms)	1	0.0000	0.0028	$y = a1*\exp(-((x-b1)/c1)^2) + a2*\exp(-((x-b2)/c2)^2)$ $a1=3.966, b1=1.858, c1=76.98, a2=4.007, b2=122.3, c2=79.08$
Fourier (Two terms)	0.9310	0.0008	0.0287	$y = a0 + a1*\cos(x*w) + b1*\sin(x*w) + a2*\cos(2*x*w) + b2*\sin(2*x*w)$ $a0=4.435, a1=-0.09568, b1=0.01781, a2=0.0349, b2=-0.03441, w=0.09959$

Table 2 shows that, although Gaussian and Smoothing Spline methods were determined as the best fitting models by this study, generally the highest R² values (>0.99) in the literature studies are obtained by pseudo-second-order models.

Table 2. Comparison of the adsorption kinetic results with the literature

Reference	Adsorbent	Model type	R ²
Omidinasab et al., 2018	magnetic chitosan nanoparticles	Pseudo first order	0.933
		Pseudo second order	0.9989
		Elovich	0.7288
		Intra particle diffusion	0.577
Shafizadeh et al., 2019	magnetic ion-imprinted polymer	Pseudo first order	0.987
		Pseudo second order	0.999
Sato et al., 2019	Silk fibroin fiber	Pseudo first order	0.8275
		Pseudo second order	0.9964
		Intra particle diffusion	0.6642
Wang et al., 2021	PEI-chitin	Pseudo first order	0.992
		Pseudo second order	0.989
	Amberjet 4200	Pseudo first order	0.999
		Pseudo second order	0.978
	SYL-0830	Pseudo first order	0.861
		Pseudo second order	0.916
Özkan et al., 2018 (Our previous study)	Waste orange peel	Pseudo first order	0.5966
		Pseudo second order	0.9995
		Intra particle diffusion	0.3722
This study		Gaussian and Smoothing Spline (Best models)	1

3.2. Isotherm Model Results

While the trend behind coefficients of isotherms is represented with linear functions, the curve fitting methods are modelled based on the non-linear functions obtained based on the least square error minimization procedure. The low value of SSE and RMSE with high value of R² imply the efficient curve fitting model in terms of either summarizing the relationship between coefficients or predicting the unknown inter values with respect to fitted model. The visual analysis of results obtained by utilized mathematical curve fitting functions is given in Figure 2. Table 3 reflects the statistical performance results produced by linear and nonlinear models. Comparing the R² coefficient among the isotherms it can be observed that BET model yields a better fit than Langmuir and Freundlich isotherms. Upon inspecting the results, the performance of Freundlich isotherm was outperformed Langmuir isotherm. The observed considerable increase in performance of Freundlich isotherm can be explained that constructing mathematical models on normalized values makes model more resistance to outliers, which always ruin the common trend behind the processed data and widely accepted as noisy values. From this aspect, one can

emphasize that the performance gradually increases in case of taking the logarithmic values of isotherm's coefficients including the C_e and q_e . Thus, the normalization process makes data more smoothing form even if the noise existed. By observing the results given Table 3, it can be said that lowest SSE value of isotherms is reported to 0.0012 in case of Langmuir isotherm while the SSE values of Freundlich and BET isotherms are reported to 0.2112 and 231.1674, respectively. Also, similar outputs can be observed when RMSE values are ground on. If both the SSE and RMSE error results with R^2 values are considered together, it is able to deduce that Langmuir isotherm is better than Freundlich and BET isotherms in terms of prevailing the trend of data. Also, comparison of the adsorption isotherm results with the literature is given in Table 4. According to the table, in the nonlinear model in this study, higher R^2 value was obtained than linear models in the literature.

As, it can be observed from Table 3 and Figure 2, that best R^2 is noted as 0.9903 by smoothing spline curve fitting model with the lowest SSE value of 0.0265. When compared to isotherms models, it can be seen that R^2 of smoothing spline model is higher than those of BET isotherm model (R^2 : 0.9798). On the other hand, the second rank of performance is obtained by Polynomial model (R^2 : 0.9879). Although the good result of R^2 and low value of SSE are generated by smoothing spline, it can be apparently seen that the performance of polynomial (three-terms) is favorable when the lowest error value reported to 0.1335 is considered.

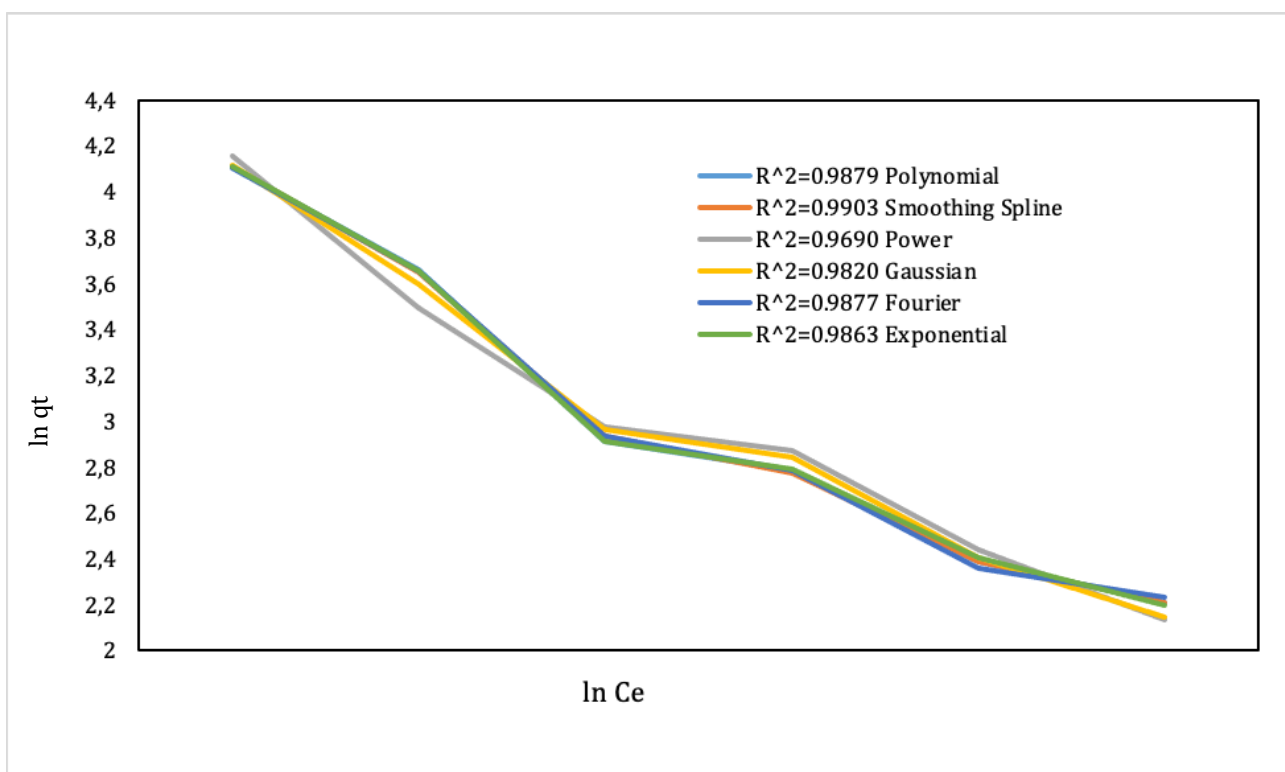


Figure 2. Fitting graphics of nonlinear models for isotherm studies

Table 3. The statistical performance of linear and nonlinear models for isotherm studies

Models	R^2	SSE	RMSE	Function
Linear Models				
Langmuir isotherm	0.8234	0.0012	0.0172	$y=2.1048x - 0.3107$
Freundlich isotherm	0.9229	0.2112	0.2298	$y=7.6252x - 10.255$
BET isotherm	0.9798	231.167	7.6021	$y=831.83x - 442.74$
Nonlinear Models				
Polynomial (three terms)	0.9879	0.0356	0.1335	$y=p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$ $p1=-244.6, p2=1276, p3=-2207, p4=1268$
Smoothing Spline (two terms)	0.9903	0.0265	0.1358	$y=$ piecewise polynomial computed from p $p = 0.999998$

Table 3. Continued

Power (two terms)	0.9690	0.0851	0.168 4	$y = a*x^b+c$ $a=-209.6,b=-8.585,c=4.975$
Exponential (two terms)	0.9863	0.0376	0.137 2	$y=a*\exp(b*x) + c*\exp(d*x)$ $a=-5.478e-17,b=20.12,c=0.001922,d=4.27$
Gaussian (two terms)	0.9820	0.0495	0.222 4	$y=a1*\exp(-((x-b1)/c1)^2) + a2*\exp(-((x-b2)/c2)^2)$ $a1=0,b1=12.15,c1=1.211,a2=4.128,b2=1.891,c2=0.2974$
Fourier (two terms)	0.9877	0.0336	0.183 3	$y=a0+a1*\cos(x*w)+b1*\sin(x*w)+a2*\cos(2*x*w)+b2*\sin(2*x*w)$ $a0=3.468a1=-0.6309,b1=-0.7221,a2=-0.1642,b2=-0.2769w=11.89$

Table 4. Comparison of the adsorption isotherm results with the literature

Reference	Adsorbent	Model type	R ²
Omidinasab et al., 2018	magnetic chitosan nanoparticles	Langmuir	0.8882
		Freundlich	0.9805
		Temkin	0.85
		Dubinin-Radushkevich	0.7949
Shafizadeh et al., 2019	magnetic ion-imprinted polymer	Langmuir	0.989
		Freundlich	0.965
Sato et al., 2019	Silk fibroin fiber	Langmuir	0.9755
		Freundlich	0.9557
Wang et al., 2021	PEI-chitin	Langmuir	0.944
		Freundlich	0.858
	Amberjet 4200	Langmuir	0.987
		Freundlich	0.906
	SYL-0830	Langmuir	0.935
		Freundlich	0.970
Özkan et al., 2017 (Our previous study)	Waste orange peel	Langmuir	0.8234
		Freundlich	0.9229
		BET	0.9798
This study	Waste orange peel	Smoothing spline (Best model)	0.9903

4. Conclusion

In this study, different nonlinear curve fitting models applied to experimental kinetic and isotherms data of Pd adsorption onto waste orange peel. Additionally, different linear models were also applied to kinetic studies. Results obtained from linear and non-linear regression methods were compared to determine the best fitting of isotherm and kinetic model to experimental data. Based on this fact, it is vitally important to emphasize that it would be not correct to decide whether a fitted mathematical model is efficient and promising only by considering R² values. Therefore, the SSE and RMSE values should be taking into account as well as R². According to results, Smoothing Spline model shows best fitting with higher R² and lower SSE and RMSE values. Results indicate that using the curve fitting is not only efficient, but also an effortless process in terms of estimating the amount of adsorbed Pd with respect to varied amount of orange peels. As a further study, modeling equations would be applied to different metal adsorption studies.

Acknowledgement

This study was supported by the Anadolu University Scientific Research Projects Commission under grant no: 1503F143.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Adhikari, C.R., Parajuli, D., Kawakita, H., Inoue, K., Ohto, K., Harada, H., 2008. Dimethylamine-modified waste paper for the recovery of precious metals. *Environmental Science and Technology*, 42(15). 5486-5491.
- Chapra, S. C., Canale, R. P., 2010. Numerical methods for engineers. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- Fabre, E., Lopes, C.B., Vale, C., Pereira, E., Silva, C.M., 2020. Valuation of banana peels as an effective biosorbent for mercury removal under low environmental concentrations. *Science of the Total Environment*, 709, 135883.

- Fayemi, O.E., Adeniyi, S.O., Kempgens, P.F.M., Antunes, E., Torto, N., Nyokong, T., Tshentu, Z.R., 2013. Adsorption and separation of platinum and palladium by polyamine functionalized polystyrene-based beads and nanofibers. *Mineral Engineering*, 53, 256-265.
- Herrero, R., Lodeiro, P., García-Casal, L.J., Vilariño, T., Rey-Castro, C., David, C., Rodríguez, P., 2011. Full description of copper uptake by algal biomass combining an equilibrium NICA model with a kinetic intraparticle diffusion driving force approach. *Bioresource Technology*, 102 (3), 2990-2997.
- Igberase, E., Osifo, P., Ofomaja, A., 2017. Chromium (VI) ion adsorption by grafted cross-linked chitosan beads in aqueous solution—a mathematical and statistical modeling study. *Environmental Technology*, 38(24), 3156-3166.
- Kalantari, K., Ahmad, M.B., Masoumi, H.R., Shameli, K., Basri, M., Khandanlou, R., 2015. Rapid and high capacity adsorption of heavy metals by Fe₃O₄/montmorillonite nanocomposite using response surface methodology: preparation, characterization, optimization, equilibrium isotherms, and adsorption kinetics study. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 49, 192-198.
- Kızmaz, A., Altıok, D., Barutçu Mazi, I., 2019. Adsorption Isotherms of Kiwifruit Dried By Different Drying Methods, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 167-174.
- Morcali, M.H., Zeytuncu, B., 2015. Investigation of adsorption parameters for platinum and palladium onto a modified polyacrylonitrile-based sorbent. *International Journal of Mineral Processing*, 137, 52-58.
- Omidinasab, M., Rahbar, N., Ahmadi, M., Kakavandi, B., Ghanbari, F., Kyzas, G.Z., Martinez, S.S. & Jaafarzadeh, N. 2018. Removal of vanadium and palladium ions by adsorption onto magnetic chitosan nanoparticles. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 34262-34276.
- Özkan, A., Günkaya, Z., Yapıcı, E., Banar, M., 2018. Palladium Adsorption from Printed Circuit Boards with Waste Orange Peels. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 201-206.
- Öztürk, M., Yıldız, S., Aslan, Ş., 2020. Nikel (II) İyonlarının Atık Çay'a Biyosorpsiyonu: Denge, Kinetik ve Termodinamik Çalışmaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 985-998.
- Parajuli, D., Khunathai, K., Adhikari, C.R., Inoue, K., Ohto, K., Kawakita, H., Funaoka, M., Hirota, K., 2009. Total recovery of gold, palladium, and platinum using lignophenol derivative. *Mineral Engineering*, 22, 1173-1178.
- Putri, K.N.A., Keereerak, A., Chinpa, W., 2020. Novel cellulose-based biosorbent from lemongrass leaf combined with cellulose acetate for adsorption of crystal violet. *International Journal of Biologica Macromolecules*, 156, 762-772.
- Rathinam, A., Maharshi, B., Janardhanan, S.K., Jonnalagadda, R.R., Nair, B.U., 2010. Biosorption of cadmium metal ion from simulated wastewaters using *Hypnea valentiae* biomass: A kinetic and thermodynamic study. *Bioresource Technology*, 101(5), 1466-1470.
- Sato, T., Abe, S., Ito, S., Abe, T. 2019. Silk fibroin fiber for selective palladium adsorption: Kinetic, isothermal and thermodynamic properties. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), 102958.
- Sayin, M., Can, M., Imamoğlu, M., Arslan, M., 2015. 1,3,5-Triazine-pentaethylenehexamine polymer for the adsorption of palladium (II) from chloride-containing solutions. *Reactive and Functional Polymers*, 88, 31-38.
- Shafizadeh, F., Taghizadeh, M., Hassanpour, S., 2019. Preparation of a novel magnetic Pd(II) ion-imprinted polymer for the fast and selective adsorption of palladium ions from aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 18493-18508.
- Sharma, S., Rajesh, N., 2016. Augmenting the adsorption of palladium from spent catalyst using a thiazole ligand tethered on an amine functionalized polymeric resin. *Chemical Engineering Journal*, 283, 999-1008.
- Sharma, A., Rajesh, N., 2014. 2-Mercaptobenzothiazole impregnated cellulose prepared by ultrasonication for the effective adsorption of precious metal palladium. *Chemical Engineering Journal*, 241, 112-121.
- Suzaki, P.Y.R., Munaro, M.T., Triques, C.C., Kleinübing, S.J., Klen, M.R.F., de Matos Jorge, L.M., Bergamasco, R., 2017. Biosorption of binary heavy metal systems: Phenomenological mathematical modeling. *Chemical Engineering Journal*, 313, 364-373.
- Tunç Dede, Ö. 2019. Potential Use of Hazelnut Processing Plant Wastes as a Sorbent for the Simultaneous Removal of Multi-Elements From Water. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 301-302.
- Wang, Z., Kang, S.B., Won, S.W., 2021. Selective adsorption of palladium(II) from aqueous solution using epichlorohydrin crosslinked polyethylenimine-chitin adsorbent: Batch and column studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105058.
- Yang, Y., Lin, X., Wei, B., Zhao, Y., Wang, J., 2014. Evaluation of adsorption potential of bamboo biochar for metal-complex dye: equilibrium, kinetics and artificial neural network modeling. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4), 1093-1100.



TEKSTİL ATIKSUYUNDAN ASTRAZON BLACK BOYASININ GİDERİMİ: TAGUCHİ METODU İLE MODELLEME

Elanur ADAR^{1*}, Filiz Nuran ACAR²

¹ Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Adsorpsiyon,
Fenton,
Toprak,
Tekstil Atıksuyu,
Taguchi Metodu.

Öz

Bu çalışmada, adsorbent olarak kullanılan bahçe toprağı ile sentetik olarak hazırlanan Astrazon Black MBL (AB) boyası giderimi araştırılmıştır. Araştırmada sentetik boya çözeltilisinde hem renk hem de organik madde içeriğinin giderimi, adsorpsiyon ve Fenton prosesleri ile farklı işletme şartları altında çalışılmıştır. Arıtma sonrası numunelerde oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. Fenton prosesinde oluşan çamur miktarı ölçülmüş, her iki sistem için renk giderimi, KOİ giderimi ve ORP değişimi istatistiksel analiz edilerek modeller önerilmiştir. Adsorpsiyon çalışmasında renk ve KOİ giderimi için işletme parametrelerinin farklı etkisi ve elde edilen optimum değerler farklı olmuştur. Fenton çalışmasında ise Fe⁺² ve H₂O₂ miktarı hem renk hem de KOİ giderimine aynı etkiye sahip olmuştur. Aynı optimum değerler elde edilmiş ve her iki sistem ile optimum şartlarda rengin tamamı giderilebilmiştir. Her iki sistemde de KOİ giderimi %86'nın üzerinde gerçekleşmiştir. Kullanılan toprak ile yüksek oranlarda renk giderilebileceği ve organik maddelerin yüzeyde tutunabileceği sonucuna varılmıştır.

REMOVAL OF ASTRAZON BLACK DYE FROM TEXTILE WASTEWATER: MODELLING BY TAGUCHI METHOD

Keywords

Adsorption,
Fenton,
Soil,
Textile Wastewater,
Taguchi Method.

Abstract

In this study, both color and organic matter removal in Astrazon Black MBL (AB) dye wastewater were studied under different operation conditions by adsorption and Fenton processes. Moreover, oxidation-reduction potential (ORP) and FTIR analysis were performed on the samples after treatment. The amount of sludge generated in the Fenton process was measured. Color removal, chemical oxygen demand (COD) removal and ORP change for both systems were statistically analyzed and models were proposed using Taguchi method. As a result of the study, effects of operation parameters and optimum values obtained for color and COD removals in the adsorption study were different. In the Fenton study, the amount of Fe⁺² and H₂O₂ had the same effect on both color and COD removals, and the same optimum values were obtained. With both systems, the color could completely be removed under optimum conditions. COD removal determined also over 86% for both systems. If the removal of both parameters is to be considered, the operation conditions of the process should be determined according to COD removal, since color removal is much easier than mineralization. The soil used as an adsorbent has shown that high levels of color and organic matters may be adsorbed.

Alıntı / Cite

Adar, E., Acar, F.N., (2021). Tekstil Atıksuyundan Astrazon Black Boyasının Giderimi: Taguchi Metodu İle Modelleme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 768-784.

* İlgili yazar / Corresponding author: aelanur@artvin.edu.tr, +90-466-215-1000

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Adar, 0000-0002-9609-0439	Başvuru Tarihi / Submission Date	09.10.2020
F.N. Acar, 0000-0002-8743-4666	Revizyon Tarihi / Revision Date	02.05.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	03.05.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile tüm sektörlerde hızlı bir üretim-tüketim süreci söz konusudur. Hızlı üretim-tüketime maruz kalan önemli sanayi dallarından biri de tekstil sanayiidir. Tekstil sanayisinde renkli ürünler elde etmek için çeşitli boyalar kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra ağartma, boyama ve yıkama işlemlerinde yüzey aktif maddeler, zehirli ve organik bileşikler, ağır metaller, sabun, deterjan, tuz gibi maddeler de kullanılmaktadır. Bu maddelerin kullanımı sonucunda çevre kirliliğine yol açan zor arıtılabilir atıksular oluşmaktadır. Dünya çapında, tekstil sanayisinde kullanılmak için yılda yaklaşık $7-10 \times 10^5$ ton üzerinde boyarmadde üretilmiştir. Üretim kapasitesi 8 ton olan bir tekstil sanayisinde 1,6 milyon m^3 su kullanıldığı, yılda $2,8 \times 10^5$ ton atıksu oluştuğu (Türkeş, 2019) ve kullanılan boyanın %15-20'sinin ise atıksuya karıştığı tahmin edilmiştir (Babaei vd., 2017). Tekstil sanayisi, değişken pH değeri, farklı boyarmadde kullanımı, yüksek sıcaklık ($50-70^\circ C$) ve çeşitli kirleticileri (organik, inorganik) içeren bir atıksuya sahiptir. Boyarmaddelerin tehlikeli özellikte olup olmadığı önemlidir. Tehlike özelliği gösteren bir boyarmaddenin kullanımı sonucu yeterli önlemler alınmadan alıcı ortamlara (özellikle su ve toprak) deşarj edilmesi çevre sağlığı için büyük bir riske neden olmaktadır. Boyaların çok küçük miktarları suyun renklenmesine neden olmakta, renk kirliliğinden de öte, boyalar sucul ortamda fotosentez ve solunum aktivitelerini olumsuz etkileyerek su ekosisteminin dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Ortam şartlarına bağlı olarak azo bağının indirgeyici bölünmesi ile toksik ürünler de (aromatik aminler) oluşabilmektedir (Khan vd., 2019). Dahası, boyalar su ortamında ışık geçirgenliğinin azalmasına ve gaz çözünürlüğünün azalmasına, sudaki çözünmüş oksijenin tükenmesi ve canlıların ölmesine neden olmaktadır (Çakmak vd., 2017). Boyaların çevreye etkisi yanı sıra insanlara da mutajenik ve kanserojenik etkisi vardır (Khan vd., 2019).

Sentetik boyalar katyonik, anyonik ve noniyonik olarak üç grupta incelenir. Katyonik boyalar en büyük grubu ve en kararlı/kalıcı grubu oluşturur. Katyonik boyalar azot atomlarının etrafındaki kromoforik sistem boyunca katyonik yapılar içerir. Çoğunlukla da katyonik boyalar bazik boyalardır (Marungrueng ve Pavasant, 2006). Bunlar ipek, yün, naylon ve akrilik boyamada yaygın şekilde kullanılırlar (Tezcan vd., 2019). Düşük enerji tüketimi, kolay kullanımı ve üretimi, yıkama sırasındaki yüksek stabilitesi (sıcaklığa, güneş ışığına vb.) ve renk çeşitliliğinden dolayı da yaygın şekilde kullanılırlar. Ağır metalleri içeren boyalar (sülfo ve azo gruplarına sahip sentetik boyalar) biyolojik ayrışmaya karşı dirençlidirler (Sennaoui vd., 2018). Boyaların yapısal özellikleri ekosistem üzerine bir risk olup çevreye salınmadan önce kontrolleri sağlanmalıdır (Khan vd., 2019).

Tekstil atıksuyundaki boyaların kontrolü için konvansiyonel arıtım prosesleri boyanın toksik ve kararlı yapısından dolayı yeterli değildir (Eren vd., 2010; Sennaoui vd., 2018). İleri oksidasyon prosesleri (İOP) kirleticinin toksik ve kararlılığından dolayı konvansiyonel proseslere kıyasla çok daha az etkilenmektedir. En yaygın kullanılan ve/veya çalışılan adsorpsiyon ve Fenton yöntemleri birer İOP'tur. Özellikle de renkli atıksular için renk giderimi açısından adsorpsiyon tercih edilebilecek bir yöntemdir (Lee, 2016).

Adsorpsiyon, fiziksel/fizikokimyasal bir yöntemdir. Mekanizması, kirletici ve adsorbent yüzeyinin etkileşimi ile adsorbent ve kirletici fonksiyonel gruplarının birbirine başlıca tutunmasına ve kısmen de oksidasyonuna bağlıdır. Yaygın bir şekilde adsorbent olarak aktif karbon (granüler özellikle de) kullanılır. Adsorpsiyon prosesinin kullanımı ve işletimi basit olup en büyük dezavantajı kullanılan adsorbentin ekonomik olmamasıdır. Ticari olarak üretilen aktif karbon çok verimli olup birçok kirliliğin gideriminde yüksek verim sağlayabilmektedir. Yüksek aktiviteye sahip ticari aktif karbon yerine sistem maliyetini azaltmak için farklı özellikler de adsorbentler üretilip ve üretilen adsorbentlerin performansları belirlenmektedir (Gao vd., 2010; Acevedo vd., 2015; Aktaş vd., 2017; Ertugay, 2018; Dinçer vd., 2019; Öztürk vd., 2020; Türkyılmaz ve Işınkaralar, 2020). Arıtılmamış tekstil atıksuları alıcı ortama verildiğinde su ya da toprak ortamına kolayca difüze olarak geniş alanlarda kirliliğe neden olabilmektedir. Toprağın tekstil boyalarını adsorbe etmesi dikkate alınarak son yıllarda bu konuda bazı çalışmalar yapılmıştır. (Son vd., 2016; Çakmak vd., 2017; Li vd., 2019). Çakmak vd. (2017) modifiye edilmiş kil ile Astrazon Golden Yellow 7 GL'nin adsorpsiyonunun 105 dakika temas süresi, pH 6, 100 mg/L boya konsantrasyonu, 0,25 gr/L adsorbent miktarı ve $50^\circ C$ 'de en yüksek renk giderimi olduğunu gözlemlemiştir ve modifiye edilmiş kilin ekonomik bir şekilde adsorbent olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir. Son vd. (2016) diatomit ile Astrazon Black AFDL boyasının giderimi için gerçekleştirdikleri çalışmada pH'nın önemli bir işletme parametresi olduğunu ve yüksek pH'lar da adsorpsiyon kapasitesinin arttığını ifade etmiştir. Özellikle kil, bentonit ve diatomit gibi topraklar bilinen özelliklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin kil, düzenli depolama sahalarında yeraltı suyuna kirletici geçişinin engellenmesi için taban örtüsü olarak kullanılmaktadır (Adar ve Bilgili, 2015). Çevredeki

bir toprağın kirleticiyi tutma özelliğini gözlemek ve adsorbent olarak kullanılabilirliğini belirlemek için bu çalışmada adsorpsiyon prosesinde toprak kullanımı tercih edilmiştir.

Boyar maddelerin oluşturduğu bağları kırmak ve boyaları arıtmak için son on beş yıldır İOP proseslerinden Fenton da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde boyaların etkin gideriminin sağlandığı ifade edilmiştir. Fenton prosesi, kimyasal olarak hidroksil radikali (OH•) üreten metottur. OH• nin oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) 2,8 V'tur ve florürden sonra en güçlü oksidan olup seçici olmaksızın organik bileşikler ile reaksiyona girerek mineralizasyonu sağlar (Sennaoui vd., 2018). Fenton prosesinde katalizör olarak genellikle demir bileşikleri (Fe²⁺/Fe³⁺) kullanılmaktadır. Demir bileşikleri, toksik olmayıp ve çözüldükten kolayca çöktürülerek uzaklaştırılmaktadır. Oksidan olarak kullanılan H₂O₂ ise toksik olmayan H₂O ve O₂ gibi maddelere ayrışır. Her iki maddenin bulunması da ortam şartlarına göre hidroksil radikallerinin oluşmasına ve kirleticilerin verimli bir şekilde mineralizasyonunu sağlar (Eren vd., 2010; Erat, 2018).

Toksik azo boya olan Astrazon boyaların Fenton ile giderimi ile ilgili bazı çalışmalar yürütülmüştür (Rahman vd., 2010; Esteves vd., 2016; Rodrigues vd., 2016; Erat, 2018). Esteves vd. (2016) Astrazon Blue FGGL 300% boyasının heterojen Fenton ile arıtımını farklı H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonu, sıcaklık ve temas süresinde gerçekleştirmiştir. Optimum şartlarda %62,7 renk ve %39,9 toplam organik karbon (TOK) giderimi elde edildiği gözlenmiştir. Erat (2018) ise Astrazon Yellow 5GL boyar maddesini giderimini farklı pH, H₂O₂, Fe²⁺, boyar madde konsantrasyonu kullanarak çalışmıştır ve en yüksek renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim yüzdeleri sırasıyla %98,7 ve %80,4 olarak belirlenmiştir.

Bir sistemin verimi, temel işletme parametreleri olan pH, sıcaklık, kirleticinin bileşimi ve kirleticinin konsantrasyonundan etkilenmektedir. Adsorpsiyon sistemi için farklı parametreler (örneğin adsorbent miktarı, türü, aktivitesi vb.) ve Fenton sistemi için farklı parametrelerin (Fe²⁺, H₂O₂ miktarı vb.) etkisi söz konusudur. Bu parametreler optimize edilmediğinde düşük giderim ve fazla kullanılan malzemeden dolayı işletme maliyetleri artmaktadır. Örneğin, optimize edilmeyen bir Fenton sisteminde Fe²⁺ ve H₂O₂ miktarları optimize edilmezse hidroksil radikalleri tutulabilmekte ve reaksiyona girme eğilimleri azalabilmektedir. Fe²⁺ iyonlarının H₂O₂ iyonlarına kıyasla fazla olmasında arıtımın mekanizması oksidasyon değil kimyasal koagülasyon olabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı Astrazon Black MBL boyasının toprak üzerine farklı işletme şartları altında adsorplanabilirliğini ve Fenton yöntemi ile giderilebilirliğini araştırmak ve elde edilen sonuçlara göre her iki sistemi de karşılaştırmaktır. Bu amaç için de birçok çalışmada ele alınan işletme parametrelerinden adsorpsiyon için farklı pH, adsorbent miktarı, boya konsantrasyonu ve temas süresi değerleri; ve Fenton prosesi için farklı pH, boya konsantrasyonu, H₂O₂ ve Fe²⁺ konsantrasyonları kullanılarak hem renk hem de KOİ giderimlerini belirlemektir. Ayrıca, sistemlerde çıkış suyunda ORP'nin gözlenmesi ile sınırlı çalışma (Wu ve Wang, 2012; Yu vd., 2014) vardır. Bu sebeple de, oksidasyon mekanizmasına dayanan her iki sistem için ORP ve fonksiyonel gruplardaki değişimi gözlemek ve adsorpsiyon mekanizmasını açıklamak için de Fourier Transform Infrared Spectrometer-Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel verileri analiz etmek için, araştırılması planlanan işletme parametreleri için Taguchi yöntemi ile deneysel bir tasarım düzeni hazırlanmıştır. Her iki proses farklı kriterler açısından değerlendirilmiş ve her iki sistem için renk giderimi, KOİ giderimi ve ORP değişimleri için istatistiksel analizler yapılarak modeller önerilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Malzemeler (Materials)

Astrazon Black MBL 300 % (AB) tekstil boyar maddesi DyStar A.Ş.'den temin edilmiştir. AB boyasına herhangi bir ön işlem uygulanmamış, çalışma için 1 gr/L stok çözelti distile su ile hazırlanmıştır. Renk analizlerini gerçekleştirmek için farklı konsantrasyonlarda (1-50 mg/L) AB boyası kullanılarak spektrum taraması yapılmıştır. Boyanın organik içeriğini belirlemek için de KOİ analizi gerçekleştirilmiştir. AB boyasının dalga boyu ve KOİ değeri sırasıyla 613 nm ve 3340 mg/L olarak belirlenmiştir. 500 mg/L'lik (renk) AB boyasının pH, ORP ve iyon sayısı sırasıyla 4,18, 174,6 mV ve 1,08e⁻³ mol/L ölçülmüştür.

Her iki proseste de, pH ayarı için 0,1 N NaOH ve 0,1 N H₂SO₄ (Carlo Erba, %99) kullanılmıştır. Fenton prosesi için Riedel-de Haën'ten satın alınan Fe₂SO₄7H₂O (>99,5 saflık) ve %30'luk H₂O₂ kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar laboratuvar kalitesinde (>%99 saflık) olup gerekli çözeltilerin hazırlanmasında distile su kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan toprak, Erzurum İli sınırlarındaki müstakil bir evin bahçesinden temin edilmiştir ve toprak yüzeyinin 0-15 cm derinliğinden alınmıştır. Toprağa ön işlem olarak oda sıcaklığında hava teması ile kurutma ve

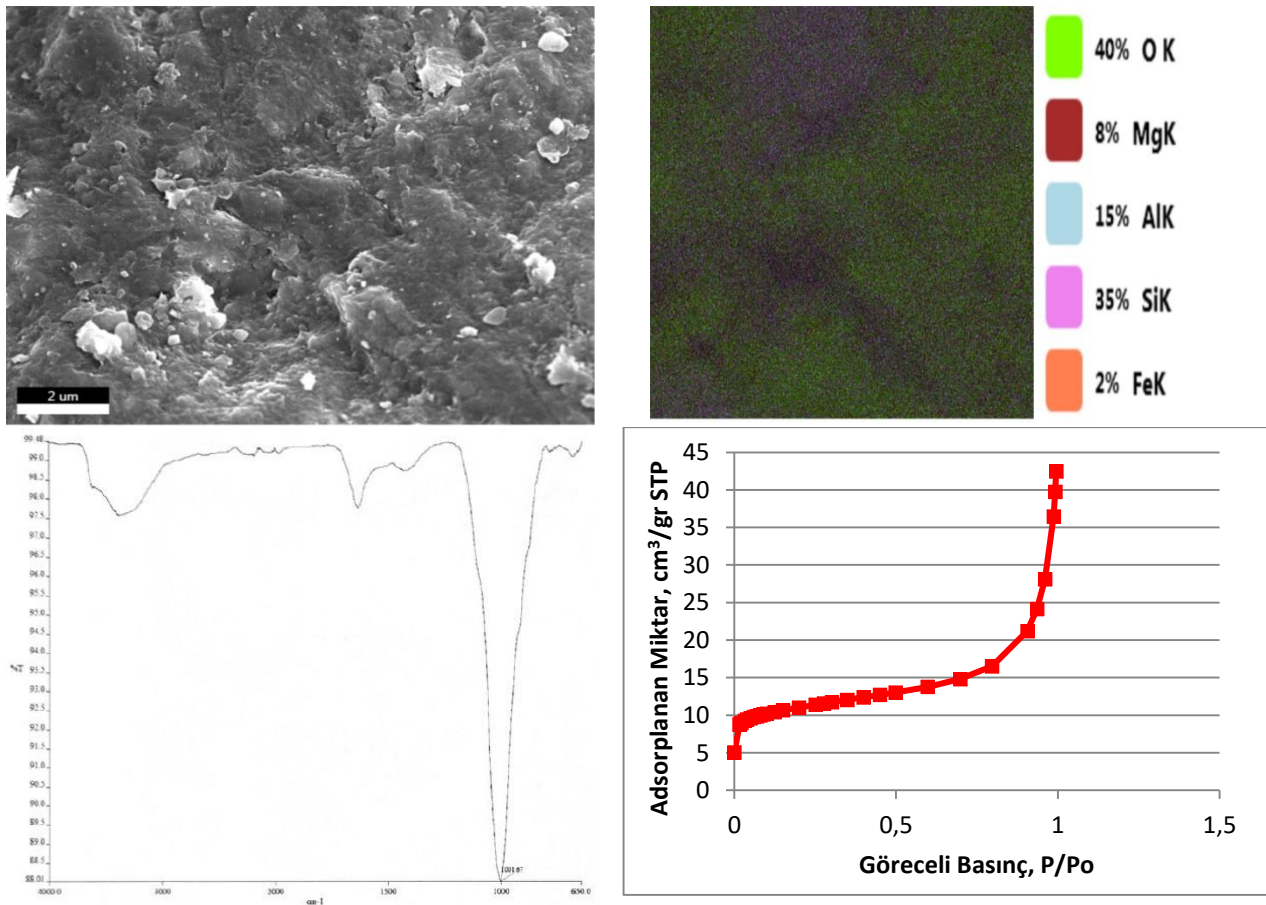
1 mm'lik elek ile elenme işlemleri uygulanmıştır. Çalışmada 1 mm'lik elek altında kalan toprak kullanılmıştır. Toprağın pH, ORP ve iyon sayısı, 1/10 oranında hazırlanan toprak ve distile suyu karışımında belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla 8,56; -77,7 mV ve $2,10 \times 10^{-1}$ mol/L olarak ölçülmüştür.

2.2. Metotlar (Methods)

Spektrofotometrik analizlerde (spektrum taraması, KOİ ve renk analizleri) Spectroquant Prove 300 Spectrophotometer (Merck) cihazı; pH, ORP ve iyon sayısı ölçümlerinde Mettler Toledo Seven Compact marka pH metre cihazı kullanılmıştır. Hem AB stok çözeltisinden hem de çıkış sularında KOİ analizleri APHA 5220-D metoduna göre gerçekleştirilmiş (APHA, 2012), düşük KOİ konsantrasyonlarında (<100 mg/L) 420 nm ve yüksek KOİ (>100 mg/L) konsantrasyonlarında 600 nm dalga boyları kullanılmıştır.

Toprağın fonksiyonel gruplarını, gözenek boyutu, yüzey alanı gibi fiziksel özelliklerini belirlemek için FTIR-ATR analizi $4000-650 \text{ cm}^{-1}$ aralığında Perkin Elmer Spectrum 100 cihazı, elemental analizler için de (SEM-EDAX) Zeiss EVO LS10 Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray Analysis cihazına bağlı EDS dedektörü (EDAX Element EDS dedektörü) kullanılmıştır. Gözenek çapı ve por özelliklerinin tayini için Brunauer, Emmett and Teller (BET) analizleri Micromeritics ASAP 2020 cihazı kullanılmıştır. Adsorpsiyonda görev alan fonksiyonel grupların belirlenmesi için adsorpsiyondan önce ve adsorpsiyondan sonra FTIR-ATR analizleri yapılmıştır.

Toprakta gerçekleştirilen SEM-EDAX analizi sonucunda toprağın homojen yapıda olduğu ve %40 oksijen, % 8 magnezyum, %15 alüminyum, %35 silisyum ve %2 demir içerdiği belirlenmiştir (Şekil 1). FTIR-ATR analiz sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Toprağın FTIR-ATR analizinde parmak izi ve fonksiyonel grup bölgesinde üç pik oluşmuştur. Bu pikler 1001.67 cm^{-1} 'de (parmak izi bölgesi) ve $1550-1600 \text{ cm}^{-1}$ ve $3200-3400 \text{ cm}^{-1}$ 'de (fonksiyonel grup bölgesi) oluşmuştur. 1001.67 cm^{-1} 'deki pik alken grubundaki =C-H grubuna, alkil halid grubundaki C-F bağına ve/veya Si-O gerilmesine; $1550-1600 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik aromatik gruptaki C=C bağına ve/veya amid grubundaki N-H bağına; ve $3200-3400 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik ise hidroksil grubundaki O-H bağına atfedilebilir (Çakmak vd., 2017; Ertugay, 2018; Oyekanmi vd., 2019).



Şekil 1. Toprakta SEM-EDAX, FTIR-ATR ve BET İzoterm Analizi (SEM-EDAX, FTIR-ATR ve BET Isotherm Analysis at the soil)

Toprağın yüzey alanı $45,2006 \pm 0,1215 \text{ m}^2/\text{gr}$, gözenek hacmi $0,0558 \text{ cm}^3/\text{gr}$, mikro gözenek hacmi $0,0935 \text{ cm}^3/\text{gr}$, ve ortalama gözenek genişliği $5,5603 \text{ nm}$ ($0,56 \text{ Å}$) olarak ölçülmüştür. Mikropor ve mezopordan oluşan toprak BET sınıflandırmasına göre, Tip II izotermine uygunluğu Şekil 1'deki grafikten görülmektedir. Tip II fiziksel

adsorpsiyon durumunda çok yaygındır. Kirletici ve adsorbent arasında etkileşimin güçlü olmasını ve çok tabakalı adsorpsiyonu temsil eder (Teli ve Nadathur, 2018). Eğri üzerindeki düz kısım tek tabakanın tamamına karşılık gelir. Ayrıca, Tip II izotermi, Langmuir adsorpsiyon modelinden büyük sapma gösterir.

2.3. Kesik Ölçekli Sistemler (Batch Scale Systems)

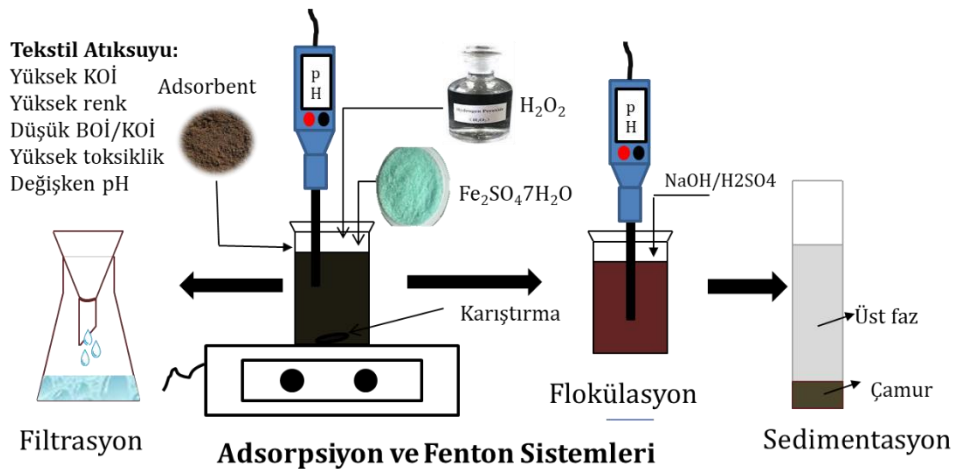
İşletme şartları ve deney tasarımı Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 2, işletme şartları Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada tekstil atıksuyunun doğal ortamlarda arıtımına eşdeğer ortamlar elde etmek amaçlanarak oda sıcaklığı (25°C) tercih edilmiştir. Tuz içeriği de toprak zaten yeterince inorganik ürünlere sahip bir madde olduğu için bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

Adsorpsiyon çalışmaları için; 1 L'lik stok AB boya çözeltisi, araştırılması planlanan konsantrasyonlara göre gerekli seyreltmeler yapılarak kullanılmıştır. Seyreltilen boya çözeltisinden 50 mL, 250 mL'lik erlene alınmış, pH ayarı asit/baz ilavesi ile yapılmıştır. Ardından uygun miktarda adsorbent (toprak) eklenmiştir. Uygun sürede numuneler 120 rpm'de karıştırılmıştır. Süre biter bitmez numune 0,45 µm'lik filtreden süzülür ve süzüntüde ilgili deneyler yürütülmüştür. Bu işlem tüm numuneler için gerçekleştirilmiştir.

Temel mekanizması kimyasal oksidasyon ve kimyasal koagülasyona dayanan Fenton çalışmaları için belli oranlarda seyreltilen boya çözeltileri 50 mL, 100 mL'lik behere alınmış, pH ayarı yapıldıktan ve uygun oranda Fe⁺² ve H₂O₂ eklendikten sonra araştırmalar başlanmıştır. Çalışmalarda, 5 dakika hızlı karıştırma (200 rpm), 25 dakika yavaş karıştırma (50 rpm) uygulanmıştır. Hızlı ve yavaş karıştırma işlemleri bittikten sonra numunelerin pH'ı 7-8 olacak şekilde ayarlanmıştır ve numuneler 60 dakika çökelmeye bırakılmıştır. Çökeltme sonrası numunelerde çamur miktarı ölçülmüştür. Üst fazda ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan adsorpsiyon ve Fenton sistemleri Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Adsorpsiyon ve Fenton çalışmaları için deneysel tasarım (Experimental design for Adsorption and Fenton studies)

Numune	Adsorpsiyon için İşletme Şartları				Fenton için İşletme Şartları			
	Adsorbent Miktarı gr	Boya Konsantrasyonu mg/L	pH	Temas Süresi Dakika	Boya Konsantrasyonu mg/L	Fe ⁺² mM	H ₂ O ₂ mM	pH
1	1	125	3	45	125	4	40	2,5
2	1	250	7	90	125	8	80	3
3	1	500	10	180	125	16	160	3,5
4	2	125	7	180	250	4	80	3,5
5	2	250	10	45	250	8	160	2,5
6	2	500	3	90	250	16	40	3
7	3	125	10	90	500	4	160	3
8	3	250	3	180	500	8	40	3,5
9	3	500	7	45	500	16	80	2,5



Şekil 2. Çalışmada kullanılan Adsorpsiyon ve Fenton sistemleri (Adsorption and Fenton systems used in the study)

Japon Bilim adamı Genichi Taguchi tarafından geliştirilen ve deney sayısı, kimyasal madde ve zamandan tasarruf sağlama prensibine dayanan Taguchi yöntemi kullanılarak deneysel çalışma şartları belirlenmiştir (Erat, 2018). Taguchi metodunda çıkış verisi/verileri, sinyal/gürültü oranına (S/N) dönüştürülür. S ve N sırasıyla sinyal faktörü ve gürültü faktörüdür. Sinyal faktörü, sistemdeki gerçek değerler iken gürültü faktörü deney tasarımına katılmayıp sonucu etkileyen faktörlerdir. Gürültü kaynakları, performansın azalmasına neden olan değişkenlerdir. Bu sebeple gürültü faktörü ne kadar çok olursa istenen hedeften o kadar uzaklaşmış olunur. Taguchi yöntemi S/N oranını en üst ya da en alt düzeye çıkarır. Bu çalışmada “en iyi/üst” (1) kriteri kullanılmıştır (Serençam ve Uçurum, 2019).

$$S/N = -10 * \log \left[\frac{1}{n} \sum_{f=1}^n \frac{1}{y_f^2} \right] \quad (1)$$

Burada y_i , performans karakteristik değeri (Nusselt sayısı), n ise y değerlerinin sayısıdır.

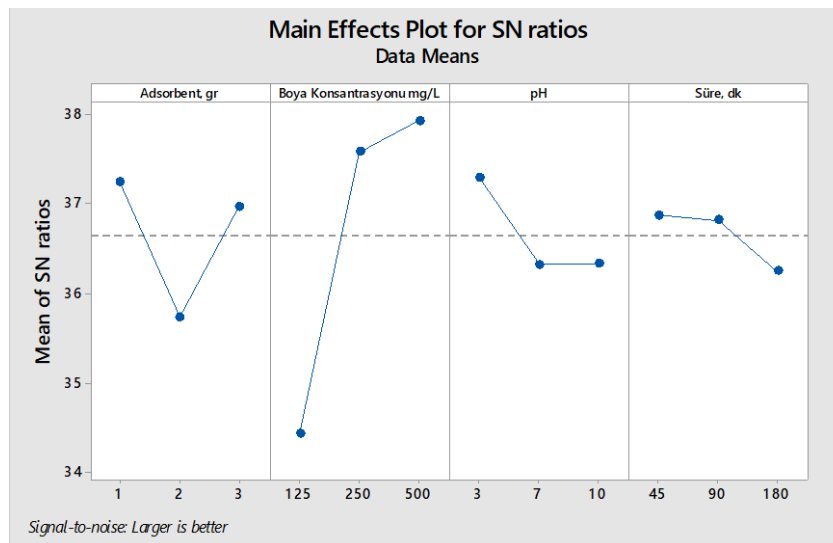
Taguchi metodu için Minitab 18 programında “Taguchi metodu ortogonal dizileri” kullanılarak çıkış verilerine regresyon analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada her iki sistem içinde dört işletme parametresi ele alınmış ve bu parametrelerin hepsi üç seviyeden oluşturulmuştur. Bu çalışmada L9 ortogonal dizisi (3^4) ve “en büyük en iyidir” yaklaşımı kullanılmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Adsorpsiyon Prosesi ile AB Giderimi (AB Removal By Adsorption Process)

KOİ Giderimine İşletme Parametrelerin Etkisi (Effect of Operation Parameters on COD Removal)

Model kirletici olarak kullanılan AB boyasının toprak üzerine adsorpsiyonu farklı işletme şartları açısından araştırılmıştır. Adsorpsiyon prosesinde KOİ giderim üzerine parametrelerin etkisi için belirlenen S/N oranları Şekil 3’te verilmiştir. KOİ gideriminin yüksek olması istendiği için “en büyük en iyi yaklaşımı” söz konusudur. Şekil 3’teki en yüksek değerler KOİ giderimi için optimum değerlerdir.



Şekil 3. Adsorpsiyonda KOİ giderimi için elde edilen S/N oranları (S/N ratios obtained for COD removal in adsorption)

KOİ giderim verimi % 44-% 81 aralığında gerçekleşmiştir. KOİ giderim verimi üzerine adsorbent miktarı hariç diğer parametrelerin lineer bir etkisi olmuştur. Boya konsantrasyonu artışı ile KOİ verimi artarken pH ve reaksiyon süresinin artışı ile KOİ giderim verimi azalmıştır. En yüksek KOİ giderimi için işletme şartları 1 gr adsorbent, 500 mg/L boya konsantrasyonu, pH 3 ve 45 dakika reaksiyon süresidir. Optimum şartlarda ise % 86,2 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Toprağa sadece partikül boyutunu küçültmek için ön işlem olarak kurutma-eleme yapılmasına rağmen AB boyasının yüksek konsantrasyonlarının gideriminde iyi verim sağlamıştır. Toprağın bir toz aktif karbon (TAK) gibi olmasa da iyi adsorplama özelliği olduğu söylenebilir. Toprak miktarı artışı ile boya giderimi arasına liner değişim gözlenmemiştir. 1 gr toprak kullanımı daha iyi giderim verimi sağlamıştır. Organik maddenin azalması için oksidasyon daha fazla gerçekleşmelidir. Adsorbent miktarı artışının olumlu etkisinin olmaması toprak partiküllerinin topaklaşmasından (agregasyon) dolayı olabilir. Bunun olma ihtimali yüksektir. Çünkü toprak bahçeden alındığı gibi kullanılmıştır ve herhangi bir aktifleştirme (sıcaklık, asit veya baz ile muamele vb.) işlemi

uygulanmamıştır. Agregasyonun gerçekleşmesi toprağın topaklaşmasına neden olur, böylece hem yüzey alanı azalır hem de difüzyon yolu uzar (Tony vd., 2019). Topaklaşma olmamış olsa bile adsorbentın fazla kullanımı tüm yüzeylerin aktif kullanımını engellemektedir. Yani, kümelenme, üst üste binme sonucu partiküller arasındaki etkileşimler yüksek adsorbent miktarlarında meydana gelebilir ve toplam yüzey alanında azalmaya yol açabilir (Farah ve El-Gendy, 2007).

AB boyasının konsantrasyonu arttıkça KOİ giderimi de artış göstermiştir. Boya konsantrasyonunun 125 mg/L'den 250 mg/L'ye artışı verimin hızla artmasına neden olmuştur. 250 mg/L'den 500 mg/L'ye artışında verimin artış hızı azalmıştır. Boya konsantrasyonunun artışı ile verimin artması kütle transferinin itici bir güç olduğunu gösterir (Gao vd., 2010). 250 mg/L'den 500 mg/L'ye arttığında az da olsa verim artış hızında bir azalma gözlenmiştir. Bunun sebebi de hem adsorbentın aktifliği ile ilgili hem de boya moleküllerinin artan rekabeti olduğu söylenebilir. pH, iyonlaştırılmış boya molekülleri tarafından verilen elektrostatik yüklerin büyüklüğünü kontrol eden ve adsorpsiyon mekanizmasını etkileyen bir parametre olup adsorbentın yüzey yükü ve fonksiyonel grupların iyonlaşma derecesini değiştirir. Bazık şartlara kıyasla asidik şartlarda daha yüksek KOİ giderimi sağlanmıştır. Bunun sebebi toprağın pH'ının 8,56 olması ve kullanılan boyanın katyonik olmasıdır. pH artışı ile adsorbentın aktif bölgeleri pozitif yüklenmiş olabilir. Katyonik boyada pozitif yüklü olduğundan organik moleküller ile adsorbent arasında itme kuvveti oluşarak adsorpsiyon olayının (kimyasal reaksiyonun) etkisi azaltılmış olabilir.

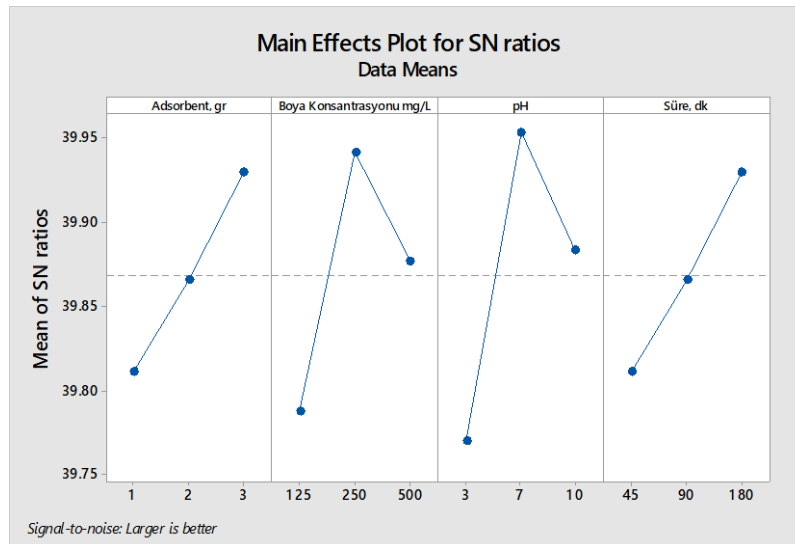
Üç farklı reaksiyon süresinde KOİ giderimi 45 dakikada en yüksek ölçülmüştür. Sürenin uzunluğu-kısalığı adsorbentın aktifliğini gösterir. Toprağın TAK kadar aktif olmadığı aşikârdır fakat herhangi bir aktifleştirme işlemi yapılmamasına rağmen de iyi verim sağlamıştır. 90 dakikada verimde önemli bir artış olmadı ve 180 dakikada ise verimde azalma gerçekleşmiştir. 45 dakikada toprağın doyunluğa ulaştığı söylenebilir.

Regresyon analizi sonucu, KOİ giderimi için elde edilmiş denklem (2) aşağıda verilmiştir. R^2 değeri 60,92 olan denklemdeki katsayılar bakıldığında KOİ giderim verimine en önemli parametrelerin sırasıyla pH ve adsorbentın olduğu görülmektedir. En az etkisi olan parametre ise reaksiyon süresidir.

$$KOİ\ Giderimi\ (\%) = 62,7 - 0,71 * Adsorbent\ Mikt. + 0,0603 * Boya\ Kons. - 1,08 * pH - 0,0227 * Süre\ (R^2 = 60,92) \quad (2)$$

Renk Giderimine İşletme Parametrelerin Etkisi (Effect of Operation Parameters on Colour Removal)

AB boyası içeren atıksuda renk giderimi için adsorbent miktarı, pH, reaksiyon süresi ve literatüre kıyasla yüksek boya konsantrasyonları kullanılarak adsorpsiyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Taguchi metodu ile analiz edilmiş, Taguchi analizi sonucu elde edilen S/N oranları Şekil 4'te verilmiştir. Renk gideriminde de "en büyük en iyi yaklaşımı" kullanıldığı için en yüksek değerler optimum değerlerdir.



Şekil 4. Adsorpsiyonda renk giderimi için elde edilen S/N oranları (S/N ratios obtained for color removal in adsorption)

Adsorpsiyon prosesi ile renk giderim verimi %95,2-99,6 aralığında elde edilmiştir. Renk giderimine artan adsorbent miktarı ve reaksiyon süresinin olumlu etkileri olurken boya konsantrasyonu ve pH değerleri liner bir değişim göstermemiştir. Adsorbent olarak toprak kullanımı ile renk giderimi için optimum işletme şartları 3 gr adsorbent, 250 mg/L boya konsantrasyonu, pH 7 ve 180 dakika reaksiyon süresidir. Optimum şartlarda ise % 100 renk giderim verimi elde edilmiştir.

Renk giderimine, KOİ gideriminin tersine artan adsorbent miktarı verimi artırmıştır. Artan adsorbent miktarı sonucu aktif bölgeler yani yüzey alanı ve fonksiyonel grupların bağlanma alanı artmaktadır (Khamparia ve Jaspal, 2016). Renk ve KOİ gideriminde aynı etki olmamasının en büyük sebebi renk giderimi için yüzeye tutunma mekanizmasının yeterli olması iken KOİ giderimi için renk veren vermeyen tüm organiklerin mineralizasyonu gereklidir. Adsorpsiyon prosesinin temel mekanizması fonksiyonel grupların yüzeye tutunması olduğu için diğer deyişle oksidasyonun kısmen gerçekleşmesidir. 400 mg/L AB boyasının giderimi için granüler aktif karbon (GAK), toprak ve TAK'nun verimlilikleri 120 rpm, 25°C, orijinal pH, 50 ml boya numunesi, 0,5 gr adsorbent ve 3 saat reaksiyon süresinde çalışılarak karşılaştırma yapılmıştır. TAK'nun çok aktif olduğu ve rengin tamamı giderildiği, toprağın ise GAK kadar iyi bir verim sağladığı görülmüştür. Toprak ve GAK kullanımında sırasıyla yaklaşık %93 ve %97 renk giderimi elde edilmiştir.

Boya konsantrasyonu arttıkça renk giderimi belli bir yere kadar artmış daha sonra azalmıştır. Artan boya konsantrasyonu tutunması gereken fonksiyonel grupların da artması demektir. Bazı çalışmalarda konsantrasyon arttıkça verimde de artış gözlenmiştir. Bunun sebeplerinden biri kirletici özellikleri, adsorbent özellikleri ve diğer işletme şartlarıdır. Diğerleri ise çalışmalarda genellikle 100 mg/L'den küçük konsantrasyonların kullanılmasıdır (Gao vd., 2010). Konsantrasyon gradyanı belli bir noktaya kadar itici bir güçtür. Fakat yüksek konsantrasyonlarda, konsantrasyon gradyanının itici gücünün etkisi belli bir noktadan sonra daha az olabilir.

Üç farklı pH değerinde yürütülen adsorpsiyon çalışmasında pH'nın verim üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. En yüksek verim nötr değerinde elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda de asidik şartlara kıyasla nötre yakın değerlerde iyi verim elde edildiği gözlenmiştir (Ertugay, 2018). Optimum pH üzerine etki eden en önemli faktör adsorbent pH'dır. Bu çalışmada kullanılan toprağın pH'ı 8,56 yani alkalidir. pH'ı 4,18 olan AB boyasının yüzeye tutunması için optimum pH 7 iken sistemde oksidasyonun gerçekleşmesi için optimum pH 3 (KOİ giderimi açısından) tür. Bu ise renk ya da KOİ giderimi için işletme parametrelerinin farklı etkisi olduğunu ve dikkate alınması gereken bir parametrenin olduğunu gösterir. Dinçer vd. (2019) asidik ya da nötre yakın pH değerlerinde elektrostatik çekim kuvvetlerinin artması sonucunda adsorplanmanın arttığını ifade etmiştir. Alkali şartlarda adsorplanmanın az olmasının sebebi olarakta hidroksil iyonların varlığı olduğu belirtilmiştir (Dinçer vd., 2019). Ayrıca boyaların çözünürlüğü de önemli etki etmektedir.

KOİ gideriminin (45 dakika reaksiyon süresi) aksine renk giderimi daha uzun reaksiyon süresinde gerçekleşmiştir. Bu adsorbent çok aktif olmadığını ve büyük bir yüzey alanına sahip olmadığını gösterir aynı zamanda oksidasyona kıyasla yüzeye tutunma olayının gerçekleşmesinin daha uzun reaksiyon süresi gerektirdiğini gösterir. Elde edilen sonuçlara regresyon analizi uygulandığında elde edilen model (3) aşağıda verilmiştir. Modelin R² değeri 54,79'dur. Adsorpsiyon prosesi ile AB boyası renginin giderilmesine etki eden faktörlerin önem derecesi sırasıyla adsorbent miktarı, pH, reaksiyon süresi ve boya konsantrasyonudur.

$$\text{Renk Giderimi (\%)} = 94,29 + 0,667 * \text{Adsorbent Mikt.} + 0,00187 * \text{Boya Kons.} + 0,199 * \text{pH} + 0,00963 * \text{Süre} \quad (R^2 = 54,79) \quad (3)$$

Çıkış Sularındaki pH, ORP ve FTIR Değişimleri (Changes of the pH, ORP and FTIR in Effluents)

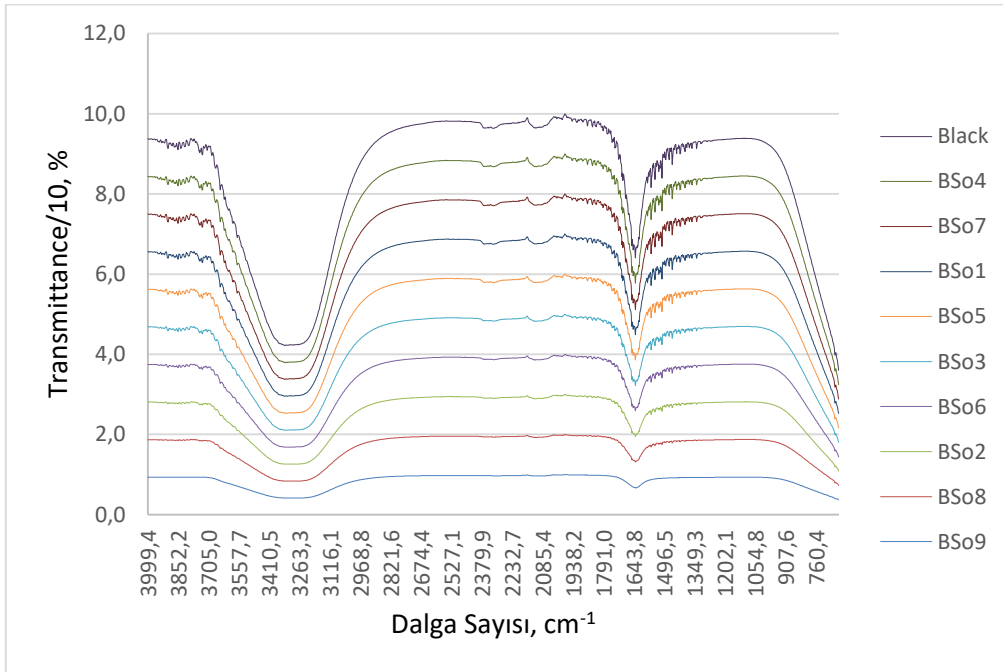
AB boyasının giderimi için gerçekleştirilen çalışmada, giriş ve çıkış sularında aynı zamanda pH, ORP, iyon sayısı ölçülmüştür (Tablo 2). Analiz öncesi ve sonrası fonksiyonel grupların değişimini incelemek için FTIR analizi yapılmıştır ve sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Adsorpsiyon sonrası numunelerin pH'ı 6,74-7,86 aralığında değişmiştir. Bu pH aralığı, alıcı ortama deşarj edilmeden önce pH ayarı yapma gereksinimini ortadan kaldırdığı için adsorpsiyon prosesine avantaj sağlar. ORP, oksidasyona dayalı sistemlerde reaksiyon hakkında bilgi veren analizi kolay bir parametredir. Çıkış numunelerinde ORP -37,8 mV ve 26,8 mV aralığında ölçülmüştür. ORP'yi ortamın işletme şartları etkilemektedir. Taguchi analizi sonucunda ORP için elde edilen model (4) aşağıda verilmiştir.

$$\text{ORP} = 54,4 - 2,15 * \text{Adsorbent Mikt.} - 4,31 * \text{pH} + 0,0007 * \text{Boya Kons.} - 0,2731 * \text{Süre} \quad (R^2 = 85,68) \quad (4)$$

Bu modelden, ORP'ye etki eden faktörlerin önem derecesine göre sırası pH>adsorbent miktarı>reaksiyon süresi>boya konsantrasyonudur. Wu ve Wang (2012) pH değeri ile ORP arasındaki ters bir ilişki olduğunu söylemiştir. Bu çalışmada da pH ile ORP arasında ters ilişki olduğu modelden görülmektedir. Yüksek R² değeri, işletme parametreleri ve ORP arasındaki güçlü ilişkiyi göstermektedir. İyon konsantrasyonu da farklı aralıkta ölçülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Çıkış Sularındaki pH, ORP ve İyon ürünleri (pH, ORP and Ion products in effluents)

Numune	Renk Giderimi %	KOİ Giderimi %	pH	ORP mV	İyon Sayısı mol/L
1	95,2	62,3	6,74	26,8	3,52e ⁻¹
2	99,6	79,6	7,22	-0,6	1,03e ⁺⁰
3	98,8	77,7	7,86	-37,8	4,35e ⁺⁰
4	99,2	43,6	7,82	-35,5	3,99e ⁺⁰
5	98,8	67,5	7,48	-15,6	1,84e ⁺⁰
6	97,4	78,0	6,81	23,2	4,04e ⁻¹
7	98,4	53,7	7,28	-4,0	1,17e ⁺⁰
8	99,6	80,8	7,53	-18,7	2,07e ⁺⁰
9	99,6	80,8	7,24	-1,8	1,07e ⁺⁰

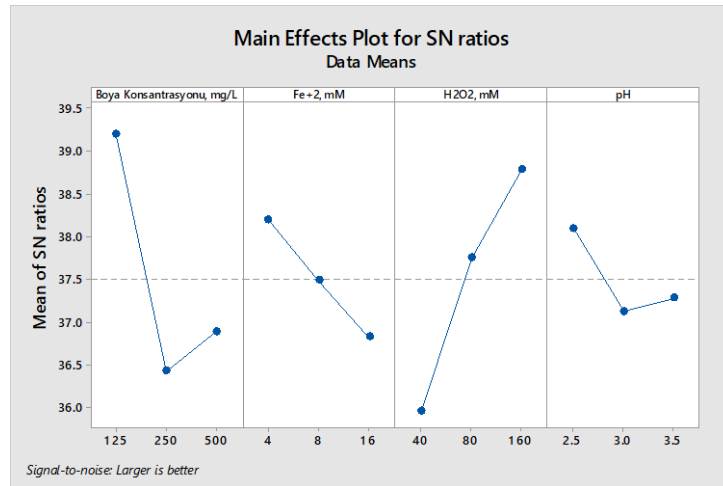
**Şekil 5.** Çıkış sularındaki FTIR sonuçları (FTIR results in the effluents)

Şekil 5'teki sonuçlara bakıldığında, giderim verimindeki artış fonksiyonel gruplardaki yoğunluğun azalmasını sağlamıştır. Başlıca hem AB boyasında (black) hem de çıkış numunelerinde fonksiyonel bölgede iki pik oluşmuştur. Bu pikler 2924-3677 cm⁻¹ (3302 cm⁻¹) ve 1560-1750 cm⁻¹ (1638 cm⁻¹) dalga sayılarında görülmüştür. Tüm numunelerde aynı piklerin varlığı bu fonksiyonel grupların kararlılığını gösterir. 3302 cm⁻¹'deki pik amin ve amidlerdeki N-H veya fenollerdeki O-H uzama titreşimine ve 1638 cm⁻¹'deki pik alken grubundaki C=C veya karboksilik grup olan C=O uzama titreşimlerine atfedilebilir (Tezcan vd., 2019; Dinçer vd., 2019).

3.2. Fenton Prosesi ile AB Giderimi (AB Removal By Fenton Process)

KOİ Giderimine İşletme Parametrelerinin Etkisi (Effect of Operation Parameters on COD Removal)

Tekstil sanayinde kullanılan boyalardaki kimyasal bağlar çok güçlü olduğundan bu bağları kırabilmek için araştırmamızda kuvvetli bir oksidasyon prosesi olan Fenton prosesi kullanılmıştır. Gerçek atıksuyu temsil etmesi için yüksek AB içeriğine sahip sentetik boya çözeltisi hazırlanarak deneyler yapılmış ve KOİ giderimi Fenton prosesi ile farklı işletme parametreleri (boya konsantrasyonu, pH, Fe⁺² ve H₂O₂ konsantrasyonu) açısından optimize edilmiştir. Taguchi analizi sonucu elde edilen S/N oranları Şekil 6'da verilmiştir.



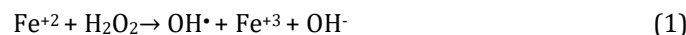
Şekil 6. Fenton'da KOİ giderimi için elde edilen S/N oranları (S/N ratios obtained for COD removal in Fenton)

KOİ giderimi için “en büyük en iyi yaklaşımı” kullanıldığı için en büyük S/N oranlarındaki değerler optimum işletme şartlarını verir. Boya konsantrasyonu ve pH liner değişim göstermezken Fe⁺² ve H₂O₂ konsantrasyonu liner bir değişim göstermiştir. AB boyasının Fenton ile gideriminde KOİ açısından optimum işletme şartları 125 mg/L boya, 4 mM Fe⁺², 160 mM H₂O₂ ve 2,5 pH olarak elde edilmiştir. Dikkate alınan işletme şartlarında KOİ giderim verimi %57-95,2 aralığında belirlenirken optimum şartlarda KOİ giderim verimi % 98,4 elde edilmiştir.

Düşük boya konsantrasyonu genellikle düşük KOİ demektir. Bu çalışmada yüksek boya konsantrasyonu kullanılmasının bir sebebi de KOİ giderimini de dikkate almak içindir. Çalışılan üç farklı konsantrasyon için en iyi verim en düşük boya konsantrasyonunda (125 mg/L) elde edildi. 250 mg/L ve 500 mg/L boya konsantrasyonlarında S/N oranlarında büyük bir fark yoktur. Daha yüksek boya konsantrasyonlarında verimi artırmak için farklı Fe⁺² ve H₂O₂ konsantrasyonları denenebilir.

KOİ giderimine, Fe⁺² ve H₂O₂'in etkisi aynı olmamıştır. Fe⁺² düşük molarda ve H₂O₂ yüksek molarda daha yüksek etkiye sahip olmuştur. Yüksek H₂O₂'in varlığı ortamda oksitleyici türleri arttırdığı için olumlu etki sergiler. Fakat H₂O₂'in fazla kullanımı da fazla kimyasal tüketiminden dolayı işletme maliyetinin artmasına ve analizlerde KOİ'ye girişim yaparak yüksek KOİ ölçülmesine neden olur. Ayrıca, yüksek H₂O₂ konsantrasyonu, serbest radikal temizleyicisi olarak davranabilir (Canbolat, 2019).

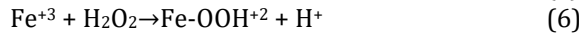
Fe⁺², Fenton prosesinde katalizör görevi görmekte olup H₂O₂ ile reaksiyona girerek oksijene yüksek oksitleme potansiyeline sahip hidroksil radikallerinin (OH•) oluşumunu sağlar (Reaksiyon 1) (Eren vd., 2010). Fe⁺²'nin optimum değerden fazla kullanılması, fazla çamur oluşumuna, fazla kimyasal tüketimine, işletme maliyetinin artmasına ve oluşan OH•'nin tekrar Fe⁺² tarafından tükenmesine (Reaksiyon 2) neden olur (Ertugay ve Acar, 2017; Adar, 2020).



H₂O₂/Fe⁺² stokiyometrik oranının 10-40 aralığında olması tavsiye edilir (Güneş ve Cihan, 2015). Bu çalışmada 2,5-40 aralığındaki oranlar tercih edilmiştir. KOİ giderimi için optimum H₂O₂/Fe⁺² oranı 40 olarak elde edilmiştir. Yüksek oran elde edilmesinin sebebi hem yüksek boya konsantrasyonunun kullanılması ve hem de kullanılan boyanın yapısı olabilir.

pH, Fenton prosesi ile ilgili tüm çalışmalarda çalışılan bir parametre olup asidik şartlarında yüksek verim (>2,5 ve <4 pH aralığı) sağladığı ifade edilmiştir. Bu bilgiye dayanarak, bu çalışmada da sadece asidik şartlarda çalışmalar yürütülmüştür. En yüksek KOİ giderim verimi 2,5'ta elde edilmiştir. pH 3 ve 3,5'ta yakın S/N oranları hesaplanmıştır. Literatürdeki yürütülen çalışmaların çoğunluğunda pH 3 optimum değer olarak belirlenmiştir (Kavitha ve Palanivelu, 2005; Eren vd., 2010; Ertugay ve Acar, 2017). Bunun sebebi bu çalışmaların çoğunlukla renk giderimini optimize etmeleridir. Literatür bilgisi ile bu çalışmada elde edilen farklı sonuç, diğer işletme şartlarına göre (özellikle de kirletici türüne) değişebileceğinin bir diğer göstergesidir. Ortamın asitliği/bazlığı, gerçekleşecek reaksiyonları önemli bir şekilde etkiler (Reaksiyon 3-7). Asidik şartlarda Fe⁺² çözünür formlarda iken bazik şartlarda Fe⁺³ e dönüşerek çökme eğilimindedir. Fe⁺³ çökelme bile, Fe⁺² kadar hidroksil radikali üretememektedir ve verimin azalmasına neden olmaktadır. Fe⁺³, Fe⁺²'ye kıyasla düşük katalitik aktiviteye sahiptir. Asidik ortamda Fe⁺² daha yoğun olmaktadır ve oluşan OH• iyonu proton (H⁺) ile birleşerek H₂O oluşturur (Erat, 2018). pH<2,5 altında düşük verim elde edilmesinin sebebi de oluşan farklı iyonların ([Fe (II) (H₂O)₆]⁺² kompleksi

ve $H_3O_2^+$) hidroksil radikallerini tüketmesidir (Khan vd., 2019; Türkes, 2019).

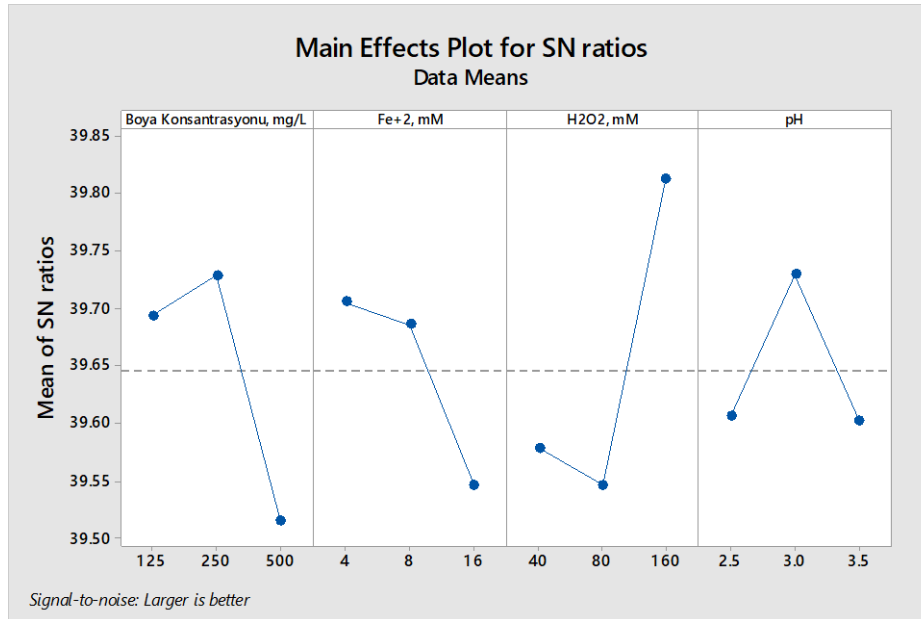


Elde edilen sonuçlara regresyon analizi uygulandığında elde edilen model (5) aşağıda verilmiştir. Modelin R^2 değeri 68,15'tir. Fenton prosesi ile AB boyası çözeltilisinde KOİ giderimine etki eden faktörlerin önem derecesi sırasıyla pH, Fe^{+2} , H_2O_2 ve boya konsantrasyonudur.

$$KOİ \text{ Giderimi (\%)} = 97,9 - 0,0447 * \text{Boya Kons.} - 0,771 * Fe^{+2} + 0,1760 * H_2O_2 - 5,9 * pH \quad (R^2 = 68,15) \quad (5)$$

Renk Giderimine İşletme Parametrelerinin Etkisi (Effect of Operation Parameters on Color Removal)

Gerçek bir atıksuyu temsil etmesi için yüksek konsantrasyondaki AB boyası içeren sentetik atıksularda renk giderimi Fenton prosesi ile araştırılmıştır. Araştırma sonucu elde edilen verilere Taguchi analizi yapılarak S/N oranları elde edilmiştir (Şekil 7). Renk giderimi için en yüksek S/N değerleri optimum değerleri vermektedir. Fe^{+2} konsantrasyonu hariç diğer parametreler liner bir değişim göstermemiştir. Optimum işletme şartları 250 mg/L boya, 4 mM Fe^{+2} , 160 mM H_2O_2 ve pH 3 olarak elde edilmiştir (Şekil 7). Tüm işletme şartlarında renk giderim verimi %92-98,8 aralığında elde edilirken belirlenen optimum şartlarda rengin tamamı giderilmiştir.



Şekil 7. Fenton'da renk giderimi için elde edilen S/N oranları (S/N ratios obtained for color removal in Fenton)

Boya konsantrasyonunun belli bir değere kadar artışı verimi olumsuz etkilemezken 250 mg/L üzerinde verimin düşmesine neden olmuştur. En yüksek S/N değeri 250 mg/L'de elde edilmiştir. Bu sonuçlar, 250 mg/L'de organik maddenin mineralizasyonu için yeterli hidroksil radikalının olmadığını ve bu sebeple de en yüksek verimin 125 mg/L'de sağlandığını; renk gideriminin, KOİ'ye oranla daha yüksek boya içeriklerinde elde edilmesi ise boyanın KOİ'ye göre daha kolay giderildiğini gösterir. Yani ortamda yeterince hidroksil radikali olmazsa bile hidroksil iyonu gibi farklı türler tarafından da giderilebileceğini gösterir. Boya konsantrasyonu artışının hidroksil radikali ile etkileşimi artırdığı için olumlu etkisi olduğu çalışmalar vardır (Wu vd., 2010; Ertugay ve Acar, 2017). Böyle bir etkinin olması düşük boya konsantrasyonlar da çalışıldığı için olabilir. Fakat yüksek boya konsantrasyonu yüksek organik madde içeriğine de sahip olduğu için liner bir etki görülmemesi de doğaldır. Çünkü yüksek organik madde içeriği yüksek hidroksil radikali varlığını gerektirir. Elbette çalışılan işletme şartları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Fenton prosesinde, renk giderimine Fe^{+2} 'nin liner değişimi olmuş ve H_2O_2 'in liner değişimi olmamıştır. Fakat yine KOİ giderimindeki gibi en yüksek renk giderimi en düşük Fe^{+2} (4mM) ve en yüksek H_2O_2 (160 mM) konsantrasyonlarında elde edilmiştir. H_2O_2/Fe^{+2} oranı 40'ta iyi verim sağlanmıştır. Bu oran hidroksil radikali oluşumu için yüksek miktarda H_2O_2 gerektirdiğini ve 4 mM Fe^{+2} 'nin de 160 mM H_2O_2 'i aktifleştirmek için yeterli

olduğunu gösterir. Fe^{+2} katalizör ve H_2O_2 oksidant görevi görmektedir. Oksitleyicinin fazlalığı ortama oksijen sağladığından (Eren vd., 2010) renk giderimi açısından da olumlu etki göstermiştir. Çalışma için seçilen en yüksek H_2O_2 içeriğinde hem renk hem de KOİ giderimi elde edilmesi H_2O_2 'in aşırı kullanmadığını gösterir. Daha yüksek miktarda H_2O_2 kullanımında hidroksil radikali yerine HO_2^* (farklı bir radikal tür) oluşacaktır. HO_2^* 'in aktifliğinin az olmasından dolayı da verimde düşme olacaktır (Schrack vd., 2007). Fe^{+2} konsantrasyonunun optimum değerden yüksek olması farklı demir kompleks bileşikler oluşarak suyun renkli olmasına böylece de renk giderimini olumsuz etkilemesine neden olur (Matavos-Aramyan ve Moussavi, 2017; Türkeş, 2019). Bu sebeple farklı renk oluşumunu azaltmak, fazla kimyasal tüketimini azaltmak ve en yüksek oranda hidroksil radikali üretmek için H_2O_2 ve Fe^{+2} dozlarının optimize edilmesi gereklidir.

AB boyası çözeltisinde Fenton renk giderimi pH 2,5-3,5 aralığında çalışıldı. Literatür bilgisine uyumlu olan pH 3'te en yüksek renk giderimi elde edilmiştir. H_2O_2 , asidik şartlarda daha aktif olması sonucu daha yüksek hidroksil radikalının oluşumunu sağlar (Illes vd., 2019).

Elde edilen sonuçlara regresyon analizi uygulandığında elde edilen model (6) aşağıda verilmiştir. Modelin R^2 değeri 73,81'dir. Fenton prosesi ile AB boyası çözeltisinde rengin giderilmesine etki eden faktörlerin önem derecesi sırasıyla Fe^{+2} , pH, H_2O_2 , ve boya konsantrasyonudur.

$$\text{Renk Giderimi (\%)} = 97,09 - 0,00575 * \text{Boya Kons.} - 0,1512 * Fe^{+2} + 0,02381 * H_2O_2 - 0,07 * pH \quad (R^2 = 73,81) \quad (6)$$

Çıkış Sularındaki pH, ORP ve FTIR Değişimleri (Changes of the pH, ORP and FTIR in Effluents)

AB boyası ile gerçekleştirilen bu çalışmada Fenton oksidasyonu sonrasında çıkış numunelerinde renk ve KOİ analizleri yanısıra pH ve ORP analizleri yapılmıştır ve oluşan çamur miktarı ölçülmüştür (Tablo 3).

Tablo 3. Çamur hacimleri ve çıkış sularındaki pH, ORP ve İyon ürünleri
(Sludge volumes and pH, ORP and Ion products in effluents)

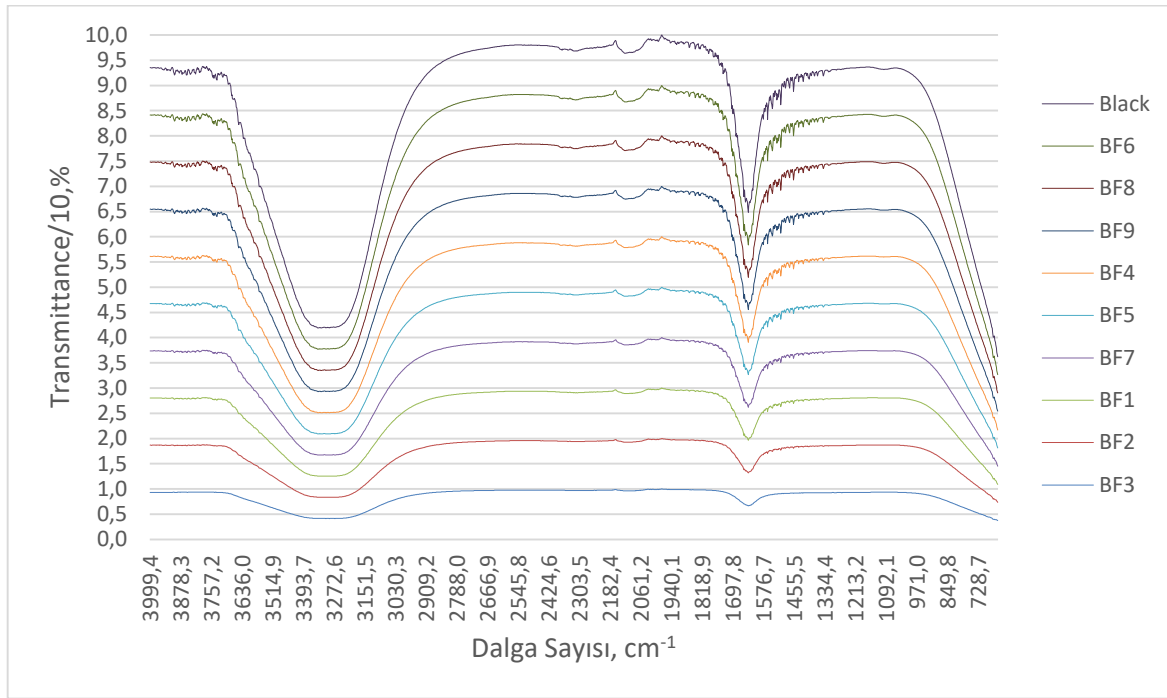
Numune	Renk Giderimi %	KOİ Giderimi %	pH	ORP mV	İyon Ürünü mol/L	Çamur Hacmi mL
1	96,0	88,5	4,89	133,7	$5,39e^{-3}$	3,0
2	96,8	89,6	4,58	151,7	$2,68e^{-3}$	5,5
3	96,8	95,2	4,67	146,4	$3,31e^{-3}$	10,0
4	96,0	72,0	5,78	82,5	$4,00e^{-2}$	5,0
5	98,8	82,1	5,47	100,6	$1,98e^{-2}$	4,0
6	96,0	49,1	4,65	147,9	$3,12e^{-3}$	4,0
7	98,0	84,1	5,9	75,4	$5,27e^{-2}$	7,0
8	93,8	57,0	5,96	72,0	$6,03e^{-2}$	2,0
9	92,0	71,2	7,33	-7,2	$1,32e^{+0}$	6,0

Fenton sisteminde oksidasyon sonrası numunelerin pH'ı 7-8 aralığına ayarlanarak ortamdaki demir türlerin çökmesi sağlanmıştır. Çökme sonrası numunelerin (üst fazda) pH'ı 4,58-7,33 aralığında, ORP'leri -7,2 ve 151,7 mV aralığında, çamur hacimleri 2-10 mL aralığında ölçülmüştür. Çamur hacminin fazlalığı ortamda fazla demir türlerin varlığına işarettir. 7-8'e ayarlanan numunelerin bekletme sonrası pH'ındaki düşüş, bu sürede reaksiyon gerçekleştiğini yani koagülasyon, çökme vb. mekanizmaların gerçekleştiğini gösterir. Çıkış numunelerin pH'ı 6-9 aralığına uygun asit/baz ile ayarlanmadan deşarj edilmemelidir. İyon konsantrasyonu da farklı aralıkta ölçülmüştür. Taguchi analizi sonucunda ORP için elde edilen model (7) aşağıda verilmiştir.

$$ORP = 107 - 0,2585 * \text{Boya Kons.} - 0,33 * Fe^{+2} - 0,017 * H_2O_2 + 24,6 * pH \quad (R^2 = 72,56) \quad (7)$$

Bu modelden, ORP'ye etki eden faktörlerin önem derecesine göre sırası, $pH > Fe^{+2} > \text{boya konsantrasyonu} > H_2O_2$ miktarıdır. Fenton prosesinde ORP'yi etkileyen en önemli parametre pH'ın olduğu görülmektedir. ORP değişiminde, katalizörün oksidanta göre daha büyük katkısı olduğu söylenebilir. Aslında, H_2O_2 yükseltgeyici bir madde olduğu için ORP'nin yüksek olmasını, Fe^{+2} 'de indirgeyici madde olduğu için ORP'nin azalmasına neden olmalıdır (Yu vd., 2014). Wu ve Wang (2012) gerçek baskı ve boyama atıksuyunun arıtımını Fenton prosesi araştırdıkları çalışmada, başlangıç ORP değerinin pH, H_2O_2 ve Fe^{+2} konsantrasyonundan büyük ölçüde etkilendiğini açıklamışlardır (Wu ve Wang, 2012).

Fenton prosesinde, oksidasyon öncesi (AB boyası) ve sonrası fonksiyonel grupların değişimini incelemek için FTIR analizi yürütülmüştür ve sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Çıkış sularındaki FTIR sonuçları (FTIR results in the effluents)

FTIR analizi sonucunda, piklerin giriş ve çıkış suyunda sadece yoğunluğu değiştiği gözlenmiştir. Hem AB boyasında (black) hem de çıkış numunelerinde iki pik oluşmuştur. Bu pikler 2924-3787 cm^{-1} (3334 cm^{-1}) ve 1474-1830 cm^{-1} (1636 cm^{-1})’de görülmüştür. FTIR analizinde, adsorpsiyon sonrası da hem yoğunlukta azalma hem de neredeyse aynı dalga sayılarında pikler gözlemlendi. Bu piklerin yüzeye tutunma ve oksidasyon mekanizmalarına karşı oldukça dirençli oldukları söylenebilir. 3334 cm^{-1} ’deki pik amin ve amidlerdeki N-H veya fenollerdeki O-H uzama titreşimine ve 1636 cm^{-1} ’deki pik alken grubundaki C=C veya karboksilik grup olan C=O uzama titreşimlerine atfedilebilir (Tezcan vd., 2019; Dinçer vd., 2019).

AB boyası çözeltilisinde hem renk hem de KOİ giderimi adsorpsiyon ve Fenton prosesleri gerçekleştirilmiştir. Dikkate alınan şartlardan bazıları her iki proseste de aynı etkiye sahip iken bazıları farklı etkiye sahip olmuştur. Adsorpsiyon çalışmasında renk ve KOİ giderimi için işletme parametrelerinin farklı etkisi olmuştur ve elde edilen optimum değerler farklıdır. Fenton çalışmasında ise Fe^{+2} ve H_2O_2 miktarı hem renk hem de KOİ giderimine aynı etkiye sahip olmuştur. Optimum değerler aynı olmuştur. Her iki sistemle optimum şartlarda rengin tamamı giderilebilmiştir. KOİ giderimi de yine her iki sistem için %86’nın üzerinde gerçekleşmiştir. Bu çalışma, bir renkli atıksuyun arıtımı gerçekleştirilecekse sadece renk ya da KOİ giderimi için sistemin işletme şartlarını belirlemek istenilen verimin elde edilmesini sağlamayabileceğini göstermektedir. Her iki parametrenin giderimi dikkate alınacaksa, renk gideriminin mineralizasyona kıyasla çok daha kolay olduğu için (Papic vd., 2009) prosesin şartları KOİ giderimine göre belirlenmelidir. Fakat ortam şartlarına göre farklı bileşikler de renge sebep olabileceği, KOİ giderimi yüksek elde edilse bile renksizleştirme tamamen sağlanılmamış olabileceği de unutulmamalıdır.

4. Adsorpsiyon ve Fenton Proseslerinin Karşılaştırılması (Comparison of Adsorption and Fenton Processes)

Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ve literatür bilgileri ışığında adsorpsiyon ve Fenton Proseslerinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Adsorpsiyon ve Fenton prosesleri (Adsorption and Fenton processes) (Marungrueng ve Pavasant, 2006; Son vd., 2016; Çakmak vd., 2017; Rosales vd., 2018; GilPavas vd., 2019; Khan vd., 2019)

Adsorpsiyon	
Avantajları	Dezavantajları
İşletimi kolaydır. Toksik kirleticiler arıtılabilir. pH ayarı hariç kimyasal kullanımı yoktur.	Ticari adsorbentler pahalıdır. Kullanılmış adsorbent bertaraf edilmelidir. Kullanılan adsorbente bağlı olarak bulanıklık oluşabilir.
Çeşitli kirleticiler (renk, tat, koku, inorganikler ve organikler vb.) giderilebilir. Farklı renk oluşmaz. Yok denecek kadar riske sahiptir. Çok insan gücü gerektirmez.	İşletme maliyetini kullanılan adsorbentin fiyatı belirler.
Fenton	
Avantajları	Dezavantajları
İşletimi kolaydır. Toksik kirleticiler arıtılabilir. Kullanılan kimyasallar toksik değildir. Organikler giderilir.	Kimyasallar kullanılır. Aynı ya da farklı renk oluşumuna neden olabilir. Oluşan çamurun bertarafı gereklidir. Düşük pH'da işletilir. Köpük oluşabilir. Asidik şartlar risk etkisi oluşturur. İnorganikler genellikle giderilmezler.

Tablo 4'ten de görüldüğü gibi adsorpsiyon ve Fenton prosesleri farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Her iki processe de işletme sonrası yönetilmesi gereken atık oluşmaktadır (kullanılmış adsorbent ve çamur). Adsorpsiyonda kimyasal kullanımı olmaması farklı renk oluşumuna engel olur (Çakmak vd., 2017). Adsorpsiyon, kirleticilerin katı üzerine tutunması esasına dayanan fiziksel/fizikokimyasal bir yöntemdir. Ön arıtım olarak (toksikliği azaltmak) ya da son arıtım olarak (yüksek oranda giderim sağlamak) kullanılan yöntemdir. Yüksek oranda kirleticiden arındırması suyun geri kazanımını sağlayabilir. Biyolojik arıtma yöntemlerine kıyasla toksik kirleticileri giderebilir, kimyasal arıtma yöntemlerine kıyasla kimyasal kullanımı gerektirmez (pH ayarı tüm yöntemlerde vardır) ve termal arıtma/bertaraf yöntemlerine kıyasla ekonomiktir. Biyolojik ve termal yöntemlere kıyasla işletimi kolaydır ve düşük riske sahiptir (Marungrueng ve Pavasant, 2006; GilPavas, vd., 2019). Kullanılan adsorbent tek kullanımlık olması ya da tekrar kullanımı için rejenerasyon gerektirmesi sistemin maliyetini artırmaktadır. Adsorbentin kullanım miktarı azaltılarak bertaraf edilmesi gereken atık miktarı azaltılabilir. Bu, adsorbentin çok aktif olması ile (büyük yüzey alanına, küçük partikül boyutuna, geniş kullanılabilirliğe, yapısal stabiliteye sahip, vb.) (Rosales vd., 2018) veya manyetik adsorbentler kullanılarak sağlanabilir. Adsorpsiyon prosesinde kullanılan reaktörün maliyeti, ömrü, yıllık faiz oranı, yıllık debisi ve reaksiyon süresi sırasıyla 10000 \$/m³ (Alalm ve Nasr, 2018), 10 yıl, %4, 30000 m³ (günde 8 saat, yılda 300 gün çalıştırma) ve 45 dakika alındığında (KOİ giderimindeki optimum değer alınmıştır) sistemin yatırım maliyeti yaklaşık 0,39 \$/m³ 'tır. İşletme maliyetini adsorbent maliyeti hariç, enerji tüketimi ve bakım maliyeti oluşturur. Adsorbent ticari olarak satın alınırsa maliyetin büyük çoğunluğunu oluşturur. Fakat satın alınmadığında adsorbent maliyeti ihmal edilebilir. İşletme maliyeti yatırım maliyetinin %2'si olarak ele alınırsa bakım maliyeti 0,008 \$/m³ ve elektrik tüketim maliyeti yaklaşık 0,14 \$/m³ olduğu ifade edilmiştir. Böylece toplam işletim maliyeti 0,15 \$/m³ olarak elde edilir (Alalm ve Nasr, 2018).

Fenton, prosesi güçlü radikallerin varlığında oksidasyon gerçekleştirilen bir yöntemdir. Kimyasallar kullanılarak hidroksil radikalleri üretilir. Fakat kullanılan kimyasallar toksik ve bolca buldukları için pahalı değildir. İşletimi kolay olan bu prosesle kısa sürede yüksek verimler elde edilebilmektedir (Rosales vd., 2018; Türkeş, 2019; Khan vd., 2019). Ortamın homojen katalitik yapısı kütle transfer sınırını ortadan kaldırır (Tunç, vd., 2012). Fenton prosesi, tekstil atıksuları gibi biyolojik oksijen ihtiyacı ve KOİ oranı düşük olan atık/atıksularda organik madde giderimi için etkili yöntemdir (İlhan vd., 2017). Asidik şartlarda işletilmesi (genellikle pH 3) sistemin az da olsa riskli olmasını sağlar. Katalizör Fe⁺²'nin çıkış suyunun renkli olmasına neden olabileceği için sarı gibi açık renkli boyalarda renk giderim verimi düşüktür. Canbolat (2019) 50 m³ Fenton reaktörüne sahip 250 m³/gün debisinde (12,5 m³/saat, 20 saat/1 gün) çalıştırılan sistemin yatırım ve işletme maliyetlerini sırasıyla yaklaşık 66000 \$ ve yaklaşık 435 \$/gün olarak hesaplamıştır. Bu sistemin, m³ başına işletme maliyeti 1,74 \$'dır. Debinin 50 m³/saat'ten küçük ve toplam organik karbon içeriğinin 1000 mg/L civarında olması halinde Fenton prosesinin seçilebileceği ifade edilmiştir (Dindar, 2019). Elbette, daha yüksek konsantrasyonlarda da Fenton prosesi ile arıtım gerçekleştirilebilir. Fakat fazla kimyasal kullanımına, reaksiyon süresinin uzamasına ve reaktör hacminin artmasına neden olacaktır.

Adsorpsiyon ve Fenton prosesinde de kirletici türüne bağlı olarak yüksek verimler elde edilemeyebilir. Örneğin

reaktif boyalarda Fenton prosesi ile düşük verim elde edilebilmektedir (Türkeş, 2019; Dindar, 2019). Bu çalışmada hem adsorpsiyon hem de Fenton prosesi ile etkin bir şekilde AB boyası çözeltisinde hem renk hem de KOİ giderimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, AB boyası gibi renkli atıksulardaki hem rengin hem de organik maddelerin toprak tarafından yüksek oranda tutunabileceğini göstermektedir. Kontrolsüz bir şekilde çevreye salınan kirleticilerin toprak için nasıl bir risk oluşturduğu sonucuna da ulaşılabilir. Bu sebeple dünyamızı korumak için atıksular kontrollü bir şekilde yönetilmelidir.

Gelecek çalışmalarda, farklı toprak türleri, sıcaklık, inorganiklerin etkisi adsorpsiyon prosesi ile çalışılabilir. Fenton prosesi ile de reaksiyon süresi, sıcaklık, inorganiklerin varlığının etkisi çalışılabilir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada yüksek boya konsantrasyonları kullanılarak (farklı boya konsantrasyonu, pH, adsorbent, reaksiyon süresi, Fe²⁺, H₂O₂) Astrazon Black boya çözeltisinin, adsorpsiyon ve Fenton ile arıtımı araştırılmıştır. Taguchi analizi ile renk giderimi, KOİ giderimi ve ORP değişimi modellenmiştir. Arıtım sonrası sıvı ürünlerde FTIR analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda her iki yöntem ile renk gideriminin KOİ giderimine kıyasla daha kolay olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Belirlenen optimum şartlarda rengin tamamı ve yaklaşık %86 KOİ giderimi elde edilmiştir. Fenton prosesi ile daha yüksek KOİ (%98,4) giderilmiştir. FTIR analizi sonucunda da her iki sistemde aynı piklerin olduğu görülmüştür ve bu pikler boyanın oldukça kararlı olduğunu göstermektedir. Taguchi analizi sonucu KOİ için 60,92-68,15; renk için 54,79-73,81 ve ORP için 72,56-85,62 R² değerleri elde edilmiştir.

Fenton ve adsorpsiyon prosesleri çeşitli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Her iki sistemin de işletiminin kolay olduğu, riskinin az olduğu, maliyet açısından hemen hemen aynı olduğu ve atık yönetimi gerektiği söylenebilir. Hem adsorpsiyon hem de Fenton ile tehlikeli, toksik özellikteki boyalar yüksek verimde giderilebilmektedir. Ayrıca, bu çalışma toprağın kirleticileri yüksek oranda yüzeyinde tutabileceğini göstermiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Acevedo, B., Rocha, R.P., Pereira, M.F.R., Figueiredo, J.L., Barriocanal, C., 2015. Adsorption of Dyes by ACs Prepared from Waste Tyre Reinforcing Fibre. Effect of Texture, Surface Chemistry and pH. *Journal of Colloid and Interface Science*, 459, 189-198.
- Adar, E., 2020. Optimization of Triple Dye Mixture Removal by Oxidation with Fenton. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 17, 4431-4440. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02782-1>.
- Adar, E., Bilgili, M.S., 2015. The Performance of Four Different Mineral Liners on The Transportation of Chlorinated Phenolic Compounds to Groundwater in Landfills. *The Scientific World Journal*, 2015.
- Aktas, D., Dizge, N., Yatmaz, H.C., Caliskan, Y., Ozay, Y., Caputcu, A. 2017. The Adsorption and Fenton Behavior of Iron Rich Terra Rosa Soil for Removal of Aqueous Anthraquinone Dye Solutions: Kinetic and Thermodynamic Studies. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 76, 3114-3125.
- Alalm-Gar, M., Nasr, M., 2018. Artificial Intelligence, Regression Model, and Cost Estimation for Removal of Chlorothalonil Pesticide by Activated Carbon Prepared from Casuarina Charcoal. *Sustainable Environment Research*, 28, 101-110.
- APHA, 2012. American Public Health Association, Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater, 21 Edt. Washington DC.
- Babaei, A.A., Kakavandi, B., Rafiee, M., Kalantarhormizi, F., Purkaram, I., Ahmadi, E., Esmaeili, S., 2017. Comparative Treatment of Textile Wastewater by Adsorption, Fenton, UV-Fenton and US-Fenton Using Magnetic Nanoparticles-Functionalized Carbon (MNP@C). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 163-174.
- Canbolat, Ç.B., 2019. Treatment of Membran Concentrates Using a New Technology Based on Hydrodynamic Cavitation and Advanced Oxidation Processes For Water and Salt Reuse From Textile Wastewater. PhD Thesis. Gebze Technical University, Kocaeli.
- Çakmak, M., Taşar, Ş., Selen, V., Özer, D., Özer, A., 2017. Removal of Astrazon Golden Yellow 7GL from Colored Wastewater Using Chemically Modified Clay. *Journal of Central South University*, 24, 743-753.
- Diñçer, A., Sevilidik, M., Aydemir, T., 2019. Optimization, Isotherm and Kinetics Studies of Azo Dye Adsorption on Eggshell Membrane. *International Journal of Chemistry and Technology*, 3, 52-60.
- Dindar, N., 2019. Implementation of Advanced Treatment Processes in Textile Industry Wastewaters for Organic Substance Removal. Master Thesis. Pamukkale University, Turkey. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Erat, N., 2018. Optimization of Removal of Astrazon Yellow 5GL Dye Material from Aqueous Media by Fenton and UV/H₂O₂ Processes Using Taguchi Method. Master Thesis. Ataturk University, Turkey. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Eren, Z., Acar, F.N., Ince, N.H., 2010. Fenton and Fenton-Like Oxidation of CI Basic Yellow 51: A Comparative Study. *Coloration Technology*, 126, 337-341.

- Ertugay, N., Acar, F.N., 2017. Removal of COD and Color from Direct Blue 71 Azo Dye Wastewater by Fenton's Oxidation: Kinetic Study. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1158-S1163
- Ertugay, N., 2018. The Removal of Crystal Violet (CV) Dyestuff by Wheat Bran: Kinetic Studies. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 11, 435-450.
- Esteves, B.M., Rodrigues, C.S., Boaventura, R.A., Maldonado-Hodar, F.J., Madeira, L.M., 2016. Coupling of Acrylic Dyeing Wastewater Treatment by Heterogeneous Fenton Oxidation in a Continuous Stirred Tank Reactor with Biological Degradation in a Sequential Batch Reactor. *Journal of Environmental Management*, 166, 193-203.
- Farah, J.Y., El-Gendy, N.S., 2007. Performance and Kinetic Studies on Biosorption of Astrazon Blue Dye by Dried Biomass of Baker's Yeast as a Low Cost Biosorbent. *Bioscience Biotechnology Research Asia*, 4, 359-370.
- Gao, J., Zhang, Q., Su, K., Chen, R., Peng, Y., 2010. Biosorption of Acid Yellow 17 from Aqueous Solution by Non-Living Aerobic Granular Sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 215-225.
- GilPavas, E., Dobrosz-Gomez, I., Gomez-Garcia, M.A., 2019. Optimization and Toxicity Assessment of a Combined Electrocoagulation, $H_2O_2/Fe^{(2+)}/UV$ and Activated Carbon Adsorption for Textile Wastewater Treatment. *The Science of the Total Environment*, 651, 551-560.
- Güneş, E., Cihan, M.T., 2015. COD and Color Removal from Wastewaters: Optimization of Fenton Process. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21, 239-247.
- Ilhan, F., Yetilmezsoy, K., Kabuk, A., Ulucan, K., Coskun, T., Akoglu, B., 2017. Evaluation of Operational Parameters and Its Relation on The Stoichiometry of Fenton's Oxidation to Textile Wastewater. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 23, 11-19
- Illes, E., Mizrahi, A., Marks, V., Meyerstein, D., 2019. Carbonate-Radical-Anions, and not Hydroxyl Radicals, are The Products of the Fenton Reaction in Neutral Solutions Containing Bicarbonate. *Free Radical Biology & Medicine*, 131, 1-6.
- Kavitha, V., Palanivelu, K., 2005. Destruction of Cresols by Fenton Oxidation Process. *Water Research*, 39, 3062-3072
- Khamparia, S., Jaspal, D., 2016. Adsorptive Removal of Direct Red 81 Dye from Aqueous Solution onto Argemone Mexicana. *Sustainable Environment Research*, 26, 117-123.
- Khan, J., Tariq, M., Muhammad, M., H. Mehmood, M., Ullah, I., Raziq, A., Akbar, F., Saqib, M., Rahim, A., Niaz, A., 2019. Kinetic and Thermodynamic Study of Oxidative Degradation of Acid Yellow 17 Dye by Fenton-Like Process: Effect of HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- and SO_4^{2-} on Dye Degradation. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 33, 243.
- Lee, J.J., 2016. Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Parameter Studies on Adsorption of Acid Yellow 14 Using Activated Carbon. *Korean Chemical Engineering Research*, 54, 255-261.
- Li, F., Fang, X., Zhou, Z., Liao, X., Zou, J., Yuan, B., Sun, W., 2019. Adsorption of Perfluorinated Acids onto Soils: Kinetics, Isotherms, and Influences of Soil Properties. *The Science of the Total Environment*, 649, 504-514.
- Marungrueng, K., Pavasant, P., 2006. Removal of Basic Dye (Astrazon Blue FGRL) Using Macroalga *Caulerpa Lentillifera*. *Journal of Environmental Management*, 78, 268-274.
- Matavos-Aramyan, S., Moussavi, M., 2017. Advances in Fenton and Fenton Based Oxidation Processes for Industrial Effluent Contaminants Control—A Review. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour*, 2, 1-18
- Oyekanmi, A.A., Ahmad, A., Hossain, K., Rafatullah, M., 2019. Statistical Optimization for Adsorption of Rhodamine B Dye from Aqueous Solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 281, 48-58.
- Öztürk, M., Yildiz, S., Aslan, Ş., 2020. Nikel (II) İyonlarının Atık Çay'a Biyosorpsiyonu: Denge, Kinetik ve Termodinamik Çalışmaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 985-998.
- Papić, S., Vujević, D., Koprivanac, N., Šinko, D., 2009. Decolourization and Mineralization of Commercial Reactive Dyes by Using Homogeneous and Heterogeneous Fenton and UV/Fenton Processes. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1137-1145.
- Rahman, M.M., Yusuf, M.A., Uddin, M.A., Islam, M.A., Saha, R., Rahman, M.M., Haque, M.A., Hasnat, M.A., 2010. Influence of Irradiation on Fenton Degradation of Brilliant Red X-3B. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 8.
- Rodrigues, C.S., Boaventura, R.A., Madeira, L.M., 2012. Application of Fenton's Reagent for Acrylic Dyeing Wastewater Decolorization, Organic Matter Reduction and Biodegradability Improvement. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 15, 78-88.
- Rosales, E., Anasie, D., Pazos, M., Lazar, I., Sanroman, M.A., 2018. Kaolinite Adsorption-Regeneration System for Dyestuff Treatment by Fenton Based Processes. *The Science of the Total Environment*, 622-623, 556-562.
- Schrank, S.G., dos Santos, J.N.R., Souza, D.S., Souza, E.E.S., 2007. Decolourisation Effects of Vat Green 01 Textile Dye and Textile Wastewater Using H_2O_2/UV Process. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 186, 125-129.
- Sennaoui, A., Alahiane, S., Sakr, F., Assabbane, A., Addi, E.H.A., Hamdani, M., 2018. Advanced Oxidation of Reactive Yellow 17 Dye: A Comparison between Fenton, Photo-Fenton, Electro-Fenton, Anodic Oxidation and Heterogeneous Photocatalysis Processes. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 36,163-178.
- Serencam, H., Ucurum, M., 2019. Performance Evaluation of Adsorption Properties for Ni(II) Removal with Flying Ash Using Taguchi Experimental Design. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8(1), 336-344.
- Son-Dang, B.H., Quang-Mai, V., Xuan-Du, D., Hai-Phong, N., Quang-Khieu, D., 2016. A Study on Astrazon Black AFDL Dye Adsorption onto Vietnamese Diatomite. *Journal of Chemistry*, 2016, 1-11.
- Teli, M.D., Nadathur, G.T., 2018. Adsorptive Removal of Acid Yellow 17 (An Anionic Dye) from Water by Novel Ionene Chloride Modified Electrospun Silica Nanofibers. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 7257-7272.
- Tezcan-Bayrak, E., Ceylan, Z., Acar, F.N., 2019. Kinetics, Isotherm and Thermodynamic Studies of the Adsorption Behavior of Basic Yellow 51 onto Rice Husk and Burned Rice Husk. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4), 1977-1988.
- Tony, M.A., Parker, H.L., Clark, J.H., 2019. Evaluating Alginon Adsorbent and Adsorption Kinetics for Launderette Water Treatment: Towards Sustainable Water Management. *Water and Environment Journal*, 33, 401-408.
- Tunc, S., Gürkan, T., Duman, O., 2012. On-line Spectrophotometric Method for The Determination of Optimum Operation Parameters on The Decolorization of Acid Red 66 and Direct Blue 71 From Aqueous Solution by Fenton Process. *Chemical Engineering Journal*, 181-182, 431-442.
- Türkeş, S., 2019. Investigation of the Treatability of Textile Industry Wastewaters with Fenton and Photo-Fenton Processes. Master Thesis. Çukurova University, Adana, Turkey.

- Türkyılmaz, A., Işınkaralar, K., 2020. Sulu Çözeltilerden Aktif Karbon Üzerine Adsorpsiyon ile Antibiyotiklerin (Tetrasiklin ve Penisilin G) Giderimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 943-951.
- Wu, H., Wang, S., 2012. Impacts of Operating Parameters on Oxidation-Reduction Potential and Pretreatment Efficacy in The Pretreatment of Printing and Dyeing Wastewater by Fenton Process. *Journal of Hazardous Materials*, 243, 86-94.
- Wu, Y., Zhou, S., Qin, F., Ye, X., Zheng, K., 2010. Modeling Physical and Oxidative Removal Properties of Fenton Process for Treatment of Landfill Leachate Using Response Surface Methodology (RSM). *Journal of Hazardous Materials*, 180, 456-465.
- Yu, R.F., Chen, H.W., Cheng, W.P., Lin, Y.J., Huang, C.L., 2014. Monitoring of ORP, pH and DO in Heterogeneous Fenton Oxidation Using NZVI as a Catalyst for The Treatment of Azo-Dye Textile Wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(3), 947-954.



POLİFOSFORİK ASİT (PPA) MODİFİYE BİTÜMÜN FİZİKSEL VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İslam GÖKALP*

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Adana, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Modifiye bitüm.</i> <i>Polifosforik asit.</i> <i>Penetrasyon.</i> <i>Yumuşama noktası.</i> <i>Viskozite.</i> <i>Reoloji.</i>	Gelişen otomotiv endüstrisine, artan nüfusa ve nüfusun araç talebine bağlı olarak trafiğe çıkan araç sayılarının da belirgin bir yükseliş söz konusudur. Geleneksel bitümler ile inşa edilen yol kaplamaları, ağır taşıt trafiği ve zorlayıcı çevresel koşullar altında beklenen yapısal ve/veya fonksiyonel performansı gösterememektedirler. Yol üst yapısında beklenen performansı sağlamak ve bitüm özelliklerini iyileştirmek amacıyla bitümler doğal, atık veya ticari amaçla üretilen çeşitli katkıları ile modifiye edilmektedir. Bu çalışmada, 70/100 penetrasyon gruba sahip bitüm %0,5 ile %5,0 arasında değişen altı farklı oranda Polifosforik Asit (PPA) ile modifiye edilmiştir. Saf ve PPA modifiye bitüm numunelerine yumuşama noktası, penetrasyon, dört farklı sıcaklıkta Brookfield dönel viskozimetre testi uygulanmıştır. Saf, modifiye ve kısa-dönem yaşlandırılmış bitüm numunelerinin kompleks kesme modülü ve faz açısı değerleri reolojik testlerden biri olan dinamik kesme reometresi (DSR) testi ile belirlenmiştir. Ayrıca, bitüm numunelerinin ısı hassasiyetleri penetrasyon indeksi ile karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıkları dönel viskozimetre testi sonuçları üzerinden tayin edilmiştir. Sonuç olarak PPA katkısının bitümün hem fiziksel hem de reolojik özelliklerini belirgin bir şekilde değiştirmiştir. Modifikasyon ile beraber bitümün yumuşama noktası ve viskozitesi yükselmiş, penetrasyon ve ısı hassasiyeti düşmüştür. DSR testi ile yapılan reolojik incelemede, bitümün tekerlek izine karşı direnci PPA modifikasyonu ile arttığı görülmüştür.

INVESTIGATION THE PHYSICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYPHOSPHORIC ACID (PPA) MODIFIED BITUMEN

Keywords	Abstract
<i>Modified bitumen.</i> <i>Polyphosphoric acid.</i> <i>Penetration.</i> <i>Softening point.</i> <i>Viscosity.</i> <i>Rheology.</i>	Due to growing automotive industry, increasing population, the demand on vehicle ownership, there is an obvious increasing in number of vehicle introducing to traffic. Pavement constructed with conventional bitumen cannot meet the desired structural and functional performance under the hard traffic loads and environmental conditions. To provide the desired performance and to improve the bitumen characteristics, bitumen are modified with numerous natural, waste and commercially produced additives. The bitumen in class of 70/100 penetration grade was modified with Polyphosphoric Acid (PPA) in six different rates range between 0.5% and 5.0%. Softening point, penetration and Brookfield viscometer tests at four different temperatures were applied on bitumen samples. Dynamic Shear Rheometer test was conducted to find out complex modulus and phase angle of base, modified and short-term aged bitumen samples. In addition, the thermal sensitivities of bitumen were figure out by penetration index and mixing and compaction temperatures of bitumen samples were determined with the results of rotational viscometer test results. As a results PPA additive changes the physical and rheological properties, significantly. Softening point and viscosity of bitumen increases, while that of penetration and thermal sensitivity decreases. The rheological assessment done with DSR test showed that the rutting resistance of bitumen increases with PPA addition.

* İlgili yazar / Corresponding author: islammgokalp@gmail.com, +90-322-455-0000

Alıntı / Cite

Gökalp, İ. (2021). Polifosforik Asit (PPA) Modifiye Bitümün Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 785-795.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. GÖKALP, 0000-0003-3198-3508

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.04.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Bitüm; karbon, hidrojen, nitrojen, sülfür, oksijen kimyasal elementler ve az miktarda olsa da çeşitli metaller barındıran organik bir malzemedir. Katı ve/veya yarı katı formda doğal olarak temin edilebilen bitüm, aynı zamanda ham petrolün işlem görmesi sonrasında ve kömürün karbonizasyonu işlemi sırasında yan ürün olarak elde edilebilmektedir. Bitüm, ısıya karşı duyarlı bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda akıcı bir forma, oda koşullarında ise katı veya yarı katı forma sahip olan bitümün farklı amaçlar doğrultusunda (çatı ve su yalıtımı, su yapılarında sızdırmazlık tabakası ve demir-çelikten üretilen boru ve hatlarının korozyona karşı korunması, sıcak karışım asfalt, vb.) kullanıldığı bilinmektedir. Böylelikle, bitümün ekonomik değeri yüksek olan bir yapı malzemesi olduğu söylenebilir (Gökalp, vd., 2019). Bitümlü bağlayıcılar agregalar ile beraber kullanılarak yol üstyapısını oluşturmaktadır. Bitümün üstyapıyı oluşturan sıcak karışımın içerisindeki oranı her ne kadar az olsa da (%4-7) yol üstyapısının yapısal ve fonksiyonel performansı üzerinde oldukça etkilidir (Gökalp ve Uz, 2019).

Hızla büyüyen otomotiv endüstrisi ile beraber araç sahipliği oranı artmaktadır. Toplumun güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde seyahat imkânı verecek yol ağına olan ihtiyacı ve beklentisi bu bağlamda yükselmiştir. İhtiyacın hâsıl olduğu bölgelerin çevresel ve trafik koşullarına dayanabilecek kalitede yol üstyapısının inşa edilmesi, sürdürülebilir bir ulaşım ağının oluşturulması açısından oldukça önemlidir. Gerek ülkemizde gerekse dünya çapında yol ağları %90 oranında esnek üstyapılardan oluşmaktadır. Esnek üstyapı malzemelerinden olan bitümlü bağlayıcıların kaynakları ve elde edilme süreçlerindeki farklılık, fiziksel, kimyasal, mekanik ve reolojik özelliklerinde farklılık oluşturmaktadır. Uygun özelliklere sahip bitümün yol üstyapı inşaatında kullanılmasıyla, üstyapıdan beklenen yapısal ve fonksiyonel performans temin edilebilmesi, yol yüzeyinde olağan bozulmaların görülme sıklığının düşürülebilmesi ve böylelikle uzun ömre sahip bir yol üstyapısı sağlanabilmesi mümkün olacaktır (Gökalp, vd., 2018). Zira bitümlü bağlayıcı inşaatın yapılacağı bölgenin zorlayıcı çevresel ve trafik koşullarına karşı dayanıklı olması beklenmektedir.

Günümüzde değişen iklim, artan nüfus, büyüyen otomotiv endüstrisine bağlı olarak çeşitliliği artan araç türleri yol üstyapısından daha yüksek performans beklentisi oluşturmuştur. Bu beklentileri karşılamakta geleneksel bitümlü bağlayıcıların yetersiz kaldığı görülmüştür (Rossi, vd., 2015). Bu nedenle, beklentileri karşılayacak dayanıma sahip bitümlü bağlayıcıların temin edilebilmesi veya geliştirilip üretilebilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için bir dizi fiziksel ve/veya kimyasal işlemler ile bitümün özelliklerinin iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunu gerçekleştirmek için bitümün çeşitli doğal ürünlerle, evsel/endüstriyel atık ürünlerle ve/veya ticari amaçla geliştirilen kimyasal ürünlerle modifiye edilebilmesine yönelik araştırmalar uzun yıllardır yapılmaktadır (Gökalp vd., 2019).

Polifosforik asit (PPA) katkısı gıda, metal, inşaat, ilaç, kozmetik vb. gibi birçok sektörde kullanılan bir üründür. Bu çalışma kapsamında, ticari amaçla geliştirilen PPA farklı oranlarda bitüm ile karıştırılarak saf bitümün modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bitüm bağlayıcıların modifikasyonunda PPA katkısı kullanımı birçok uluslararası çalışmada (Edwards vd., 2006; Baldino vd., 2012; Liu, vd., 2018) değerlendirilmiş olup farklı katkıları ile uyumu ve üstyapının yapısal ve fonksiyonel performansına olan etkisi ilgili çalışmalarda araştırılmıştır. Güncel ve geçmiş uluslararası çalışmaların bazılarında bu çalışma kapsamında aşağıdaki gibi yer verilmiştir.

Orange vd., (2004) tarafından yapılan çalışmada farklı kaynaklardan elde edilen bitümleri %15 (bitümün ağırlığına) oranında SBS ve EVA polimerler ile modifiye etmiş, modifiye edilen bitümlere sonrasında %0,2; 0,4 ve 0,6 oranlarında PPA katkısı ile ilave edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda her bir modifikasyon parametresi ile bitümlü sıcak karışım (BSK) numuneleri de üretilmiştir. Modifiye bitümlerin ve BSK numunelerinin özellikleri farklı test yöntemleri ile araştırılmış, PPA katkısı ile üretilen modifiye bitüm ve BSK numunelerinin soyulma, tekerlek izi, neme karşı direncinin diğerlerine nazaran daha yüksek olduğu belirtilmiştir, PPA katkısının bitümün viskozitesini ve modifiye bitümlerin depolama kararlılığını iyileştirdiği ifade edilmiştir. Kodrat vd., (2007) ve Fee vd., (2010) yaptıkları çalışmalarda, PPA katkısının Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama (Superior Performing Asphalt Pavement: Superpave) sınıflandırması üzerinde etkili olduğu, düşük bir oranda PPA katkısı ile modifiye edilen bitümün Superpave sistemine göre performans sınıfının değiştiği rapor edilmiştir. PPA katkılı bitümlerin yüksek sıcaklık performanslarının saf bitümlere ve bazı polimer modifiye bitümlere kıyasla daha iyi sonuç verdiği

belirtilen çalışmalarda, bitümlerin düşük sıcaklık performanslarında ve yaşlanma davranışları üzerine olan etkisinin ise belirgin bir farklılık görülmediğine yer verilmiştir. Çalışmalarda aynı zamanda PPA modifiye bitümlerin yorulma dayanımı saf bitümlere kıyasla daha düşük seviyede kaldığı vurgulanmıştır. Miknis ve Thomas (2008) tarafından nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ile PPA modifiye bitümün farklı zaman periyotları için rezonans karakteristiğinde meydana gelen değişimi ve reaktif ter-polimerlerden olan Elvaloy ile reaksiyona girip girmediği araştırılmıştır. Spektroskopi sonuçlarında, PPA' nın başlangıçta ortofosforik asit, sonrasında orta ve son grup fosfat atom gruplarının görüldüğü ifade edilmiştir. Ancak uzun süre rezonans etkisi altında kalan PPA modifiye bitümün tekrar ortofosforik asit atomlarının NMR spektroskopisine belirlendiğine işaret edilen çalışmada Elvaloy ile PPA' nın reaksiyona girmediğine vurgu yapılmıştır. Xiao vd., (2014) tarafından belli oranlarda SBS, okside edilmiş polietilen polimerleri ve PPA ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcıların düşük ve yüksek sıcaklık performansları reolojik test yöntemleri ile araştırılmıştır. Bitüm ağırlığınca %0,5 oranında kullanılan PPA katkısının etkisi çalışmada kullanılan her bir polimerin %1'lik oranında gösterdiği etkiye denk geldiği vurgulanmıştır. Zhang vd., (2018) tarafından PPA ve EVA ile modifiye edilen bitüm özellikleri araştırılmış, %5 oranında EVA ve %0,75 oranında PPA katkısı ile modifiye edilen bitümde meydana gelen değişimler şu şekilde belirtilmiştir. EVA modifiye bitümün PPA katkısı ile beraber yüksek sıcaklık performansı iyileşmiştir. EVA polimerinin asit reaksiyonu nedeniyle bir kısmı modifikasyon içerisinde çözünmemiştir. EVA ve PPA molekülleri arasında hidroliz reaksiyonu gerçekleşmiştir. Qian vd., (2019) çalışmalarında öğütülmüş kauçuk (%9,0) modifiye bitüme PPA(%0,0-2,0) katkısının ilave edilmiştir. PPA katkısının eklenmesi ile beraber kauçuk modifiye bitüm özelliklerinde meydana gelen değişim geleneksel ve reolojik testlerin yanı sıra kimyasal analiz yöntemleri ile araştırılmıştır. Çalışma sonucunda öğütülmüş kauçuk modifiye bitümün reolojik özelliklerinin geliştirilmesinde ve modifiye bitümün depolama kararlılığının iyileştirilmesinde PPA katkısının oldukça etkili olduğunun altı çizilmiştir.

Bu çalışma kapsamında %0,5 ile %5,0 (bitüm ağırlığınca) arasında altı farklı oranda PPA kullanılarak 70/100 penetrasyon sınıfı bitüm modifiye edilmiştir. Modifiye bitümler fiziksel bitüm testlerine (yumuşama noktası, penetrasyon ve viskozite) tabi tutulmuştur. Bu test yöntemlerin çıktıları kullanılarak modifiye bitümleri ısıl hassasiyeti penetrasyon indeksi belirlenmiş, modifiye bitümlerin sıcak kaplama inşaatında kullanımı noktasında karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıkları belirlenmiştir. PPA modifiye bitümlerin reolojisindeki değişimi belirlemek amacıyla, dinamik kesme reometresi (DSR) kullanılmış ve bu test ile numunelerin kompleks kesme modülü ve faz açısı değerleri farklı sıcaklıklar için ortaya konmuştur. Bu iki parametre üzerinden PPA modifiye bitümlerin farklı sıcaklıklarda visko-elastik davranışında ve tekerlek izine karşı dirençlerinde ve Superpave sistemine göre yüksek sıcaklık sınıfında bir değişim olup olmadığı değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemelere ve malzemelerin temel özelliklerine ve takip edilen test yöntemlerine yer verilmiş olup, test yöntemlerinin uygulanma esaslarına kısaca değinilmiştir.

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı 70/100 penetrasyon sınıfına sahiptir. Bitüm numuneleri Karayolları Genel Müdürlüğüne bağlı Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü çatısı altında hizmet veren ve merkezi Adana'da olan Bitüm şefliği üzerinden temin edilmiştir. İlgili birimler temin edilen bitümün kaynağının İzmir Aliağa rafinerisinde üretilen bitüm olduğu bilgisini paylaşmış olup, bitümün sahip olduğu temel mühendislik özellikleri laboratuvar ortamında yapılan bir dizi test yöntemi ile belirlenmiştir. Bitümün temel mühendislik özelliklerini gösteren testlerden elde edilen sonuçlar Tablo 1' de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Bitümün mühendislik özellikleri (Engineering properties of bitumen)

Testler	Birim	Standart	Sonuç
Penetrasyon	0,1 mm	ASTM D5	76,2
Yumuşama Noktası	°C	ASTM D36	49,0
Parlama Noktası	°C	ASTM D92	259,0
Uzama Miktarı	cm	ASTM D113	104,3
Viskozite (135 °C)	cP	ASTM D 4402	517,5
Viskozite (165 °C)			139,2

Çalışmada kullanılan PPA kurumsal bir firmadan, hibe olarak, temin edilmiştir. Firma tarafından verilen ürün kataloğunda çalışma kapsamında kullanılan PPA' ya ait teknik özelliklere yer verilmiş olup, ilgili teknik özellikler Tablo 2' deki gibi sunulmuştur.

Tablo 2. PPA' nın özellikleri (Properties of PPA)

Özellik	Durum
Fiziki Hal	Sıvı
Görünüm	Kıvamlı
Renk	Renksiz - Buz Beyazı
PH	< 2
Koku	Kokusuz
Yoğunluk	2060 kg/m ³
Suda Çözünürlüğü	Çözünür
Organik Çözücülerde Çözünürlüğü	Çözünür (Alkoller)
Kaynama Noktası	> 300 °C
Erime Noktası	15 - 30 °C

Bu çalışmanın bulgular ve tartışma kısmında her bir bitüm numunesine ait sonuçlar tanımlanan numune kodları üzerinden sunulmuştur. Bu doğrultuda her bir numune için kodlama sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bitüm numunelerinin kodlarına ilişkin bilgiler Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. Bitüm numunelerinin kodları (Codes of bitumen samples)

No	Numune Kodu	Modifikasyon Parametreleri
1	SB	Saf bitüm
2	PPAM-0,5	Saf bitüm + %0,5 PPA
3	PPAM-1	Saf bitüm + %1 PPA
4	PPAM-2	Saf bitüm + %2 PPA
5	PPAM-3	Saf bitüm + %3 PPA
6	PPAM-4	Saf bitüm + %4 PPA
7	PPAM-5	Saf bitüm + %5 PPA

2.2. Modifikasyon işlemi (Modification process)

Bu çalışmada kullanılan bitümün PPA ile modifiye edilmesi aşağıda verilen işlemler dizisi takip edilerek yapılmıştır. Modifikasyon işleminde takip edilen adımlar Kodrat vd., (2007), Fee vd., (2010) ile Gökalp vd. (2019) tarafından sunulan çalışmalar ışığında belirlenmiştir. Modifikasyonda takip edilen işlemler dizisi aşağıda verildiği gibidir.

- Saf bitüm 150 ± 5 °C'de 90 dakika kadar ısıtılarak akıcı hale getirilir,
- Akıcı hale getirilen bitüm numunesinden 500 gram kadar tartılarak bir metal kaba aktarılır,
- Metal kaba aktarılan bitümün katılaşmasını önlemek için numune dolu kap ısı kontrollü bir ısıtıcının üzerinde yerleştirilir,
- Bitüm ağırlığınca tanımlanan oranlarda tartılarak hazırlanan PPA numunesi, ısıtıcı üzerinde yerleştirilmiş olan bitümlü bağlayıcının üzerine eklenir,
- Isıtıcı 180±5 °C'ye kadar kademeli bir şekilde ayarlanarak metal kap ve bitüm arasındaki ısı dengesi sağlanması için 30 dakika süresince herhangi bir işlem yapılmadan beklenir,
- PPA karışımı bitümün dakikada 2000 devir yapabilen üç bıçaklı geleneksel kanatlı bir karıştırıcı kullanılarak dakikada 800 dönme devrinde (rpm) olmak üzere 2 saat süresince karıştırılarak numuneler deneye hazır hale getirilir.

Yukarıda takip edilene modifikasyon işlem dizisi, her bir modifikasyon parametresi için ayrı ayrı tüm adımlar takip edilerek tekrarlanabilir.

2.3. Yöntem (Method)

2.3.1. Yumuşama noktası (Softening point)

Yumuşama noktası, bitümün ısıtılma noktasının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan geleneksel bitüm testlerindedir. Yumuşama noktası deneyi, kademeli olarak artırılan homojen yayılımı sağlanmış ısı bir ortam içerisinde yapılır. Deney, standart boyutlara sahip iki halka (yüzük), halkalar içerisine dökülen bitümlü bağlayıcı numuneleri, eş ve standart boyut ve ağırlıkta) bir yüklemeye (bilye) altında, bitüm numunesinin belli bir mesafe için akmasına dayanır. Deney sonuçları standartta belirtilen ve tekrar edilebilirlik şartlarını sağlayan sonuçlara üzerinden 0,2 °C yaklaşımı üzerine rapor edilir. Bu çalışma kapsamında, ASTM D36 standardı takip edilerek (ASTM, 2014) bitüm numunelerine yumuşama noktası testi yapılmıştır.

2.3.2. Penetrasyon (Penetration)

Penetrasyon testi, bitümlerin sınıflandırmasında kullanılan geleneksel bir test olma özelliğine sahiptir. Bitümlü bağlayıcıların oda koşullarındaki sıcaklıklarda kıvamını belirleyebilmek için geliştirilen penetrasyon testi, belli bir yük altında (100 veya 200 gram), özel boyutlara ve konik bir uca sahip olan standart bir iğnenin ve 5 saniye için bitüme serbest bir şekilde batmasına dayanır. Deney için bitüm numuneleri ısıtıldıktan sonra standart penetrasyon kaplarına hava kabarcıkları oluşturulmadan dökülüp oda koşullarında 1 ile 1,5 saat süre bekletilir. Sonrasında 25 °C su banyosunda 1 saat süreyle bekletilip teste tabi tutulur. En az üç okumanın yapılması gereken test 2 dakika içerisinde tamamlanmalıdır. Deney standartta belirtilen tekrar edilebilirlik şartlarını sağlayan sonuçlara sahip numunenin sonuçları raporlanır. Çalışma kapsamında, ASTM D5 standardı (ASTM, 2013) takip edilerek, 100 gram yükleme ve oda koşulları altında 5 saniye içerisinde yarı otomatik bir cihaz ile penetrasyon testi yapılmıştır.

2.3.3. Brookfield viskozimetre (Brookfield viscometer)

Bitümlü bağlayıcılar visko-elastik bir özelliğe sahip olup ilgili teknik şartnamelere uygun olarak hazırlanan agregalar ile belli oran ve sıcaklıklarda karıştırılarak esnek yol üstyapısını oluştururlar. Bitümler, gerek agregalar ile karıştırılması sırasında gerekse de hazırlanan BSK' nin yol platformuna serilip sıkıştırılması sırasında işlenebilir durumda olmalıdır. İşlenebilir bitüm katkı olmaksızın uygun sıcaklık ve viskozite ile elde edilebilir. Saf bitümlü bağlayıcılar üzerinde uygulanan. Homojen ve işlenebilir bir BSK üretimi ve uygulaması için önerilen sıcaklık değerlerine karşılık viskozite değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ASTM D4402 standardı (ASTM, 2015) takip edilerek Brookfield dönel viskozite 110, 135, 150 ve 165 °C' de olmak üzere dört farklı sıcaklıkta, 100 rpm dönme hızında ve üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Aynı zamanda, 135 ve 165 °C' de elde edilen ölçüm sonuçları üzerinden bitümlerin karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıkları belirlenmiştir.

2.3.4. Dinamik kesme reometresi (Dynamic shear rheometer)

Bitümün sabit yükleme koşulları altında ve farklı sıcaklıklarda visko-elastik özelliklerinin ortaya konabilmesi, bitümün yapısal özelliklerinin daha açık ortaya konmasını sağlayacaktır. DSR cihazı farklı sıcaklıklarda farklı yükleme koşulları altında bitümlü bağlayıcıların visko-elastik özelliğini ortaya koyabilmektedir. Reolojik test yöntemlerinde biri olan dinamik kesme reometresi (DSR) cihazının ölçüm prensibi, sabit plaka ile hareketli plakalar arasında belli yükseklik miktarınca yerleştirilen bitüm numunesinin hareketli plakanın tanımlanan frekanslarda salınımı ile bitümde meydana gelen burulma davranışına dayanmaktadır. Bu burulmaya karşı direncin yüksek olması numunenin daha elastik, düşük olması ise numunenin daha viskoz olduğunu göstermektedir. DSR şu bileşenlerden oluşmaktadır. Bunlar:

- (1) ölçüm cihazı,
- (2) cihaza bağlı bilgisayar ve bilgisayar programı,
- (3) kompresör,
- (4) ölçüm milleri ve sabit ve hareketli plakalar (25 mm, 8 mm),
- (5) numune döküm kalıplarıdır (25 ve 8 mm).

Bu çalışma kapsamında ASTM D7552 kodlu standart (ASTM, 2009) takip edilerek bitüm numunelerine DSR ile testler yapılmıştır. DSR ile bitümlü bağlayıcının visko-elastik davranışı ilgili test sıcaklığında kompleks modül (G) ve faz açısı (δ°) ölçülerek belirlenmektedir. 90° faz açısı bitüm numunesi tam viskoz, 0° faz açısı ise bitümün tam elastik olduğuna işaret etmektedir. Aynı zamanda, G ve δ° arasında kullanılan bağıntılar ile bitümün hem fiziksel hem de reolojik özellikleri hakkında derin bilgi edilebilmek mümkündür. Nitekim herhangi bir yaşlandırma işlemine tabi tutulmayan veya kısa-dönem yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş saf veya modifiye bitümlerin tekerlek izine karşı direnci performansı kompleks modül değerinin $\sin(\delta^\circ)$ değerine bölünmesiyle belirlenir ve G^* ile gösterimi yapılır. Yaşlandırma işlemi görmemiş bitüm numuneleri için G^* değerinin 1000 Pa, kısa-dönem yaşlanmaya tabi tutulmuş bitüm numuneleri için G^* değerinin 2200 Pa altına düştüğü sıcaklık tekerlek izine karşı direncin yenilme sıcaklığı olarak tanımlanır. Superpave performans derecelendirme sistemine göre yenilme sıcaklığından bir önceki sıcaklık değeri ise performans sınıfı olarak belirtilir.

2.3.5. Kısa dönem yaşlandırma metodu (Short-term aging method)

Bitümlü bağlayıcıların kısa-dönem yaşlandırılması, Superpave performans derecelendirme sisteminde yer alan dönel ince film etüvü (RTFO) test metodu ile ASTM D2872 standardına uygun olarak laboratuvar ortamında yapılabilmektedir (ASTM, 2012). Bu test metodunda, bitüm belli boyutlarda olan cam kaplara 35 gram kadar döküldükten sonra, bitüm numuneleri ısıtmalı dönel bir fırın içerisinde 163 °C altında ve 10 devir döndürme hızında dakikada 4000 ml sıcak havaya toplamda 85 dakika maruz bırakılarak yaşlandırılır.

2.3.6. Penetrasyon indeksi (Penetration index)

Bitümlü bağlayıcılar ısıya karşı hassas bir yapı malzemesi olup elde edildikleri kaynağa ve/veya üretilme işlemlerine bağlı olarak ısıya karşı farklı hassasiyet gösterebilir. Bir bitümün ısıya karşı duyarlılık özelliği, bitümlü bağlayıcının kullanılacağı karışım için harcanacak enerji ve süreyi etkilemektedir. Bu açıdan, ısıya karşı hassasiyetin bilinmesi önem arz etmektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısıl hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri penetrasyon ve yumuşama noktası test sonuçları tabanında geliştirilen penetrasyon indeksidir. Penetrasyon indeksi değeri aşağıda verilen 1 ve 2 numaralı denklemler kullanılarak belirlenmektedir (Hadiwardoyo vd., 2013). Bir bitümlü bağlayıcı için ideal penetrasyon indeksi değerlerinin (+) 2 ile (-) 2 arasındadır. Penetrasyon indeksi değerinin -2'den küçük olması bitümün ısıya karşı çok duyarlı olduğu, +2'den büyük olması ise ısıya karşı az duyarlı olduğu şeklinde yorumlanmaktadır.

$$A = \frac{[(\text{Log}800) - (\text{Log}P_{25})]}{T_{YN} - 25} \quad (1)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

Burada,

P25: Bitümün 25 °C'deki penetrasyon testi sonucunu,

T_{YN}: Yumuşama noktası testi sonucunu,

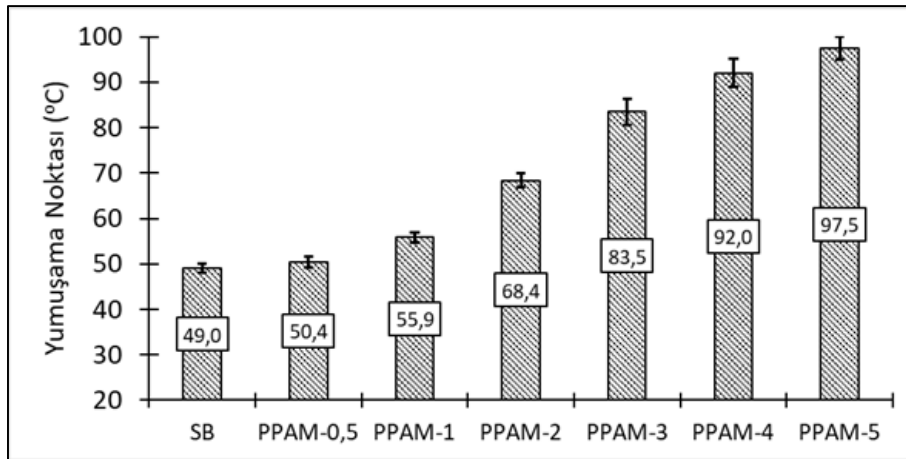
PI: Penetrasyon indeksini ifade etmektedir.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu bölümde, bitüm ağırlığınca % 0,5 ile % 5 arasında değişen altı farklı oranda PPA katkısı kullanılarak modifiye edilen bitümün özelliklerinde meydana gelen değişimlerin belirlendiği fiziksel ve reolojik testlere dair sonuçlar verilmiştir.

3.1. Yumuşama noktası testi sonuçları (Softening point test results)

Yaygın olarak kullanılan geleneksel test yöntemlerinden olan yumuşama noktası testi sonuçları altı farklı oranda PPA ile modifiye edilen bitüm numunelerine en az iki tekrarlı olmak üzere uygulanmış olup test sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



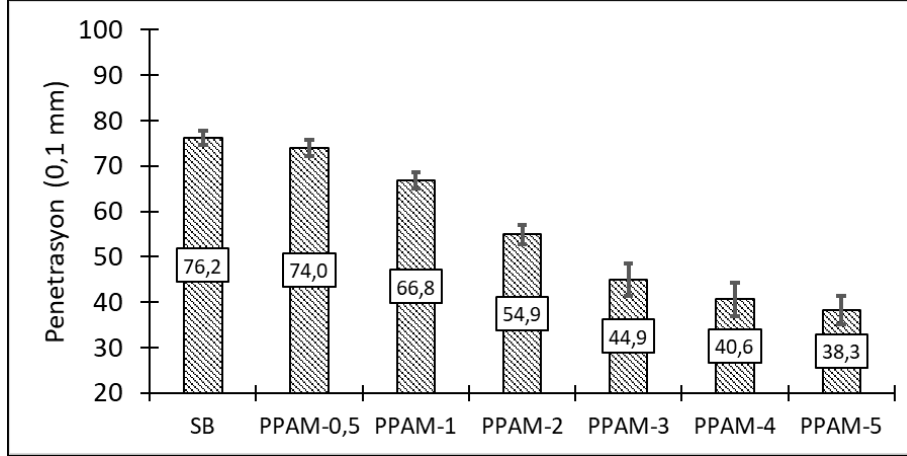
Şekil 1. Yumuşama noktası sonuçları (Softening point results)

Şekil 1'de verilen sonuçlar, PPA katkısı ile yapılan modifikasyonun bitümün yumuşama noktası üzerinde etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Ancak, düşük oranlarda PPA katkısının yumuşama noktası üzerindeki etkisini daha az iken artan oranlarda PPA kullanımı etki seviyesi yükselmektedir. Nitekim oransal olarak saf bitüme göre yumuşama noktası değerindeki değişim oranı PPAM-0,5 için yaklaşık % 3, PPAM-5 için bu değişim yaklaşık oranı % 99 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, PPAM-1 ile PPAM-2 arasında 12,5 °C, PPAM-2 ile PPAM-3 arasında ise 15,1 °C yumuşama noktası değer farkı bulunmaktadır. Ayrıca, yumuşama noktasındaki değer farkları PPA katkı oranı

artıkça da azalan bir artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

3.2. Penetrasyon testi sonuçları (Penetration test results)

Bitümlü bağlayıcıların oda sıcaklığında sertliğinin veya kıvamının belirlenmesinde kullanılan diğer yaygın geleneksel testlerde olan penetrasyon testi, farklı oranlarda PPA ile modifiye edilen bitüm numunelerine en az iki tekrarlı olmak üzere uygulanmış, testlerden elde edilen sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Penetrasyon testi sonuçları (Penetrasyon test results)

Şekil 2'de paylaşılan test sonuçlarından farklı oranlarda kullanılan PPA katkısının bitümün penetrasyon değerlerini farklı oranlarda etkilediği açıkça görülmektedir. Saf bitüme göre PPA katkılı modifiye bitümlerin penetrasyon değerlerindeki düşüş oranı, PPAM-0,5 için % 3, PPAM -1 için % 12, PPAM-2 için % 28, PPAM-3 için % 41, PPAM-4 için % 47 ve PPAM-5 için % 50 olarak hesaplanmıştır. Beklenildiği üzere, PPA modifiye bitümleri yumuşama noktası sonuçlarındaki artış, penetrasyon değerlerinde azalışı meydana getirmiştir. Çünkü bitümün yüksek yumuşama noktasına sahip olması daha katı bir bitüm formu oluştuğunu göstermektedir. Test yöntemlerine bağlı karşılaştırma yapıldığında, farklı sayısal değerler görülecektir ki, bu olağan bir durumdur.

3.3. Brookfield viskozimetre testi sonuçları (Brookfield viscometer test results)

Gerek yumuşama noktası gerekse penetrasyon testi sonuçlarından PPA modifikasyonun bitümde daha katı bir form oluşturduğu görülmüştür. İlgili testler standartlarının işaret ettiği oda sıcaklığında veya düşük sıcaklıktan başlayarak kademeli olarak artan sıcaklık koşullarında yapılmıştır. Bilindiği üzere düşük sıcaklıklarda bitüm katı hal formunda olmakta iken yüksek sıcaklıklarda ise akıcı yani viskoz hale gelen bir yapı malzemesidir. Bitümün viskoz davranışını ve yüksek sıcaklıklar altındaki işlenebilirlik düzeyini ve kıvamını ortaya koymak uygulayıcı ve araştırmacı için oldukça önemlidir. Bu durum gözetilerek, saf ve PPA modifiye bitümlerin her biri için dört farklı sıcaklıkta (110, 135, 150 ve 165 °C) viskozite ölçümü Brookfield dönel viskozimetre kullanılarak yapılmıştır. Her biri üç tekrarlı olarak yapılan testlere ait sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Viskozite testi sonuçları (Viscosity test results)

No	Numune Kodu	Test Sonuçları (cP)			
		110 °C	135 °C	150 °C	165 °C
1	SB	581,0±1,1	517,5±0,9	328,4±0,5	139,2±0,1
2	PPAM-0,5	598,4±2,0	533,0±1,8	338,3±1,3	143,4±0,6
3	PPAM-1	800,5±3,9	713,0±3,9	452,5±2,1	191,8±1,7
4	PPAM-2	1246,8±9,1	1110,5±8,0	704,7±8,9	298,7±2,1
5	PPAM-3	2085,1±10,9	1857,2±10,5	1178,5±9,2	499,6±6,3
6	PPAM-4	3635,5±12,9	3238,1±12,8	2054,9±12,4	871,0±7,0
7	PPAM-5	5133,2±19,0	4572,2±18,0	2901,5±14,1	1229,9±10,1

Tablo 4'te verilen sonuçlar, hem yumuşama noktası hem de penetrasyon testi sonuçlarını desteklemektedir. PPA ile modifiye edilen bitümün kıvamının arttığı yapılan viskozite testinde de görülmüştür. Zira düşük sıcaklıkta daha yüksek viskozite değerleri elde edilmiş yüksek sıcaklıklarda ise viskozite değerinin düştüğü belirlenmiştir. Bitümün ısıya karşı duyarlı olduğu ve artan ısı ile beraber daha akıcı bir hal aldığı, farklı ve yüksek sıcaklıklarda yapılan viskozite test sonuçlarından da açıkça görülmektedir. Genellikle bitümlü bağlayıcılar üzerinde uygulanan dönel viskozimetre deneyinde işlenebilirlik için 135°C'deki viskozite değeri 3 Pa.s veya 3000 centiPoise (cP) aşmaması istenmektedir. Bu durum göz önüne alındığında PPAM-4 ve PPAM-5 kodlu numuneler için belirlenen

viskozite değerleri 3000 cP' un üzerinde olduğundan dolayı %4 ve 5 oranında PPA katkısı ile yapılan modifikasyonun işlenebilirlik açısından uygun olmayacağı değerlendirilmektedir.

Bitümlü bağlayıcılar yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak sıcak kaplama imalatında kullanılmaktadır. Bitümün ısıtılıp diğer kaplama imalatında kullanılacak agrega ve katkıları ile karıştırılması ve sonrasında BSK' nın yola serilip sıkıştırılması için ideal sıcaklık koşullarının bilinmesi ve/veya belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü yapısal ve fonksiyonel açıdan daha uzun ömürlü, dayanıklı ve sürdürülebilir bir yol üstyapısı için ideal koşullarda BSK imalatının ve yol inşaatının yapılması zorunludur. Bunun için bitümün karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıkları belirlenmelidir. Bu iki sıcaklık bitümün kökenine, sınıfına ve imalat koşullarına ve modifiye edilmiş katkısının türü ve oranına bağlı olarak belirgin bir şekilde değişebilmektedir. Karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklık aralıklarının belirlenmesi noktasında ilgili ASTM standardında sırasıyla 170±20 cP ve 280±30 cP değerlerine karşılık gelen sıcaklık aralıkları önerilmiştir. Çalışma kapsamında önerilen bu ilke dikkate alınarak 135 ve 165 °C'de elde edilen viskozite değerleri kullanılarak karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklık aralıkları belirlenmiştir. Saf ve PPA modifiye bitümleri karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları Tablo 5'te verilmiştir.

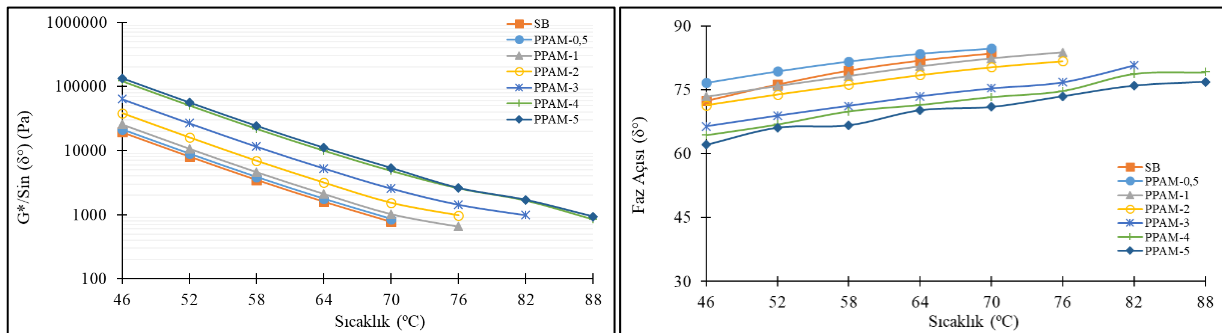
Tablo 5. Bitümlerin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları (Mixing and compaction temperatures of bitumen)

No	Numune Türü	Sıcaklık (°C)					
		Karıştırma			Sıkıştırma		
		150 cP	170 cP	190 cP	250 cP	280 cP	310 cP
1	SB	164,1	162,6	161,0	156,2	153,8	151,5
2	PPAM-0,5	164,5	163,0	161,4	156,8	154,5	152,2
3	PPAM-1	167,4	166,3	165,1	161,7	159,9	158,2
4	PPAM-2	170,5	169,8	169,0	166,8	165,7	164,6
5	PPAM-3	172,7	172,3	171,8	170,5	169,9	169,2
6	PPAM-4	174,1	173,9	173,6	172,9	172,5	172,1
7	PPAM-5	174,7	174,5	174,3	173,8	173,5	173,3

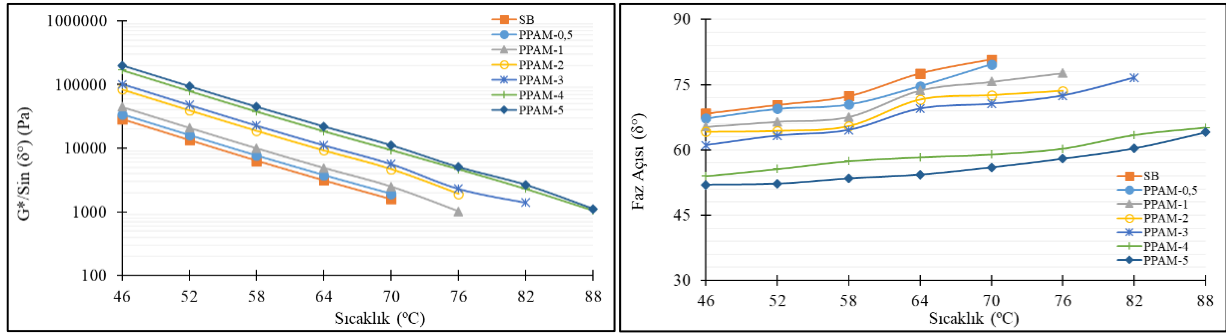
Tablo 5' te saf bitüm karıştırılma sıcaklığı 161-164,1 °C arasında iken sıkıştırılma sıcaklığı ise 151,5-156,2 °C arasında belirlenmiştir. PPA katkısının bitüme ilave edilmesi sonrasında kıvamı artan bitümün hem karıştırılma hem de sıkıştırılma sıcaklıklarındaki artış belirgin bir şekilde görülmüştür. Önemli bir diğer husus hem karıştırılma hem de sıkıştırılma sıcaklıklarının değerinde 10 °C' ye varan bir artış olmasıdır. PPA katkı oranının %4 ve üzeri olduğu modifikasyonlarda bu durum daha belirgindir. Sıcaklık değerinde artış, PPA modifikasyonun çevresel ve ekonomik bir çözüm olmayabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, PPA katkısından beklenen teknik yararı destekleyen ancak bitümün kıvamını düşürecek ve dolayısıyla bitümlü bağlayıcının karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıklarının saf bitüm için belirlenen sıcaklıklara indirilebilecek farklı katkıları ile kullanımının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Zira yüksek oranda PPA katkısı ile modifiye edilen bitüm ile üstyapı inşaatının yapılacağı çalışmalarda bu durum göz önünde bulundurulmadığında önemli boyutlarda çevresel ve ekonomik kaybın doğabilecektir.

3.4. Dinamik kesme reometresi- DSR- testi sonuçları (Dynamic shear rheometer-DSR- test results)

Reolojik test yöntemlerinden biri olan DSR, farklı sıcaklıklara ve yüklenme ile yaşlanma koşulları altında saf ve modifiye bitümün visko-elastik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bunun yanında kompleks kesme modülü ve faz açısı parametrelerinin belirlenebildiği test yöntemi ile bitümlü bağlayıcının tekerlek izine ve yorulmaya karşı dayanımı hakkında bilgi alınabilmektedir. Bu çalışma kapsamında herhangi bir yaşlandırma işlemi yapılmadan hazırlanan saf ve PPA modifiye bitüm numuneleri üzerinde yapılan DSR testi neticesinde kompleks modül ve faz açısı tayini testi sonuçları Şekil 3'te, kısa dönem yaşlandırılmış saf ve modifiye bitüm numunelerini DSR test sonuçları ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Saf ve modifiye bitümün DSR testi sonuçları (DSR test results of base and modified bitumen)

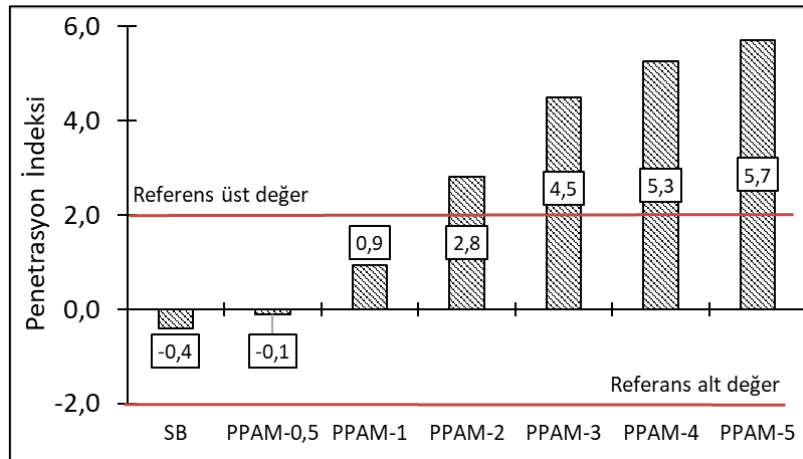


Şekil 4. Kısa dönem yaşlandırılmış bitümlerin DSR testi sonuçları (DSR test results of short-term aged bitumen)

Superpave performans derecelendirme sisteminde beklendiği gibi hem kısa dönem yaşlandırılmış hem de yaşlanma işlemine tabi tutulmamış numunelerin DSR sonuçları (Şekil 3 ve Şekil 4) arasında uyum bulunmaktadır. Zira her iki durumda da yenilme sıcaklıkları aynı belirlenmiştir. Numunelerin yenilme sıcaklıklarına bakıldığında SB, PPAM-0,5 kodlu numuneler 70 °C' de, PPAM-1 ve PPA -2 numuneleri ise 76 °C' de olduğu görülecektir. Yanı sıra PPAM -3 ve PPAM -4 82 °C' de yenilmiştir. PPAM-5 numunesi için diğer numuneler cihazın ölçüm yapabildiği 88 °C' de dahi yenilmemiştir. Verilen faz açısı grafikleri değerlendirildiğinde, saf ve modifiye bitüm numunelerine ait faz açısı değerlerinin 60° ile 90° arasında, kısa dönem yaşlandırılmış numunelerin faz açısı değerlerinin 50° ile 70° arasında olduğu görülecektir. Dolayısıyla saf ve modifiye bitüm viskoz bir forma, beklendiği gibi kısa dönem yaşlandırılmış numuneler ise elastik forma sahiptir.

3.5. Penetrasyon indeksi sonuçları (Penetration index results)

Yumuşama noktası ve penetrasyon testlerinin sonuçları kullanılarak geliştirilen penetrasyon indeksi analizi ile bitümlerin sıcaklığa karşı hassasiyetini tahmin etmek mümkündür. Penetrasyon indeksi değerleri için referans alt ve üst değerleri (+) 2 ve (-) 2'dir. Bitüm numuneleri için ideal görülen bu aralık dışında olan değerlere sahip olanlar, ya ısıya karşı oldukça hassas ya da tam tersine duyarız olmaktadır. Penetrasyon indeksi (+)2 değerinin üstünde kalan bitümlerin ısıya karşı duyarlılığını az, (-) 2 değerinin altında kalan bitümler ise ısıya karşı daha çok duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma kapsamında her bir PPA katkı oranına karşılık gelen modifiye bitüm numuneleri için anılan test sonuçları kullanılarak penetrasyon indeksi hesaplanarak, indeks değerlerine ait sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Penetrasyon indeksi sonuçları (Results of penetration index)

Şekil 5' te verilen penetrasyon indeksi sonuçlarına göre SB ile kodlanan saf bitüm ile PPAM-0,5 ve PPAM-1 ile kodlanan PPA modifiye bitümlerin penetrasyon indeks değerlerinin (+) 2 - (-) 2 referans aralığında kaldığı görülmektedir. En düşük penetrasyon indeksine sahip SB kodlu saf bitüm ısıya karşı diğer PPA ile modifiye edilen bitüm numunelerine oranla daha hassas özelliktedir. %2 ve daha fazla oranda PPA kullanılarak modifiye edilen bitümlerin penetrasyon değerlerinin (+) 2 referans üst değerini aştığı, dolayısıyla PPA modifikasyonun bitümün ısıya karşı hassasiyetini belirgin bir şekilde azalttığı söylenebilir.

4. Özet ve Sonuçlar (Summary and Results)

Bu çalışmada, 70/100 penetrasyon sınıfına sahip saf bitüm %0,5 ile %5,0 (bitüm ağırlığına) arasında değişen altı farklı oranda PPA katkısı ile standart bir yöntemle modifiye edilmiştir. Saf ve PPA katkısının farklı oranlarda

kullanımı ile hazırlanan modifiye bitümlerin fiziksel ve reolojik açıdan mühendislik özellikleri bir dizi test yöntemi ile belirlenmiştir. Fiziksel veya geleneksel test metotlarından olan yumuşama noktası, penetrasyon ve dört farklı sıcaklıkta (110, 135, 150 ve 165 °C) Brookfield dönel viskozimetre ile bitüm numunelerinin viskozitesi belirlenmiştir. Viskozite test sonuçlarından bitümlere ait karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıkları tayin edilen çalışmada, herbir bitümün ısıya karşı hassasiyetpenetrasyon indeksi metodu ile tanımlanmıştır. Reolojik test yöntemlerinden biri olan dinamik kesme reometresi (DSR) testi bu çalışma kapsamında saf ve PPA modifiye bitümlerin yaşlandırılmış ve işlem görmemiş numuneleri üzerinde kullanılmıştır. Bu şekilde bitümlerin tekerlek izine karşı dirençleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, saf bitümün artan oranlarda PPA katkısı ile modifiye edilmesi sonrasında bitümün;

- (1) yumuşama noktasını arttırdığı
- (2) penetrasyon değerini düşürdüğü,
- (3) viskozite değerlerini yükselttiği,
- (4) yaklaşık 10 °C kadar karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını olarak artırdığı,
- (5) tekerlek izine karşı direncini artırdığı,
- (6) ısıl hassasiyetini düşürdüğü görülmüştür.

Yukarıda açıklanan çalışma çıktıları arasında bitümlü karışımın hem karıştırılma hem de sıkıştırılma safhasında işlemlerin kolayca tatbik edilebilmesi için işlenebilir bir kıvam elde edilmesi önemli bir husustur. PPA modifiye bitüm için belirlenen sıcaklık değerleri saf bitüme nazaran daha yüksektir. Bu durumda, PPA modifikasyonu ekonomik ve çevresel kayıplara neden olabileceği aşikârdır. Bu durumun ortadan kaldırılması amacıyla PPA ile iyileştirilen bitüm özelliklerini koruyan ancak bitümün viskozitesini düşüren farklı katkıların kullanılması gerekecektir. Bu şekilde, bitümlü karışımın karıştırılma ve sıkıştırılma sıcaklıklarında artışın önüne geçilebilecek, enerji sarfiyatının önüne geçilerek ekonomik kazanım elde edilebilecek yanı sıra çevreye salınan emisyon gazının düşürülerek ile çevreye verilen zarar azaltılmış olacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Teşekkür (Acknowledgement)

KGM 5. Bölge Müdürlüğüne bağlı Adana bitüm şefliğine bitüm numunelerinin temininde ve temel bitüm testlerinin yapılmasında verdikleri destekte dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar (References)

- ASTM, 2009. D7552 Standard Test Method for Determining The Complex Shear Modulus, G^* , of Bituminous Mixtures Using Dynamic Shear Rheometer (DSR). USA, ASTM International.
- ASTM, 2012. D2872 Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), USA, ASTM International.
- ASTM, 2013. D05 Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. USA, ASTM International.
- ASTM, 2014. D36 Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-And-Ball Apparatus), USA, ASTM International.
- ASTM, 2015. D 4402 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using A Rotational Viscometer. USA, ASTM International.
- Baldino, N., Gabriele, D., Rossi, C. O., Seta, L., Lupi, F. R., Caputo, P., 2012. Low Temperature Rheology of Polyphosphoric Acid (PPA) Added Bitumen. *Construction and Building Materials*, 36, 592-596.
- Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacson, U., 2006. Influence of Commercial Waxes and Polyphosphoric Acid on Bitumen and Asphalt Concrete Performance at Low and Medium Temperatures. *Materials and Structures*, 39(7), 725-737.
- Fee, D., Maldonado, R., Reinke, G., Romagosa, H., 2010. Polyphosphoric acid modification of asphalt. *Transportation Research Record*, 2179(1), 49-57.
- Gökalp, I., Çetin, H. M., Özinal, Y., Gündoğan, H. Uz, V. E., 2019. Polimer Modifiye Bitüm Modifikasyonuna Etki Eden Parametreler Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 954-964.
- Gökalp, İ., Özinal, Y. Uz, V. E., 2018. Atık Bitkisel Yemelik Yağların Saf Bitüm Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. *Journal of Engineering Sciences*, 6(4), 570-578.
- Gökalp, İ. ve Uz, V. E., 2019. Utilizing of Waste Vegetable Cooking Oil in Bitumen: Zero Tolerance Aging Approach. *Construction and Building Materials*, 227, 116695.
- Hadiwardoyo, S. P., Sinaga, E. S., Fikri, H., 2013. The Influence of Buton Asphalt Additive on Skid Resistance based on Penetration Index and Temperature. *Construction and Building Materials*, 42, 5-10.
- Kodrat, I., Sohn, D., Hesp, S. A., 2007. Comparison of Polyphosphoric Acid-Modified Asphalt Binders with Straight and Polymer-Modified Materials. *Transportation Research Record*, 1998(1), 47-55.
- Liu, X., Li, T., Zhang, H., 2018. Short-Term Aging Resistance Investigations of Polymers and Polyphosphoric Acid Modified Asphalt Binders under RTFOT Aging Process. *Construction and Building Materials*, 191, 787-794.

- Miknis, Francis P., Thomas Kenneth P., 2008 NMR Analysis of Polyphosphoric Acid-modified Bitumen, Road Materials and Pavement Design, 9:1, 59-72.
- Orange, G., Martin, J. V., Menapace, A., Hemsley, M., Baumgardner, G. L., 2004. Rutting and Moisture Resistance of Asphalt Mixtures Containing Polymer and Polyphosphoric Acid Modified Bitumen. Road materials and Pavement Design, 5(3), 323-354.
- Qian, C., Fan, W., Ren, F., Lv, X., Xing, B., 2019. Influence of Polyphosphoric Acid (PPA) on Properties of Crumb Rubber (CR) Modified Asphalt. Construction and Building Materials, 227 (2019). 117094. 1-13.
- Rossi, C. O., Spadafora, A., Teltayev, B., Izmailova, G., Amerbayev, Y. Bortolotti, V., 2015. Polymer Modified Bitumen: Rheological Properties and Structural Characterization. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 480, 390-397.
- Xiao, F., Amirkhanian, S., Wang, H., Hao, P., 2014. Rheological Property Investigations for Polymer and Polyphosphoric Acid Modified Asphalt Binders at High Temperatures. Construction and Building Materials, 64, 316-323.
- Zhan, F., Hu, C., Zhang, Y., 2018. Influence of poly (phosphoric acid) on The Properties and Structure of Ethylene-Vinyl Acetate-Modified Bitumen. Journal of Applied Polymer Science 46553. 1-8.



EFFECT OF GROUNDWATER LEVEL ON SITE RESPONSE BEHAVIOR OF A ONE-LAYERED LIQUEFIABLE SOIL

Selçuk DEMİR*

Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Civil Engineering, Bolu, Turkey

Keywords

*Liquefiable Soil,
Site Response Analysis,
DeepSoil,
Numerical Model,
Groundwater Level.*

Abstract

This study examines the effect of groundwater level (*GWL*) on the seismic site response behavior of a one-layered liquefiable soil using one-dimensional nonlinear numerical analyses. The response of the liquefiable soil was analyzed with the help of DeepSoil open-source software. The calibration of the numerical model was carried out using the results of a centrifuge experiment from the literature. The outcomes of the site response analyses were discussed in terms of peak horizontal acceleration, amplification ratio, excess pore pressure ratio, shear stress-strain behavior, and maximum lateral displacement. Also, additional numerical analyses were performed to investigate relationships between input motion intensity- *GWL*, frequency content of earthquake motion- *GWL*, and layer thickness- *GWL*. It is shown that the seismic site response behavior of the liquefiable soil is highly affected by changes in groundwater levels. Moreover, depending on the location of the groundwater level, the seismic behavior of the liquefiable soil may also change with the increase of the input motion intensity, frequency content, and layer thickness.

TEK TABAKALI SIVILAŞABİLİR BİR ZEMİNİN SAHA TEPKİ DAVRANIŞI ÜZERİNE YERALTISUYU SEVİYESİNİN ETKİSİ

Anahtar Kelimeler

*Sıvılaştırılabilir Zemin,
Saha Tepki Analizi,
DeepSoil,
Sayısal Model,
Yeraltı Suyu Seviyesi.*

Öz

Bu çalışma, yeraltı suyu seviyesinin (*YASS*) tek tabakalı sıvılaştırılabilir bir zeminin sismik saha tepki davranışına olan etkisini doğrusal olmayan tek boyutlu sayısal analizler kullanılarak incelemektedir. Sıvılaştırılabilir zeminin tepkisi, bir açık kaynak yazılımı olan DeepSoil yardımıyla analiz edilmiştir. Sayısal modelin kalibrasyonu literatürde yer alan bir santrifüj deneyinin sonuçları kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçları maksimum yatay ivme, büyütme oranı, artık boşluksuyu basıncı oranı, kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi davranışı ve maksimum yanıl yer değiştirme açısından tartışılmıştır. Ayrıca, girdi deprem hareketi büyüklüğü- *YASS*, deprem hareketinin frekans içeriği- *YASS* ve tabaka kalınlığı- *YASS* arasındaki ilişkileri araştırmak için ek sayısal analizler yapılmıştır. Sonuçlar, zeminin sismik saha davranışının, yeraltı su seviyesinin değişmesinden oldukça etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca, yeraltı suyu seviyesinin konumuna bağlı olarak, sıvılaştırılabilir zeminin sismik davranışı giriş hareket yoğunluğunun, frekans içeriğinin ve tabaka kalınlığının artmasıyla değişebilmektedir.

Alıntı / Cite

Demir, S., (2021). Effect of Groundwater Level on Site Response Behavior of a One-Layered Liquefiable Soil, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(3), 796-808.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Demir, 0000-0003-2520-4395

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	23.03.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	23.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: selcukdemir@ibu.edu.tr, +90-374-254 4831

1. Introduction

Soil liquefaction is a phenomenon in which soil rapidly loses its shear strength due to the generation of excess pore water pressure as a result of sudden dynamic loads. This phenomenon is known as one of the major causes of significant damage during earthquakes, such as in the 1964 Niigata, 1995 Kobe, 1999 Kocaeli, 1999 Chi-Chi, 2010–2011 Christchurch, 2011 Tohoku, 2018 Sulawesi (Green et al., 2014; Ishihara, 1997; Sassa and Takagawa, 2019; Seed and Idriss, 1967; Tokimatsu et al., 2012; Yoshida et al., 2001; Yuan et al., 2004). Although it is impossible to preclude the occurrence of earthquakes, it is possible to reduce the liquefaction-induced damages and loss of lives by means of realistic ground motion predictions. An accurate prediction of the destructive site effects of liquefiable soils is therefore essential for the existing structures or structures in design phase.

Site effects are commonly defined as an alteration in intensity and frequency content of a seismic motion due to the propagation of waves from the bedrock to the soil surface. Earthquake-resistant design of new structures and evaluation of the seismic vulnerability of the existing structures involves prediction of their response considering local site effects (Kramer, 1996). In general, site effects are evaluated by conducting site response analysis (SRA). SRA is an important tool in earthquake engineering practice to predict the effects of soil deposits on propagated ground motion.

In the last decades, researchers and engineers have made a significant effort to understand the response of liquefiable soil deposits during strong earthquake motions. Previous case studies revealed that the characteristics of the ground motion (intensity and the frequency content) significantly alter due to the presence of liquefiable soils (Gingery et al., 2015; Matasovic and Vucetic, 1996; Sato et al., 1996; Youd and Carter, 2005; Zeghal and Elgamal, 1994; Zorapapel and Vucetic, 1994). Besides, some experimental studies focused on the site effects of multi-layered liquefiable soils and evaluated liquefiable soil behavior with respect to excess pore pressure, amplification ratio, and displacements (Adalier and Elgamal, 2005; Özener et al., 2009; Su et al., 2013; Adampira et al., 2019).

Another way to predict the site effects of liquefiable soil during an earthquake is to perform numerical site response analyses. Some investigators have numerically investigated the nonlinear site response behavior of liquefiable soils through case studies (Matasovic, 1993; Zeghal et al., 1996; Foerster and Modaresi, 2007; Zheng and Luna, 2011; Markham et al., 2016; Taghavinezhad et al., 2019). These studies have generally discussed the effect of excess pore pressure generation on acceleration-time histories or response spectra at the ground surface. In addition, Hartvigsen (2007), Kramer et al. (2011), and Montoya-Noguera and Lopez-Caballero (2016) have performed nonlinear effective stress site response studies using hypothetical soil profiles. In these studies, researchers have mainly focused on investigating the effects of excess pore water pressure on intensity and frequency content of the ground motion Das and Chakraborty (2020) have recently performed nonlinear one-dimensional numerical analyses to assess the local site effects of different soil profiles. They concluded that soil layering has an important role in the seismic site response behavior of liquefiable soils, especially when the soil is sandwiched between two non-liquefiable soil layers. Also, Adampira and Derakhshandi (2020) have studied the influence of liquefiable sublayer thickness, sub-layer depth, as well as input motion intensity on the seismic site response behavior with nonlinear parametric site response analyses. The analysis result showed that liquefiable sub-layers play a vital role on the intensity of seismic waves and earthquake-induced forces.

Despite the studies mentioned above, there is not detailed numerical study examining the site effects of the liquefiable soils based on groundwater levels (*GWL*). *GWL* has an important role on pore water pressure distributions in saturated cohesionless soils, which may totally change site response behavior of the soil due to decreasing the shear strength or stiffness of the soil. The main goals of this study are to (a) examine the influence of *GWL* on the seismic site response behavior of a one-layered liquefiable soil considering groundwater level changes and (b) to provide an insight for engineers to better understand the seismic mechanism of the one-layered liquefiable soil and its effects on to design of new structures or existing structures when the groundwater level was changed. A 1D nonlinear numerical model considering effective stress state was constituted using DeepSoil software (Hashash et al., 2016) to reveal site response behavior of the soil in case of different groundwater levels (the *GWL* was lowered from the soil surface to target depths). The results of the 1D nonlinear simulations were compared in terms of peak horizontal acceleration, amplification ratio, excess pore pressure ratio, shear stress-strain behavior, and maximum lateral displacements. Also, additional numerical analyses were performed to investigate relationships between input motion intensity- *GWL*, frequency content of earthquake motion- *GWL*, and layer thickness- *GWL*.

1.1. Simulated soil profile and properties

In this study, a centrifuge study conducted by Taboada and Dobry (1993) was used to investigate site response behavior of the liquefiable soil (VELACS project, Model no:1). Details of the centrifuge study and properties of the sand placed in the laminar box are given in Figure 1. In the centrifuge test, a loose Nevada with a relative density (D_r) of about 40% (Arulmoli et al., 1992) was used to represent the one-layered liquefiable soil. The laminar box was excited by a sinusoidal input motion with a maximum value of 0.235g (Figure 2). A centrifuge acceleration of 50 g was applied during the test. The groundwater level (GWL) was located at the ground surface. Pore water pressures, accelerations, and horizontal displacements were recorded during the centrifuge test at different locations.

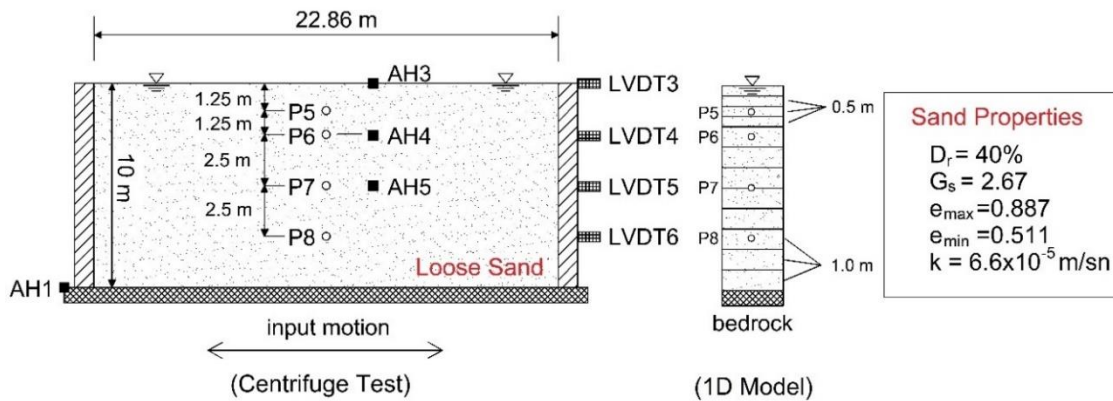


Figure 1. Instrumentation layout of the simulated centrifuge test

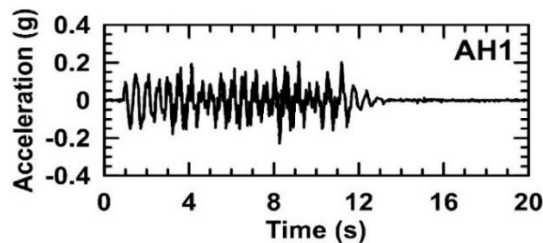


Figure 2. Input motion used in the centrifuge test

1.2. Numerical modeling

The open-source program DeepSoil v7.0 (Hashash et al., 2016) was utilized to perform 1D nonlinear site response analyses. Nonlinear effective stress approach was adopted in the model during DeepSoil simulations. The nonlinear stress-strain response was modeled by the pressure-dependent Modified Kondner-Zelasko (MKZ) hyperbolic-type model with non-Masing hysteretic Re/Un-loading formulation (Matasovic, 1993). Moreover, small-strain damping was represented using a frequency-independent viscous damping formulation proposed by Phillips and Hashash (2009). Darendeli (2001) model was used to determine the modulus reduction and damping curves of the soil profile. MRDF-Darandeli reduction factor was applied for the fitting procedure to obtain the fitted nonlinear curves from the Darendeli (2001) modulus reduction and damping curves.

The implied shear strength procedure proposed by Hashash et al. (2010) was applied for all DeepSoil simulations. Shear wave velocity (V_s) of the soil profile as a function of depth (z) was defined using Equation (1) that was generated from the resonant column test results conducted by Arulmoli et al. (1992) using soil's small strain shear modulus (G_{max})-mean effective stress (p') relationship. The detail of the V_s formulation is included in the Appendix. The soil profile was divided into 12 layers to adjust each layer's frequency greater than 30 Hz, which is the maximum frequency criterion recommended by Hashash et al. (2016). The bottom of the soil profile was modeled as a rigid half-space. Figure 3 shows the variation of V_s , maximum frequency ($Max.Freq.$), and implied friction angle of the simulated soil profile.

$$V_s = 99.0(z)^{0.25} \quad (1)$$

A pore water pressure model (Vucetic and Dobry, 1986) implemented in DeepSoil was used to generate excess pore water pressures in the soil (Equation 2).

$$r_{u,N} = \frac{pfN_c F(\gamma_c - \gamma_{tvp})^2}{1 + fN_c F(\gamma_c - \gamma_{tvp})} \quad (2)$$

where $r_{u,N}$ is residual PWP ratio after N_c cycles and γ_c is cyclic shear strain. Details of the other parameters were listed in Table 1.

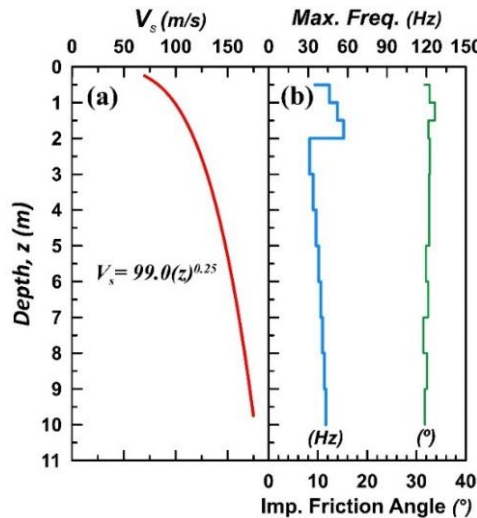


Figure 3. V_s , $Max.Freq.$, and implied friction angle of the soil profile

DeepSoil only requires the coefficient of consolidation (c_v) of the soil as an input value for evaluating PWP dissipation. Each layer’s coefficient of consolidation was computed through Equation (3).

$$c_v = \frac{k(1+e_0)}{\gamma_w a_v} \quad (3)$$

where k is the permeability, γ_w is the unit weight of the water, e_0 is the initial void ratio, and a_v is the compressibility coefficient of the soil. The coefficient of consolidation and initial void ratio were used to be 6.6×10^{-5} m/s and 0.74, respectively (Arulmoli et al., 1992). a_v was estimated based on laboratory studies on Nevada sand presented by Gibson (1997). It should be noted that c_v used in DeepSoil simulations was scaled with the centrifuge acceleration of 50g, which makes the value of c_v in prototype dimensions 50 times higher than in model dimensions. Table 1 shows the overall model input parameters used in DeepSoil simulations.

Table 1. Input parameters of DeepSoil used 1D simulations

DARANDELI (2001) MODEL PARAMETERS			
PARAMETER	UNIT	VALUE	REFERENCE
Relative Density, D_r	%	40	-
Saturated unit weight, γ_{sat}	kN/m ³	19.23	-
Over consolidation ratio, OCR	-	1.0	Normally consolidated sand
Number of loading cycles, N	-	10	Default
Frequency, $Freq$	Hz	1.0	Default
Plasticity index, PI	%	0	No fine content
Effective friction angle, ϕ'	°	32	(Meyerhof, 1959)
Lateral earth pressure coefficient at rest, K_0	-	0.47	(Jaky, 1944)
EXCESS PORE WATER PRESSURE MODEL PARAMETERS			
PARAMETER	UNIT	VALUE	REFERENCE
Curve fitting parameter, F	-	1.7	Mei et al. (2018)
Curve fitting parameter, s	-	1.0	Mei et al. (2018)
Curve fitting parameter, p	-	1.15	-
Curve fitting parameter, v	-	1.0	-
Model constant depending on 1D or 2D shaking, f	-	1.0	-
Volumetric threshold shear strain, γ_{tvp}	%	0.05	-
Coefficient of consolidation, c_v	m ² /sec	Equation (3)	-

1.3. Validation of the model input parameters

The ability of the model parameters to estimate nonlinear site response effects of the liquefiable soil was investigated through a comparison of simulations to measurements from the centrifuge test. The numerical results were compared with the experimental results in terms of excess pore water pressure, 5% damped spectral accelerations (S_a), and lateral displacements, presented in Figure 4. As seen from Figure 4(a), the simulation of the onset of liquefaction and maximum excess pore pressures are very similar to those in the centrifuge test. On the other hand, DeepSoil simulations overestimate S_a values at the soil surface (AH3) between periods of 0.01 to 1.0s. Nonetheless, a better match with the centrifuge measurements at 5.0m depth is seen from DeepSoil simulations as compared to the soil surface records (Figure 4b). Lastly, lateral displacement-time history results at the soil surface and 7.5m depth obtained from centrifuge test results and numerical simulations are compared in Figure 4(c). In general, the magnitude of lateral displacements at each time step is consistent with the experimental measurements.

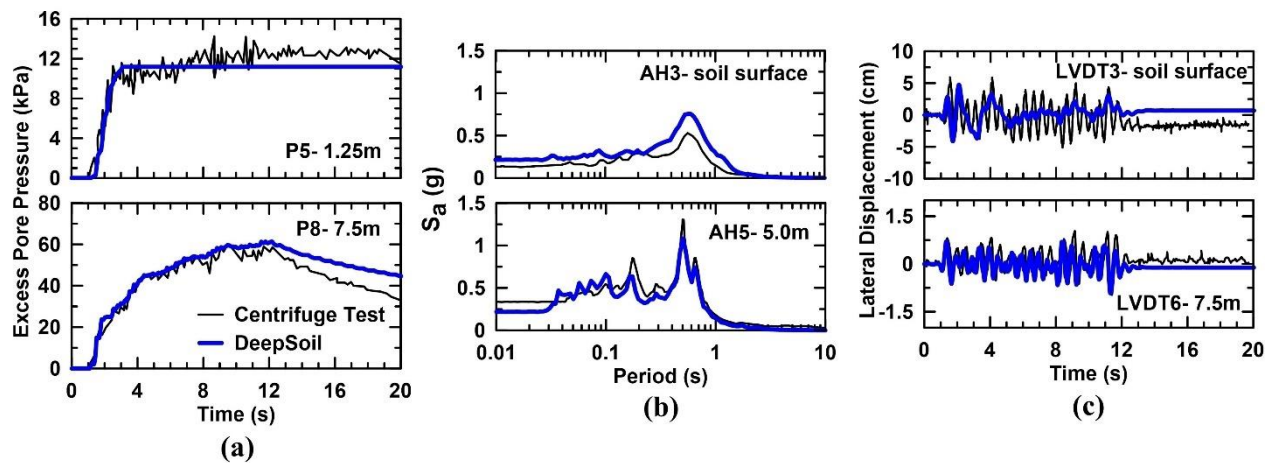


Figure 4. Comparison of (a) excess pore pressures, (b) response spectra (5% damped), and (c) lateral displacements of centrifuge test and numerical simulation results at various locations

2. Results

In this section, a parametric study was conducted considering various groundwater levels and the influence of groundwater level (GWL) on the site response behavior of the one-layered liquefiable soil was investigated in terms of peak horizontal acceleration (PGA_{max}), amplification ratio (A_r), excess pore pressure ratio (r_u), shear stress-shear strain (SS) behavior, and maximum lateral displacement at the ground surface ($L_{d,max}$). Furthermore, additional numerical analyses were performed for evaluating relationships between input motion intensity (a_{max})- GWL , frequency content (f_p)- GWL , and layer thickness (H)- GWL .

A group of five groundwater levels was selected during nonlinear 1D simulations, $GWL = 0, 1, 2, 4,$ and 6 m. Here, $GWL = 0$ corresponds fully saturated soil profile, which means that GWL locates at the ground surface. Besides, the input motion given in Figure 2 was scaled to $a_{max} = 0.05g, 0.1g, 0.2g$ and $0.4g$ to evaluate a_{max} - GWL relationship. During a_{max} - GWL simulations, frequency content and layer thickness of the soil were kept constant ($f_p = 2.0$ Hz and $H = 10$ m). Similarly, four earthquake motions with different predominant frequencies ($f_p = 0.29, 1.10, 4.83, 7.22$ Hz, and H and a_{max} fixed to 10 m and $0.3g$) and four different layer thicknesses ($H = 5, 7, 10, 20$ m, and a_{max} and f_p fixed to $0.235g$ and 2.0 Hz) were considered to assess the other relationships between f_p - GWL , and H - GWL . Details of the parametric study are listed in Table 2. The acceleration-time histories and corresponding Fourier amplitudes of the selected earthquake motions are given in Figure 5.

Table 2. Details of the parametric study

SYMBOL	PARAMETRIC VALUE	CONSTANTS
GWL	0, 1, 2, 4, 6m	$f_p = 2.0, H = 10, a_{max} = 0.235$
a_{max}	0.05, 0.1, 0.2, 0.4g	$f_p = 2.0, H = 10$
f_p	0.29, 1.1, 4.83, 7.22Hz	$a_{max} = 0.3, H = 10$
H	5, 7, 10, 20m	$a_{max} = 0.235, f_p = 2.0$

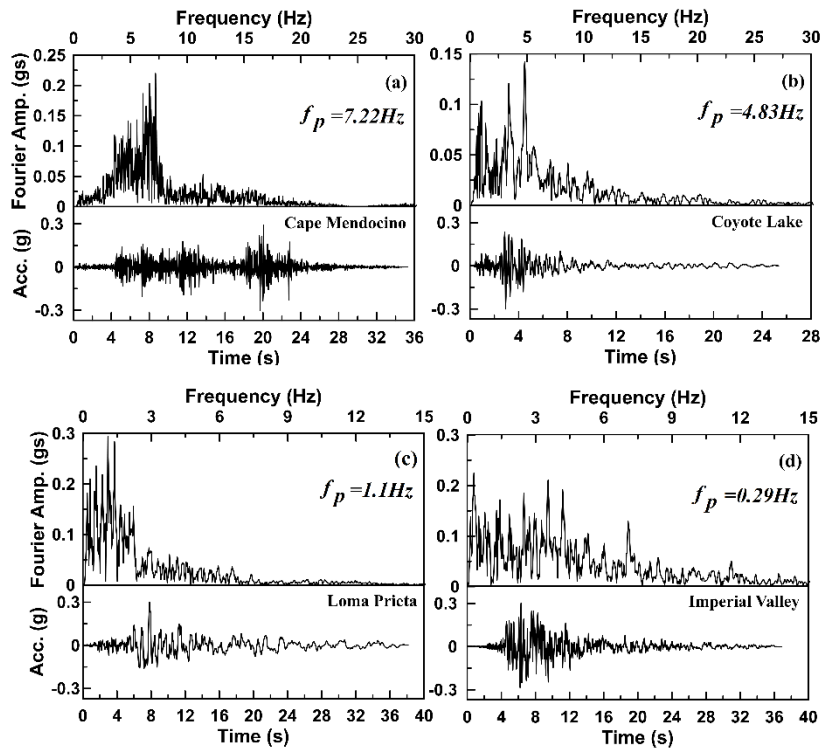


Figure 5. Fourier amplitudes of the earthquake motions (a) CM, (b) CL, (c) LP, and (d) IV

2.1. Analysis results of PGA_{max} , A_r , r_u , SS , and $L_{d,max}$

2.1.1. Variations in PGA_{max} and A_r

The effects of groundwater level on the peak horizontal accelerations are examined, as shown in Figure 6. According to the figure, as the groundwater level increases, PGA_{max} values increase as well through the soil profile. When the groundwater level is located above 2.0m, the values of PGA_{max} at the ground surface are deamplified however, PGA_{max} values are amplified in cases of $GWL \geq 2.0\text{m}$.

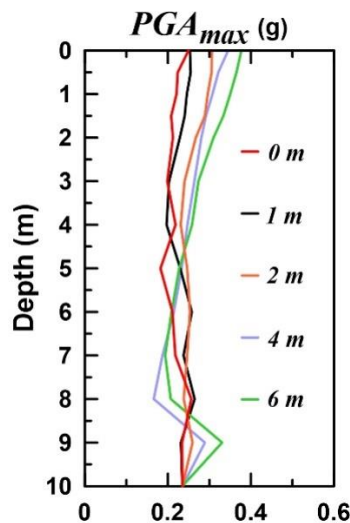


Figure 6. Variation of peak horizontal accelerations with ground water level.

Variation of spectral accelerations in a periodic range is presented in Figure 7 using amplification ratio (A_r). Here A_r is the ratio of the spectral acceleration of the soil surface to the spectral acceleration of base input motion. As shown, the amplification ratio is very similar for all GWL values at periods 1.0-10sec, implying the variation of groundwater level has little effect on A_r values. It is seen that from Figure 7, the effect of GWL on the A_r values are more remarkable at short periods ($T < 0.5\text{sec}$), whereas for long periods ($T > 0.5\text{s}$) the influence is less

noticeable. The increase of GWL value leads to some increase in A_r values at periods $T < 0.5$ sec. Moreover, A_r values increase conspicuously at about $T = 1.0$ sec and reach approximately $A_r = 3.5-4.0$.

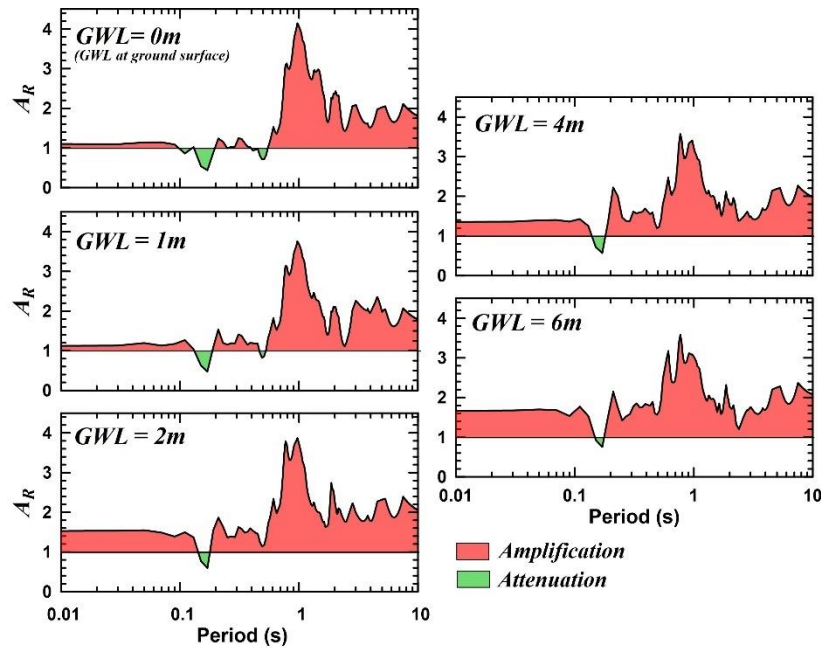


Figure 7. Change of amplification ratios with groundwater level.

2.1.2. Variations in r_u

The variation of r_u values at 2.5, 5 and 7.5m depths are presented in Figure 8 for different GWL values. As expected, larger pore water pressure ratios (r_u) are predicted when using lower ground water levels. r_u values reach nearly 1.0 ($r_u = 0.8-1.0$) for all depths in the case of $GWL = 0$ and $GWL = 1.0$ m, indicating soil liquefaction. Besides, maximum r_u values decrease with increasing GWL and soil depth.

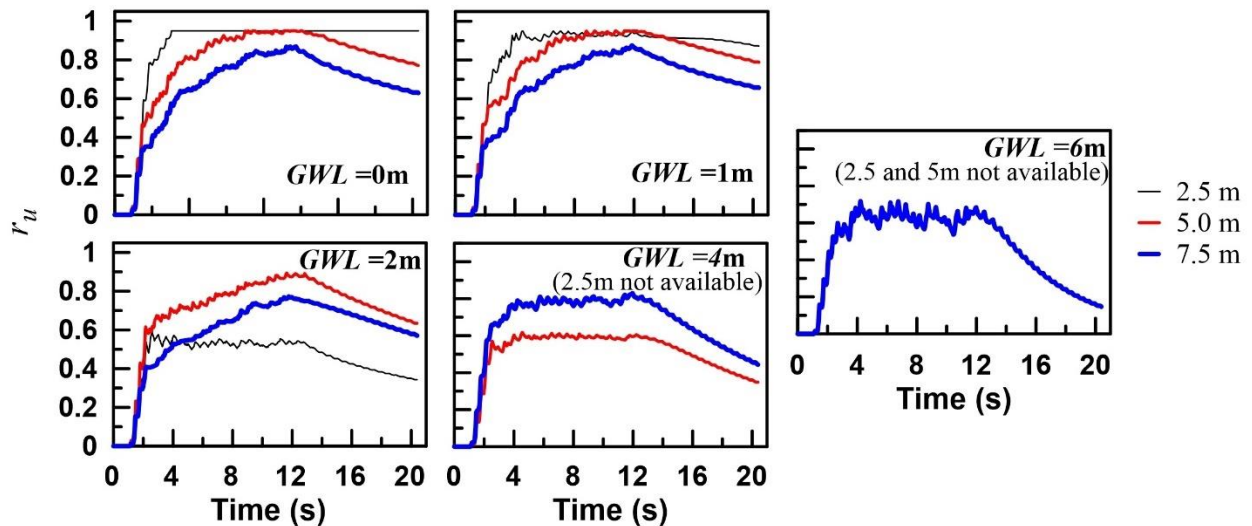


Figure 8. Simulated r_u -time histories at different depths.

2.1.3. Variations in SS , and $L_{d,max}$

Shear stress-strain (SS) behavior of the soil at three depths and maximum lateral displacements ($L_{d,max}$) at the ground surface with different GWL values are shown in Figures 9 and 10, respectively. It is seen that from the hysteresis shear stress-shear strain loops of the soil given in Figure 9, the increase of GWL value leads to a decrease in the shear strain level. For instance, when GWL increases from 0 to 6m, the maximum shear strain

reduces from 2% to 0.8% at 2.5 depth. This is expected because fully saturated liquefiable soils exhibit more nonlinearity as compared to unsaturated or dry soils when the soil layers are subjected to strong input motions. On the other hand, similar *SS* responses are observed at 7.5m depth for all *GWL* values.

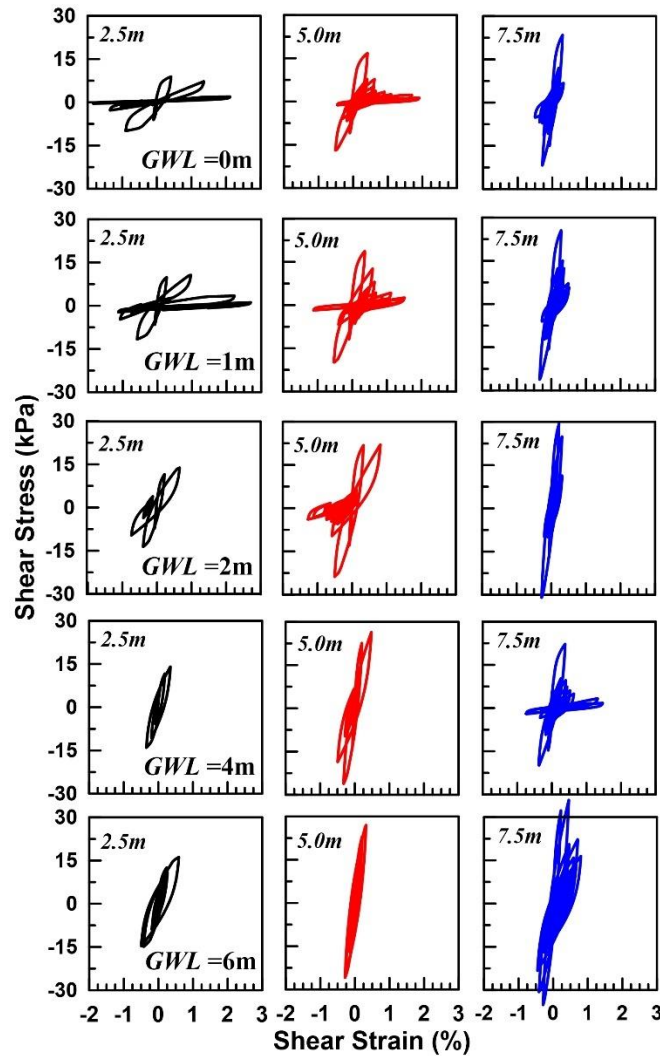


Figure 9. Numerically computed shear stress–strain loops at different depths.

Figure 10 shows $L_{d,max}$ values at the ground surface according to the increase of *GWL* values. In Figure 10, when the *GWL* values are increased, lower lateral soil displacements are observed. The value of $L_{d,max}$ decreased by approximately 30% as the *GWL* value increased from 0 m to 6 m.

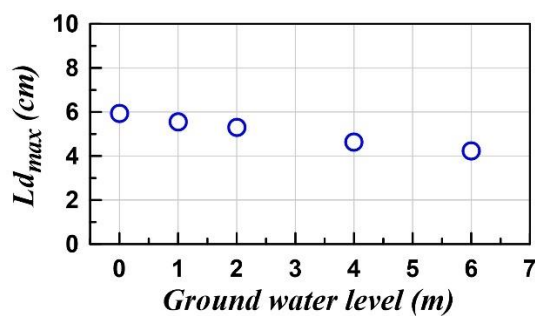


Figure 10. Change of maximum lateral displacements at the ground surface with groundwater level.

2.2. Analysis of the relationships between a_{max} - *GWL*, f_p - *GWL*, and *H* - *GWL*.

In this section, numerical analyses were performed with two groundwater levels (*GWL* = 0 and *GWL* = 10) to investigate the behavior between a_{max} - *GWL*, f_p - *GWL*, and *H* - *GWL*. Here, *GWL* = 0 and *GWL* = 10 represent

saturated and dry soil cases, respectively. Simulation results were evaluated in terms of PGA_{max} and $L_{d,max}$ values at the ground surface, and maximum shear strain value developed in the soil profile.

2.2.1. Relationship between a_{max} and GWL

Figure 11 shows variations of PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strain values predicted in saturated ($GWL=0$) and dry soils ($GWL=10$) versus the input motion intensity (a_{max}). In general, as the input motion intensity increases PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strain values increase both for saturated and dry soil cases. Numerical predictions obtained from saturated soil case exhibit similar responses as compared to dry soil in terms of PGA_{max} during weak input motion intensities ($a_{max}=0.05$ and $0.1g$). However, PGA_{max} values depart noticeably with a_{max} increase. As the groundwater level is lowered from the soil surface to the base, seismically induced horizontal accelerations at the ground surface are increased. For example, PGA_{max} values increase by about two times when $a_{max}=0.4g$. Furthermore, when the soils are shaken under the strong input motion intensities, soils tend to deamplification behavior, especially in the case of saturated soil. It is also noticeably seen from Figure 11 that the increase of a_{max} leads to an increase in the $L_{d,max}$ and maximum shear strain level. This is expected because the soils exhibit nonlinear behavior when soil layers are subjected to strong input motion intensities, which leads to the development of large lateral displacements and shear strains in the soil. In addition, the saturated soil shows more lateral displacements and shear strains than the dry soil as a_{max} increases due to the change of effective stresses.

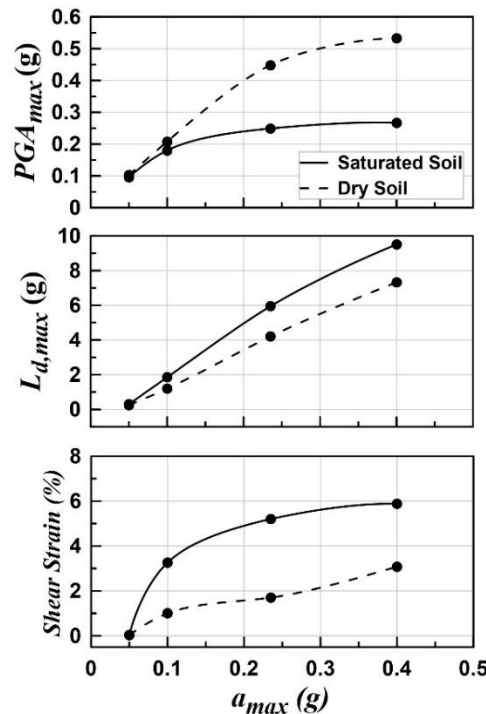


Figure 11. Effect of a_{max} and GWL values on PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strains

2.2.2. Relationship between f_p and GWL

Figure 12 displays the PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strains in the soil computed during four earthquake motions. It is clearly seen that frequency contents (predominant frequencies) of the earthquake motions significantly influence peak horizontal accelerations, lateral displacements, and strain behavior of the soil. In accordance with the results given in Figure 11, predicted values of PGA_{max} from the dry soil are larger than those in the saturated soil. In general, as the GWL lowers and f_p increases, PGA_{max} values decrease. Decreasing the predominant frequency of the earthquake motions result in large variations of the maximum shear strains and lateral displacements in the saturated soil. Larger shear strains are predicted from saturated soil simulations when using input motions with lower frequency content. Besides, the influence of f_p values on the $L_{d,max}$ and maximum shear strains are negligible for dry soil case.

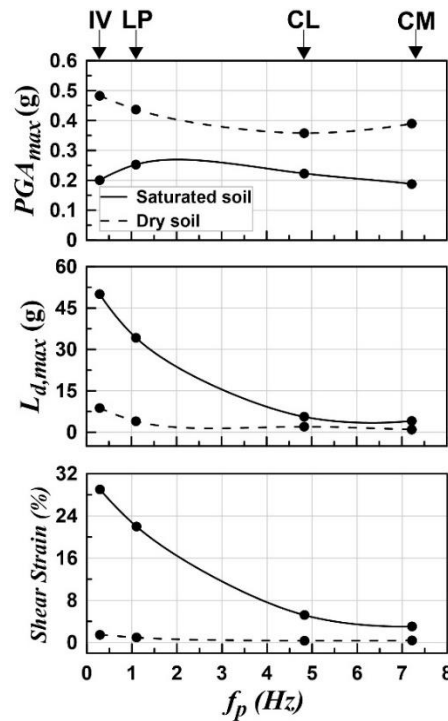


Figure 12. Effect of f_p and GWL values on PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strains

2.2.3. Relationship between H and GWL

Figure 13 presents the effect of layer thickness (H) and groundwater level on the PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strain values. The increase of the soil layer thickness leads to a slight decrease on PGA_{max} values. All dry soil layers resulted in higher PGA_{max} values than the saturated layers due to the change in the effective stress of the soils. Comparisons of the $L_{d,max}$ and maximum shear strain variations in the dry and saturated soils are also shown in Figure 13. It is seen that $L_{d,max}$ and maximum shear strain values in the dry soil case are smaller than saturated soil case. Furthermore, the trend of $L_{d,max}$ and maximum shear strain curves are almost similar with H increases for dry and saturated soils. $L_{d,max}$ values increase noticeably as H increases, while the change of maximum shear strains with the increment of H is limited both for dry and saturated soil cases.

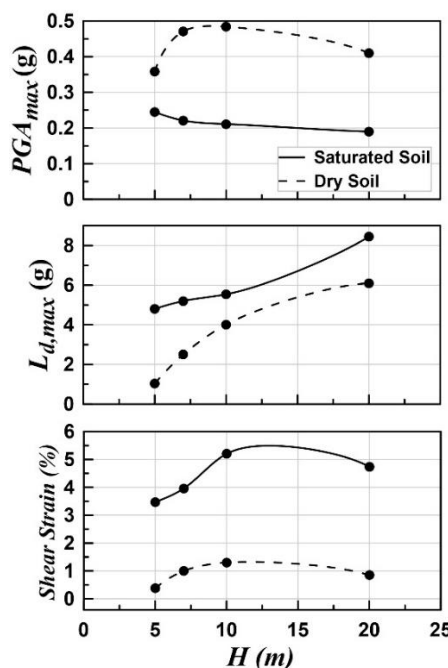


Figure 13. Effect of H and GWL values on PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strains

4. Conclusions

1D nonlinear numerical analyses were performed in this study to investigate the effect of different groundwater levels on the site response behavior of a one-layered liquefiable soil. The following conclusions can be drawn from the results:

The peak horizontal accelerations throughout the soil profile were increased, and earthquake-induced horizontal accelerations at the ground surface were amplified with lowering groundwater level from the soil surface to the base. The amplification was seen more clearly at short periods ($T < 0.5$ sec), considering the amplification ratio. On the contrary, excess pore pressure ratios, maximum shear strains and maximum lateral displacements became even less when groundwater levels lowered deeper depths. This mechanism is directly related to the change in the effective stress of the liquefiable soil due to the variation of the groundwater level.

As the input motion intensity increases, PGA_{max} , $L_{d,max}$, and maximum shear strain values increase both for saturated and dry soil cases. When the soils were shaken under the strong input motion intensities, soils tend to deamplification behavior, especially in the case of saturated soil. Saturated liquefiable soils behave like a seismic isolator under strong seismic loads and significantly reduce the horizontal accelerations affecting the ground surface (Kokusho, 2014). Although this behavior was seen to be a positive contribution to the seismic site response effect of the liquefiable soils, shear strains and lateral displacements obtained from the liquefiable soil case were found higher than the dry soil case. The frequency content of earthquake motion was considerably altered the site response behavior of the saturated liquefiable soil. Especially large shear strains and lateral displacements were observed for the saturated soil ($GWL = 0$) during earthquake motions with low predominant frequency. On the other hand, the effect of predominant frequency on the site response behavior was negligible for dry soil case ($GWL = 10$). The results indicated that the effect of the layer thickness (H) appeared to be lower as compared to a_{max} and f_p values both for saturated and dry soil cases.

It is thought that this study provides a guide for designers and geotechnical engineers to better understand the seismic mechanism of the one-layered liquefiable soil and its effects to superstructures at the ground surface when the groundwater level changes.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Adalier, K., Elgamal, A., 2005. Liquefaction of Over-Consolidated Sand: A Centrifuge Investigation. *Journal of Earthquake Engineering*, 9:127-150.
- Adampira, M., Derakhshandi, M., Ghalandarzadeh, A. 2019. Experimental Study on Seismic Response Characteristics of Liquefiable Soil Layers. *Journal of Earthquake Engineering*, <https://doi.org/10.1080/13632469.13632019.11568930>.
- Adampira, M., Derakhshandi, M., 2020. Influence of a Layered Liquefiable Soil on Seismic Site Response Using Physical Modeling and Numerical Simulation. *Engineering Geology*, 266:105462.
- Arulmoli, K., Muraleetharan, K.K., Hossain, M.M., Fruth, L.S., 1992. VELACS: Verification of Liquefaction Analyses by Centrifuge Studies, Laboratory Testing Program. Soil Data Report.
- Darendeli, M.B., 2001. Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves. PhD. Thesis, In: Civil Engineering, University of Texas at Austin.
- Das, A., Chakraborty, P., 2020. Influence of Motion Energy and Soil Characteristics on Seismic Ground Response of Layered Soil. *International Journal of Civil Engineering*, 1-20.
- Foerster, E., Modaressi, H., 2007. Nonlinear Numerical Method for Earthquake Site Response Analysis II—Case Studies. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 5:325-345.
- Gibson, A.D., 1997. Physical Scale Modeling of Geotechnical Structures at One-G. PhD. Thesis, In: California Institute of Technology.
- Gingery, J.R., Elgamal, A., Bray, J.D., 2015. Response Spectra at Liquefaction Sites During Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 31:2325-2349.
- Green, R.A., Cubrinovski, M., Cox, B. et al., 2014. Select Liquefaction Case Histories from the 2010–2011 Canterbury Earthquake Sequence. *Earthquake Spectra*, 30, 131-153.
- Hartvigsen, A.J., 2007. Influence of Pore Pressures in Liquefiable Soils on Elastic Response Spectra. PhD. Thesis, In: University of Washington.
- Hashash, Y., Phillips, C., Groholski, D.R., 2010. Recent Advances in Non-Linear Site Response Analysis. In: 5th Int. Conf. in Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Missouri Univ. of Science and Technology, Rolla, MO.
- Hashash, Y.M., Musgrove, M., Harmon, J., et al., 2016. DEEPSOIL 7.0 User Manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Ishihara, K., 1997. Terzaghi Oration: Geotechnical Aspects of the 1995 Kobe Earthquake. In: Proceedings of the International

- Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering-International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, AA Balkema, pp. 2047-2074.
- Jaky, J., 1944. The Coefficient of Earth Pressure at Rest. *Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers*, 355-358.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Kramer, S., Hartvigsen, A., Sideras, S., Ozener, P., 2011. Site Response Modeling in Liquefiable Soil Deposits. In: 4th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, pp. 1-12.
- Kokusho, T., 2014. Seismic Base-Isolation Mechanism in Liquefied Sand in Terms of Energy. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 63:92-97.
- Markham, C.S., Bray, J.D., Macedo, J., Luque, R., 2016. Evaluating Nonlinear Effective Stress Site Response Analyses Using Records from the Canterbury Earthquake Sequence. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 82:84-98.
- Matasovic, J., Vucetic, M., 1996. Analysis of Seismic Records from the Wildlife Liquefaction Site. In: Proc. 11th World Conf. Earthquake Engineering.
- Matasovic, N., 1993. Seismic Response of Composite Horizontally-Layered Soil Deposits. PhD. Thesis, In: University of California.
- Mei, X., Olson, S.M., Hashash, Y.M., 2018. Empirical Porewater Pressure Generation Model Parameters in 1-D Seismic Site Response Analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 114:563-567.
- Meyerhof, G.G., 1959. Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 126:1292-1322.
- Montoya-Noguera, S., Lopez-Caballero, F., 2016. Effect of Coupling Excess Pore Pressure and Deformation on Nonlinear Seismic Soil Response. *Acta Geotechnica*, 11:191-207.
- Özener, P.T., Özyayın, K., Berilgen, M.M., 2009. Investigation of Liquefaction and Pore Water Pressure Development in Layered Sands. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7:199-219.
- Phillips, C., Hashash, Y.M., 2009. Damping Formulation for Nonlinear 1D Site Response Analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29:1143-1158.
- Sassa, S., Takagawa, T., 2019. Liquefied Gravity Flow-Induced Tsunami: First Evidence and Comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi Earthquake and Tsunami Disasters. *Landslides*, 16:195-200.
- Sato, K., Kokusho, T., Matsumoto, M., Yamada, E., 1996. Nonlinear Seismic Response and Soil Property During Strong Motion. *Soils and Foundations*, 36:41-52.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1967. Analysis of Soil Liquefaction: Niigata Earthquake. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 93:83-108.
- Su, D., Ming, H., Li, X., 2013. Effect of Shaking Strength on The Seismic Response of Liquefiable Level Ground. *Engineering Geology*, 166:262-271.
- Taboada, V., Dobry, R., 1993. Experimental Results of Model No. 1 at RPI. In: Arulanandan K, Scott RF, Editors. *Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problems*, Rotterdam, A.A. Balkema, pp. 3-18.
- Taghavinezhad, M., Choobbasti, A., Farrokhzad, F., 2019. Effect of Liquefaction on Nonlinear Seismic Response in Layered Soils: A Case Study of Babol, North of Iran. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-18.
- Tokimatsu, K., Tamura, S., Suzuki, H., Katsumata, K., 2012. Building Damage Associated with Geotechnical Problems in the 2011 Tohoku Pacific Earthquake. *Soils and Foundations*, 52:956-974.
- Vucetic, M., Dobry, R., 1986. Pore Pressure Build-Up and Liquefaction at Level Sandy Sites During Earthquakes. In: Research Rep. No. CE-86-3, Dept. of Civil Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
- Yoshida, N., Tokimatsu, K., Yasuda, S. et al., 2001. Geotechnical Aspects of Damage in Adapazari City During 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake. *Soils and Foundations*, 41:25-45.
- Youd, T.L., Carter, B.L., 2005. Influence of Soil Softening and Liquefaction on Spectral Acceleration. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131:811-825.
- Yuan, H., Yang, S.H., Andrus, R.D., Juang, C.H., 2004. Liquefaction-Induced Ground Failure: A Study of the Chi-Chi Earthquake Cases. *Engineering Geology*, 71:141-155.
- Zeghal, M., Elgamal, A.W., 1994. Analysis of Site Liquefaction Using Earthquake Records. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120:996-1017.
- Zeghal, M., Elgamal, A.W., Parra, E., 1996. Identification and Modeling of Earthquake Ground Response—II. Site Liquefaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15:523-547.
- Zheng, W., Luna, R., 2011. Nonlinear Site Response and Liquefaction Analysis in the New Madrid Seismic Zone. *Geotechnical and Geological Engineering*, 29:463-475.
- Zorapapel, G.T., Vucetic, M., 1994. The Effects of Seismic Pore Water Pressure on Ground Surface Motion. *Earthquake Spectra*, 10:403-438.

Appendix

Arulmoli et al. (1992) was carried out resonant column (RC) tests to define dynamic properties of Nevada Sand. The soil's small strain shear modulus (G_0) with mean effective stress (p') are shown in Figure 14. From nonlinear regression analyses, power curve fit of the $G_0 - p'$ relationship was determined using Test no: 40-77 data, and related equation was proposed in Equation (4).

$$G_0 = 7.67(p')^{0.5}, \text{ MPa} \quad (4)$$

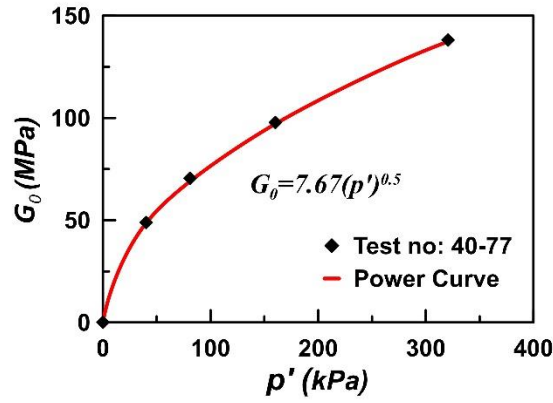


Figure 14. Power curve fit of the laboratory measurement used in Deepsoil simulations

Equation (4) was converted into V_s formulation as a function of depth (z) as follows:

The small strain shear modulus of a soil can be obtained in terms of the shear wave velocity through the basic expression given in Equation (5).

$$G_0 = \rho(V_s)^2, \text{ kPa} \quad (5)$$

here ρ is soil mass density. Hereafter, Equation (4) and Equation (5) were equalized as shown in Equation (6).

$$\rho(V_s)^2 = 7.67(p')^{0.5} \quad (6)$$

From this condition, V_s - z relationship given in Equation (1) obtained by combining Equations (7) and (8) in Equation (6).

$$p' = \frac{\sigma'_v + 2\sigma'_h}{3} \quad (7)$$

where σ'_v is the effective vertical stress and σ'_h is the effective horizontal stress. σ'_h was rewritten in terms of σ'_v using coefficient of lateral earth pressure at rest, K_0 . σ'_v was defined from Equation (8).

$$\sigma'_v = (\rho - \rho_w)gz \quad (8)$$

where $\rho = 1.96 \text{ t/m}^3$, $\rho_w = 1.0 \text{ t/m}^3$, and g is the gravity load.



KOCAELİ İZMİT İLÇESİ'NDE PARTİKÜL MADDE (PM_{2.5}) KONSANTRASYON SEVİYELERİ, MEKÂNSAL VE MEVSİMSSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Süheyla ÖZTÜRK¹, Deniz GERÇEK², İsmail Talih GÜVEN³, Eftade O. GAGA⁴, Özlem ÖZDEN ÜZMEZ⁵, Mihriban CİVAN^{6*}

^{1,6} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

² İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir, Türkiye

³ Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

^{4,5} Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Partikül Madde,
İnce Partikül,
Mevsimsel Değişim,
Mekânsal Dağılım,
İzmit.*

Öz

İzmit İlçesi'nde yaz (Temmuz 2018 - Eylül 2018) ve kış mevsimlerinde (Kasım 2018 - Ocak 2019) yüksek hacimli örnekleyici kullanılarak partikül madde (PM_{2.5}) derişimleri ölçülmüştür. Mekânsal dağılımdaki farklılığı belirlemek için 14 noktada numune toplanmıştır. PM_{2.5} numuneleri, 24 saat boyunca 1,13 m³/dk bir akış hızında kuvars filtre kağıdı kullanılarak toplanmıştır. 14 örnekleme noktası için yaz ve kış mevsimleri ortalama PM_{2.5} konsantrasyonu sırasıyla 22,11 ± 4,30 µg/m³ ve 45,44 ± 18,71 µg/m³ olarak ölçülmüştür. PM_{2.5} en yüksek ve en düşük konsantrasyonlarına kış aylarında rastlanmıştır. Kış aylarında Sepetçiler, Yeşilova, 28 Haziran, Kabaoğlu örnekleme alanlarında ölçülen konsantrasyonların yaz aylarında ölçülen konsantrasyonlardan düşük olduğu belirlenmiştir. Mekânsal dağılıma göre 28 Haziran Mahallesi'nde en düşük kirlilik gözlemlenirken, Cedit Mahallesi'nde ve Sanayi Mahallesi'nde en yüksek kirlilik gözlemlenmiştir. Bu bölgelerin, kentsel ve trafik kaynaklı diğer bölgelere göre farklı kirlilik kaynaklarından etkilendiği belirlenmiştir. K/Y oranı 28 Haziran Mahallesi, Yeşilova Mahallesi ve Sepetçiler Mahallesi'nde toprak kaynağı nedeniyle 1'in altında, Kabaoğlu Mahallesi'nde 1 ve diğer örnekleme alanlarında ısıtma amaçlı fosil yakıt kullanımına bağlı 1'in üzerinde olduğu belirlenmiştir.

PARTICULATE MATTER (PM_{2.5}) CONCENTRATION LEVELS, SPATIAL AND SEASONAL EVALUATION IN KOCAELI IZMIT DISTRICT

Keywords

*Particulate Matter,
Fine Particle,
Seasonal Variation,
Spatial Distribution,
Izmit.*

Abstract

Particulate matter (PM_{2.5}) concentrations were measured by using a high volume sampler in summer (July 2018 - September 2018) and winter seasons (November 2018 - January 2019) in Izmit Country. Samples were collected at 14 points to determine the discrepancy in spatial distribution. PM_{2.5} samples were collected using a quartz filter at a flow rate of 1.13 m³ min⁻¹ for 24 hours. The mean concentration of PM_{2.5} in the summer and winter seasons for the 14 sampling points was measured as 22.11 ± 4.30 µg m⁻³, 45.44 ± 18.71 µg m⁻³, respectively. The highest and lowest concentrations of PM_{2.5} were found in the winter season. It was determined that the concentrations measured in the sampling areas of Sepetçiler, Yeşilova, 28 Haziran and Kabaoğlu during the winter months are lower than the concentrations measured in the summer months. According to the spatial distribution, the lowest pollution was observed in the 28 Haziran District, while the highest pollution was observed in the Cedit District and the Sanayi District. It has been determined that these regions are affected by different sources of pollution compared to other urban and traffic-related regions. It has been determined that the K/Y ratio is below 1 in 28 Haziran District, Yeşilova District and Sepetçiler District due to soil resource, 1 in Kabaoğlu District and above 1 due to the use of fossil fuels for heating in other sampling areas.

* İlgili yazar / Corresponding author: mihriban.civan@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-31-89

Alıntı / Cite

Öztürk, S., Gerçek, D., Güven, İ.T., Gaga, E.O., Özden Üzmez, Ö., Civan, M., (2021). Kocaeli İzmit İlçesi'nde Partikül Madde (PM_{2.5}) Konsantrasyon Seviyeleri, Mekânsal ve Mevsimsel Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 809-821.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Öztürk, 0000-0002-8013-8020
D. Gerçek, 0000-0003-4818-9802
İ.T. Güven, 0000-0002-1048-3494
E.O. Gaga, 0000-0003-3182-9340
Ö. Özden Üzmez, 0000-0003-4310-788X
M. Civan, 0000-0002-2966-3188

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.03.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.06.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda hızla artan sanayileşme, nüfus artışı ve yoğun trafik atmosferde partikül madde konsantrasyonunda artışa neden olmuş ve bu artış önemli sağlık problemlerini ve çevresel sorunları beraberinde getirmiştir (Şahin vd., 2012; Tiwari vd., 2015; Shahid vd., 2016; Bozkurt 2018; Xu vd., 2017; Tepe ve Doğan, 2019). Bazı gelişmekte olan ülkelerdeki ortalama partikül madde seviyeleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) hava kalitesi yönerge seviyelerinden 4-15 kat daha yüksektir (Yalçın vd., 2021). Atmosferik partikül maddeye olan mevcut ilgi, esas olarak insan sağlığı üzerindeki kanıtlanmış etkisi ve iklim değişikliğindeki rolünden kaynaklanmaktadır (Koçak, 2018). Hem insan sağlığını hem de çevreyi korumak için, kirletici emisyonlarla kaynağında azaltmak ve yerel, ulusal ve uluslararası düzeylerde etkili önlemler belirlemek ve uygulamak önemlidir (Aldabe vd., 2011).

Havadaki partiküllerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, partiküllerin kaynağına bağlı olarak değişmektedir. Partiküllerin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve azaltmak için kimyasal bileşimlerini bilmek önemlidir (Onat vd., 2013). Partikül boyutu, solunum yolundaki partiküllerin birikme yerini belirleyebilir ve ayrıca PM'ye maruz kalmanın tehlikeli etkilerine katkıda bulunan yüzey alanını ve kimyasal bileşimi etkiler (Bayraktar vd., 2010; Yin vd., 2019). Toz, is, duman gözle görülebilecek kadar koyu renkli ve çapları büyük partiküllerden oluşurken; bulut çekirdeği veya bazı zehirli partiküller ancak elektron mikroskopunda görülecek kadar küçük çaplara sahiptir (Karakavuz vd., 2017). İnce (çapı <2,5 µm veya PM_{2.5} olan parçacıklar) ve kaba (2,5 ile 10 µm arasında veya PM_{10-2.5} çapındaki parçacıklar) partiküller farklı kaynaklardan salınmaktadır (Bayraktar vd., 2010). PM, rüzgâr, deniz ve volkanlar gibi doğal kaynaklardan veya yanma, araç emisyonları gibi antropojenik kaynaklı aktivitelerden ortaya çıkmaktadır (Özdemir vd., 2010). Antropojenik kaynaklar ağırlıklı olarak PM_{2.5} oluşumuna neden olurken, mekanik taşıma, kırma faaliyetleri, yerel toprağın yeniden havada asılı halde olması, toz fırtınası ve yol tozları PM₁₀ oluşumunun sebebidir (Bozkurt 2018). Yerel emisyonlarda artış, yol tozunun yeniden havalanması ve durgun meteorolojik koşullar kentsel alanlarda daha yüksek oranda PM_{2.5} oluşumuna yol açan başlıca faktörlerdendir (Szigeti vd., 2013). PM_{2.5}'in izlenmesi, düzenlenmesi ve değerlendirilmesi daha yaygın hale geldikçe, farklı boyut aralıklarındaki parçacıkların sağlık üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelik çalışmalar ortaya çıkmaktadır (Yin vd., 2019).

Atmosferik kirliliğe hem kısa hem de uzun süreli maruz kalmanın kalp ve solunum yolu hastalıkları riskini artırdığı bilinmektedir (Gaga vd., 2018). Dünya Sağlık Örgütü Hava Kalitesi Yönergesine göre nüfusun %70-90'ı yıllık ortalama 10 µg/m³'ün üzerinde PM_{2.5} konsantrasyonlarına maruz kalmaktadır (Karacı, 2018). Partiküllerin yarattığı sağlık etkileri ile ilgili çalışmaların birçoğu, şehir merkezinde yapılan dış ortam ölçümlerine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir (Karakavuz vd., 2017). Dış ortamdan iç ortama geçen kirleticiler, kapalı ortamları insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen bir ortama dönüşmektedir (Yurdakul vd., 2019). Yollardan solunabilir partikül madde emisyonlarına maruz kalmanın insan sağlığına zararlı olduğu ve solunum yolu hastalıkları riskini artırdığı belirtilmiştir (Onat vd., 2013). Parçacıkların, kanserojenliği ve toksisitesi potansiyel sağlık risklerine neden olan ağır metaller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) açısından zengin olduğu gösterilmiştir (Gaga vd., 2018).

Kentsel alanlar, rüzgâr hızındaki düşüş ile kirletici maddeler biriktiren ve bunların dağılmasını engelleyen meteorolojik ve topoğrafik faktörlerin etkisiyle de yoğun kirliliğe neden olmaktadır. Bu nedenle, kent atmosferinde partikül maddenin kimyasal bileşimindeki zamansal ve mekânsal değişkenliği incelemek önemlidir (Rengarajan vd., 2011). Kirlilik, kentsel alanlarda birkaç yüz kat daha fazladır (Trusz vd., 2020). Kentsel kirlilik genellikle mineral tozu, yanma işlemleri, kükürt dioksit (SO₂), nitrojen oksitler, amonyak, uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve karbondan (siyah ve organik) oluşan kaba ve ince partikül maddelerden oluşur (Miranda vd., 2012).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) dış ortam hava kirliliğini grup 1 kanserojen olarak sınıflandırmıştır. Partikül maddenin de ayrıca tek başına kansere neden olduğu kabul edilerek grup 1'e eklenmiştir. IARC, dışarıdaki hava kirliliğinin akciğer kanserine ve mesane kanseri riskinin artmasına neden olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle, kent atmosfer havasını iyileştirmeye yönelik önlemlerin alınması için mevcut hava kalitesinin değerlendirilmesi

ve güvenilir emisyon envanterlerinin belirlenmesi gereklidir (Gaga vd., 2018). Hava kalitesi, gelişmekte olan ülkelerdeki en önemli endişelerden biridir. Gelişmiş ülkelerin çoğunda hükümet tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyon ağları bulunmaktadır. Son birkaç yıldaki hızlı sosyal ve ekonomik gelişmenin ardından, partikül maddenin kentsel ve endüstriyel bölgelerdeki temel bileşiminin belirlenmesi Türkiye'de de önemli hale gelmiştir (Kara vd., 2015). Hızla gelişen diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de, iyileştirilmiş hava kalitesi yoluyla halk sağlığı ve sosyo-ekonomik faydalar sağlanabilir. PM konsantrasyonlarının kaynaklarının daha iyi anlaşılabilmesi için mevcut kirliliğin belirlenmesi ve hava kalitesi yönetimi faaliyetlerinin artırılması çok önemlidir (Kendall vd., 2011). Türkiye'de 81 ilin tamamında nitrojen oksit (NO_x), partikül madde (PM_{10}) ve kükürt dioksit (SO_2) ölçümü yapan ortam hava kalitesi izleme istasyonları bulunmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen çevrimiçi cihazlarla sürekli olarak ölçüm yapılmaktadır (Gaga vd., 2012).

Potansiyel sağlık ve çevre etkilerinden dolayı dünyanın birçok bölgesinde PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonlarının sınır değerleri yönetmeliklerle belirlenmiştir (Özdemir vd., 2010; Dursun 2017). Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 21 Mayıs 2008 yılında dış ortam hava kalitesi için hazırlanmış olduğu 2008/50/EC numaralı direktifinde günlük ve yıllık PM_{10} standartları sırasıyla $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve yıllık $\text{PM}_{2.5}$ standardı ise $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirtilmiştir (EEA, 2020). Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) günlük ve yıllık $\text{PM}_{2.5}$ standardını sırasıyla $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve günlük PM_{10} standardını $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlemiştir (WHO, 2005). Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen günlük ve yıllık $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} sınır değerleri ise sırasıyla $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür (WHO, 2005). AB aday ülkesi olarak Türkiye, AB Direktiflerinde belirtildiği gibi hava kalitesi standartlarına ulaşmaya çalışmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, hava kalitesi mevzuatının AB ile uyumlaştırılması için 2024 yılına kadar kirlenme kriterlerine ulaşılmasını hedefliyor (Zeydan ve Wang, 2019). Türkiye'de kurulan hava kalitesi izleme istasyonlarından 257 adedinde PM_{10} ölçümü yapılırken sadece Ankara'da bulunan ve Marmara bölgesinde yeni kurulan istasyonlardan birkaçı $\text{PM}_{2.5}$ ölçmektedir. Türkiye'nin diğer bölgelerinde $\text{PM}_{2.5}$ seviyelerinin tespiti yapılmamaktadır. Ayrıca, Hava Kalitesi Mevzuatında ve Hava Kalite İndeksinde de $\text{PM}_{2.5}$ için standart bulunmamaktadır (Zeydan ve Wang, 2019). 6 Haziran 2008 tarihli Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (HKDY) günlük ve yıllık PM_{10} sınır değerleri sırasıyla $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tanımlanmıştır (TMMOB, 2019).

Kocaeli ilinde önceki yıllarda yapılan çalışmalar bu bölgede hava kirliliği probleminin önemli çevre sorunlarından biri olduğunu göstermektedir. Bölgede yaşayan halkın günlük aktiviteleri sırasında maruz kaldığı kirlenme seviyelerinin belirlenmesi gerek bölge halkının sağlık risklerinin gerekse de gelecekte yapılacak olan planlamaların seyri açısından son derece önemlidir.

Bu çalışmada, Kocaeli ili, İzmit ilçesinde 2018-2019 yıllarında 14 örnekleme noktasında yaz ve kış dönemi $\text{PM}_{2.5}$ örnekleme yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, atmosferik $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarını ölçmek, mevsimsel ve mekânsal değişimlerini değerlendirmektir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bozkurt (2018) Türkiye'de beş ayrı şehir için yaptığı çalışmada kentsel alanlarda konsantrasyonların kış mevsiminde, kırsal istasyonlarda ise yaz mevsiminde arttığını ve $\text{PM}_{2.5}$ boyutundaki kirlenmelerinin özellikle kış mevsiminde baskın olduğunu belirlemiştir. Kirlenme konsantrasyonları ile rüzgâr hızı arasındaki negatif korelasyonun, rüzgâr hızının artması ile konsantrasyonların azaldığını gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca sıcaklık ile kirlenme konsantrasyonları arasındaki zayıf negatif korelasyonun, sıcak mevsimlerde ısınma kaynağının olmamasına bağlı olarak konsantrasyonların azalması ile ilişkili olabileceğini tespit etmiştir.

Dursun (2017) Selçuk Üniversitesi kampüsünde yaptığı çalışmada, $\text{PM}_{2.5}$ ölçüm sonuçlarına göre özellikle kış mevsiminde ve trafiğin yoğun olduğu saatlerde yapılan ölçümlerde partikül madde konsantrasyonunun yüksek olduğunu belirlemiştir. Oluşturduğu kirlilik dağılımı haritalarına göre kampüs giriş kapılarında özellikle sabah saatlerinde ve akşam saatlerinde kirliliğin insan faaliyetleri nedeniyle yoğun olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca kirlilik dağılımı haritasıyla yaz mevsiminde kış mevsimine göre azalan fosil yakıt kullanımına bağlı olarak daha düşük konsantrasyonlar gözlemlendiği, ilkbahara göre ölçüm yapılan dönemde araç trafiğine bağlı olarak biraz daha yüksek konsantrasyonlar gözlemlendiği bildirilmiştir.

2003-2007 yılları arasında Beyrut'ta $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonları uzun vadeli değerlendirilmiştir. Dört yıllık $\text{PM}_{2.5}$ ortalama konsantrasyonları WHO $\text{PM}_{2.5}$ sınır değerlerinin aşıldığını ortaya koymuştur. $\text{PM}_{2.5}$ 'in kütle konsantrasyonlarının dört yıllık bir süre içinde önemli ölçüde değişmediği tespit edilmiştir. Yaz aylarında, artan nem, fotokimyasal olarak indüklenen ikincil PM ve uzun mesafeli kükürt taşınmasının bir sonucu olarak ince partikül seviyelerinin arttığı görülmüştür. Bölgede ayrıca düşük yağışlar, sonbaharda toz fırtınası faaliyetlerinin ve yaz aylarında deniz ve kara meltemlerinin artmasına neden olmuştur. Trafik faaliyetlerindeki artış sonbahar ve

yaz aylarında diğer mevsimlerin genel ortalamaların daha yüksek konsantrasyonlara neden olmuştur (Saliba vd., 2010).

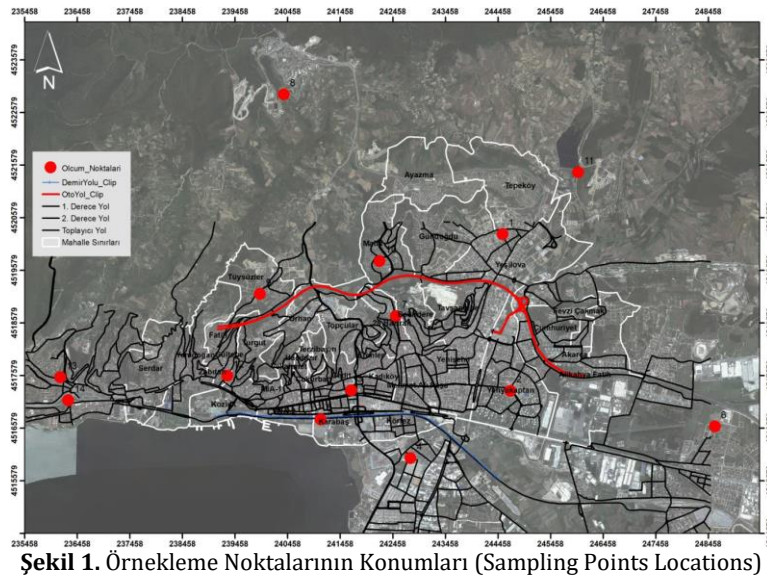
Huang vd. (2015), Chengdu'daki beş hava kalitesi izleme istasyonunda en yüksek PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının kış ve ilkbaharda gözlemlendiğini bulmuştur. İlkbaharda meydana gelen toz fırtınası olayları sırasında kaba partikül kütlelerinin, sonbaharda ise biyokütle yanma olayları sırasında ince partikül kütlelerinin hızla arttığı bildirilmiştir. PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının önceki çalışmalarda bildirilenden açıkça daha düşük olmasına rağmen, yaptıkları çalışmadaki ortalama PM_{2.5}/PM₁₀ oranı daha yüksektir, bu da PM_{2.5} kirliliğinin daha ciddi hale geldiğini göstermiştir. Mekânsal dağılıma bakıldığında yoğun trafik akışına sahip kentsel ana caddeden yaklaşık 200 m uzaklıkta yer alan ve çalışma süresi boyunca çevresinde birçok inşaat faaliyeti yürütülmüş olan örnekleme alanında konsantrasyonların araç emisyonlarından, yol tozundan ve çimento tozundan etkilendiği ve yüksek olduğu gösterilmiştir. Nispeten daha düşük trafik akışı ve çevresinde daha az bina olan örnekleme alanı araç egzozlarından daha az etkilenmesine bağlı olarak daha düşük konsantrasyonlar göstermiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Örnekleme Sahası (Sampling Site)

Kocaeli ili; yüzölçümü olarak en küçük 8. il olmasına rağmen İstanbul'dan sonra 2. en yoğun nüfusa sahip olması, Avrupa ve Asya'yı birbirine bağlayan kara ve deniz yollarının üzerinde olması ve ülke imalat sanayinde %13'lük paya sahip olması nedeniyle ciddi çevre sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Çalışma alanı olan İzmit ilçesi daha çok yerleşim bölgesi olsa da önemli emisyon kaynaklarına oldukça yakındır. İzmit ilçesinde en temel hava kirliliği emisyon kaynakları ilçe sınırlarında bulunan otomotiv, sunta, atık yakma tesisi, lastik fabrikaları, TEM ve E-5 otonanlarından kaynaklı araç emisyonları ve İzmit'e yakın çevresinde bulunan rafineri, kimyevi endüstriler, küçük sanayi, limandan kaynaklı emisyonlar olarak sıralayabiliriz. İzmit'te Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi ve Kocaeli-Alikahya Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. Hava kirliliği, su veya katı atık kirliliği gibi sadece kirliliğin kaynaklandığı çevreyi etkilemez, meteoroloji ve kirleticinin kimyasal özelliklerine bağlı olarak uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bu sebeple İzmit ilçesi için hava kirliliği değerlendirilmesi yaparken sadece İzmit ilçe sınırlarında bulunan kaynaklar değil Kocaeli ilinde bulunan kirleticili kaynakları göz önüne alınmıştır. Kocaeli ilinde örnekleme yılı olan 2018 ve 2019 yılları için yıllık ortalama sıcaklık 14,8 °C, güneşlenme süresi 67,6 sa. yağışlı gün sayısı 131,5 gün ve yağış miktarı 816,4 mm'dir (MGM, 2020).

Çalışma alanında seçilen örnekleme noktaları yakın oldukları emisyon kaynaklarına göre sınıflandırılmıştır. E5, TEM veya ana cadde üzerinde olan örnekleme noktaları "trafik kaynaklı alanlar", fabrika veya trafiğe yakın olmayan ve yerleşimin yoğun olduğu örnekleme noktaları "kentsel alanlar", herhangi bir kaynağa yakın olmayan ve yerleşimin az olduğu örnekleme noktaları "kırsal bölge" olarak tanımlanmıştır. Yaz örnekleme 04 Temmuz 2018 - 09 Eylül 2018 ve kış örnekleme 28 Kasım 2018 - 15 Ocak 2019 tarihleri arasında tamamlanmıştır. Her örnekleme noktasında 2 gün hafta içi ve bir gün hafta sonu örnekleme olacak şekilde toplam 3 örnekleme yapılmıştır. Her noktanın değeri bu üç örnekleme sonucunun ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İki örnekleme ile iki noktada paralel örnekleme yapılmıştır. Örnekleme noktalarının konumları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Örnekleme Noktalarının Konumları (Sampling Points Locations)

3.2. PM_{2.5} Örnekleme (PM_{2.5} Sampling)

Kocaeli merkez ilçesi olan İzmit'in PM_{2.5} kirliliğinin mekânsal dağılımını değerlendirmek için kent merkezinde bulunan noktalar "kentsel örnekleme noktası", yol kenarı örnekleme noktaları "trafik örnekleme noktası" ve bütün kirlilik kaynaklarından uzak olan noktalar ise "kırsal örnekleme noktası" olarak tanımlanmıştır. Her örnekleme noktasında 2 gün hafta içi ve bir gün hafta sonu olmak üzere toplam 3 örnekleme yapılmıştır. Mekânsal dağılım haritası oluşturmak için iki ayrı örnekleme ile paralel örneklemler yapılmıştır. Toplamda yaz ve kış dönemleri için 7 hafta boyunca örnek toplanmıştır.

PM_{2.5} numuneleri, 1,13 m³/dk'lık bir akış hızında PM_{2.5} Yüksek Hacimli Hava Örnekleme Cihazı (Thermo Scientific) kullanılarak quartz filtrelerde (203 mm x 254 mm, PALL TissuQuartz) 24 saat boyunca toplanmıştır. Filtrenin üzerinde bulunabilecek kirliliklerden arındırmak için filtreler kullanılmadan önce kül fırınında 5 saat boyunca 500 °C'de şartlandırılmıştır. Tartılmadan önce, boş filtreler kütle konsantrasyonunun dengesini sağlamak için desikatörde 24 saat boyunca şartlandırılmıştır. Kalibrasyonu kontrol edilmiş 5 basamaklı terazi (Sartorius SECURA224-1S) ile tartılmıştır. Filtreler örneklemeden önce kaba filtreye sarılıp hava geçirmeyen zip poşetler içerisinde araziye götürülmüş ve örnekleme yapılmıştır. Örnekleme tamamlandıktan sonra filtreler aynı koşullar altında laboratuvara götürülmüştür. Filtreler değişken nem ve sıcaklığa maruz kaldığından dolayı tekrar şartlandırma yapılmıştır. Şartlandırma işlemi tamamlandıktan sonra sabit tartıma gelmesi beklenmiş ve son tartımı yapılmıştır. Arazi şahidi olarak kullanılan filtre aynı şekilde hazırlanmış ve örnekleme cihazında pompa çalıştırılmadan 10 dakika bekletilmiştir. Arazi şahidi örneklerle birlikte aynı şekilde şartlandırılarak tartımı yapılmıştır. Çalışmada filtreler üzerine günlük toplanan PM_{2.5} kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak analiz edilmiştir. Şartlandırma işlemleri en hassas şekilde yapılmış, ilk ve son şartlandırma arasındaki kütle farkı örnekleme süresince sistemden geçen hava akış miktarına bölünerek PM_{2.5} konsantrasyonları Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{PM2.5} = \frac{m_s - m_i}{V} \quad (1)$$

$C_{PM2.5}$: PM_{2.5} atmosferik konsantrasyonu (µg/m³)

m_s : Filtrenin örnekleme sonrası son tartımı (µg)

m_i : Filtrenin örnekleme öncesi ilk tartımı (µg)

V : 24 saat boyunca filtreden geçen hava hacmi (m³) (akış kartı ile düzeltilmesi yapılmış)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. PM_{2.5} Konsantrasyonları ve Mekânsal Dağılımları (PM_{2.5} Concentrations and Spatial Distributions)

Örnekleme yaz ve kış örnekleme olarak 2 dönemde ve 14 örnekleme noktasında gerçekleştirilmiş ve yaz dönemi (49 örnek) kış dönemi (44 örnek) toplam 93 örnek toplanmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen yaz, kış ve ortalama yıllık PM_{2.5} konsantrasyon değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

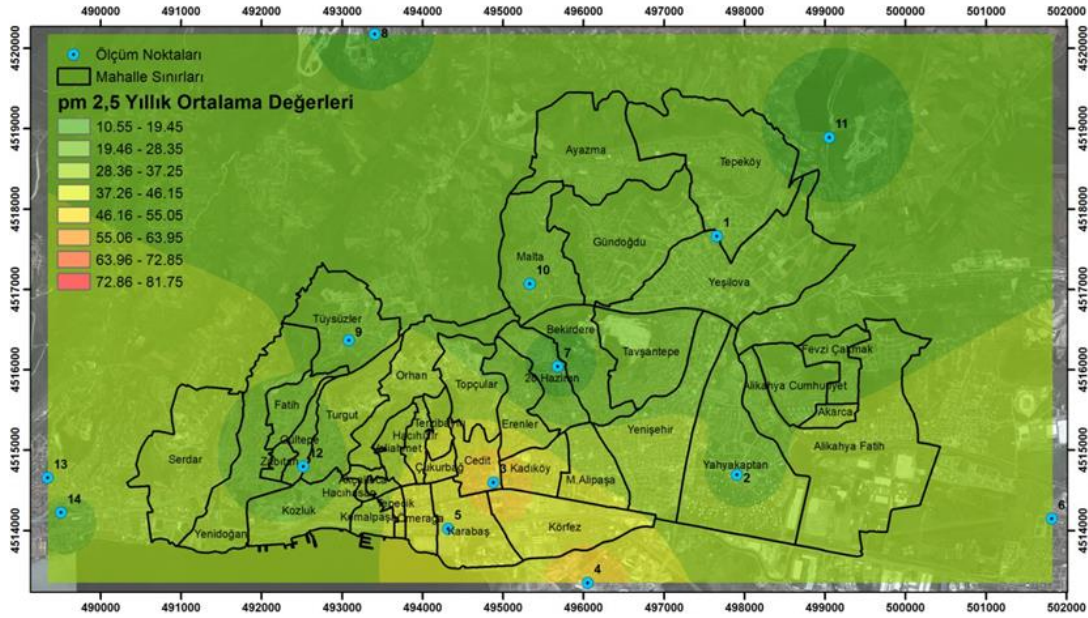
Tablo 1. PM_{2.5} Mevsimsel ve Yıllık Ortalama Konsantrasyonları, µg/m³ (Seasonal and Annual Average Concentrations of PM_{2.5}, µg m⁻³)

Örnekleme Yeri	Örnekleme Yeri Özelliği	Örnekleme No	Yaz Dönemi Ortalama ± Std. Sapma	Kış Dönemi Ortalama ± Std. Sapma	Yıllık Ortalama ± Std. Sapma
Sepetçiler Mahallesi	Kentsel	11	20,08 ± 3,14	16,80 ± 4,05	18,44 ± 3,71
Yeşilova Mahallesi	Kentsel	1	28,27 ± 1,35	18,20 ± 5,16	23,24 ± 5,92
28 Haziran Mahallesi	Kentsel	7	19,00 ± 4,82	10,55 ± 1,82	14,78 ± 5,44
Gültepe Mahallesi	Kentsel	12	17,24 ± 7,56	32,94 ± 8,11	25,09 ± 11,12
Sanayi Mahallesi	Kentsel	4	18,88 ± 8,24	81,75 ± 60,09	50,32 ± 53,60
Cedit Mahallesi	Trafik	3	30,95 ± 1,79	176,24 ± 57,56	103,60 ± 86,16
Karabaş Mahallesi	Trafik	5	27,57 ± 1,68	55,99 ± 42,81	41,78 ± 30,50
Tüysüzler Mahallesi	Kentsel	9	16,23 ± 2,45	39,59 ± 25,62	27,91 ± 20,23
Kabaoğlu Mahallesi	Kırsal	8	20,28 ± 6,64	20,22 ± 13,88	20,25 ± 9,31
Köseköy Dumlupınar Mahallesi (KD)	Kentsel	6	30,91 ± 6,74	42,19 ± 2,30	36,55 ± 8,50
Malta Mahallesi	Kentsel	10	17,12 ± 2,75	28,37 ± 9,65	22,74 ± 8,88
Yahyakaptan Mahallesi	Kentsel	2	18,93 ± 3,54	36,17 ± 8,89	27,55 ± 11,00
Kuruçeşme Kocatepe Mahallesi (KK)	Kentsel	13	22,79 ± 5,86	43,05 ± 16,1	32,92 ± 15,70
Yeni Mahallesi	Trafik	14	21,31 ± 3,70	34,16 ± 5,88	27,73 ± 10,60
Ortalama			22,11 ± 4,30	45,44 ± 18,71	33,78 ± 23,09

14 noktanın PM_{2.5} ortalama konsantrasyonu $33,78 \pm 23,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Örnekleme boyunca en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonu kentsel kirlilik kaynaklı Sanayi Mahallesi'nde ($50,32 \pm 53,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlenmiştir. Trafik kaynaklı alanlardan Cedit Mahallesi'nde en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonu ($103,6 \pm 86,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) görülmektedir. Kırsal bölge olan Kabaoğlu Mahallesi'nin PM_{2.5} konsantrasyonu $20,25 \pm 9,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

Yaz dönemi kentsel, trafik ve kırsal kirlilik kaynaklarına göre en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları sırasıyla Köseköy Dumlupınar Mahallesi ($30,91 \pm 6,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cedit Mahallesi ($30,95 \pm 1,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Kabaoğlu Mahallesi ($20,28 \pm 6,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlenmiştir. Kış dönemi kentsel, trafik kirlilik kaynaklarına ve kırsal bölgeye göre en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları sırasıyla Sanayi Mahallesi ($81,75 \pm 60,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cedit Mahallesi ($176,24 \pm 57,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Kabaoğlu Mahallesi ($20,22 \pm 13,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ölçülmüştür.

Yıllık ortalama konsantrasyonların mekânsal dağılımları Şekil 2'de gösterilmiştir. Haritalandırma ArcGIS ile yapılmış olup Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW- Inverse Distance Weighted) teknik kullanılmıştır. IDW yöntemi, yakındaki ağırlıklı konumlardan alınan değerleri kullanarak örneklememiş konumlar için ortalama bir değer hesaplamada kullanılır. Ağırlıklar, örneklelenen noktaların örneklelenmemiş konuma yakınlığı ile orantılıdır. IDW enterpolasyon tekniği ölçülen her noktanın mesafe ile azalan yerel bir etkiye sahip olduğunu varsayar (Zengin Kazancı ve Tanır Kayıkçı, 2015). Oluşturulan kirlilik dağılım haritasına göre 28 Haziran Mahallesi ($14,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (7), Sepetçiler Mahallesi (11) ($18,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Kabaoğlu Mahallesi (8) ($20,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en düşük kirlilik gözlemlenirken Cedit Mahallesi (3) ($103,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Karabaş Mahallesi (5) ($41,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Sanayi Mahallesi (4) ($50,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kirliliğin yoğun olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle trafik kirlilik kaynaklı Cedit Mahallesi ve kentsel kirlilik kaynaklı Sanayi Mahallesi en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu iki noktanın diğer kentsel ve trafik alanlarından yüksek olması farklı kaynakların etkileri olduğunu göstermektedir. Cedit Mahallesi trafik kaynağının yanında ısınma amaçlı kömür/odun kullanımının yoğun olduğu Santral Mahallesi'ne yakın olması, Sanayi Mahallesi ise kentleşmenin yanında küçük sanayi bölgesine yakın olması yüksek kirlilik konsantrasyonlarına neden olabilir.



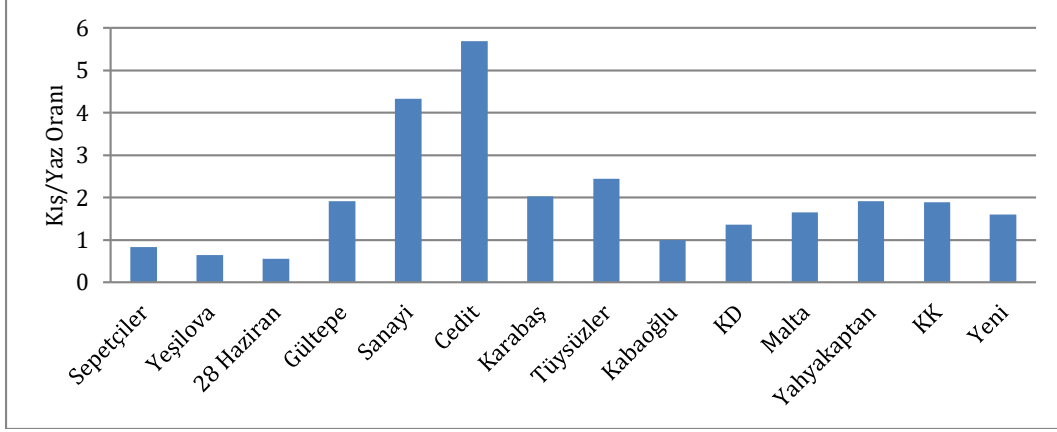
Şekil 2. PM_{2.5} Kirliliğinin Çalışma Bölgesi Mekânsal Dağılım Haritası (Spatial Distribution Map of PM_{2.5} Pollution in the Study Area)

4.2. PM_{2.5} Mevsimsel Değişimi (PM_{2.5} Seasonal Variation)

Örnekleme noktalarındaki sıcaklık kış örnekleme döneminde 3-8 °C arasında yaz örneklemesinde ise 22-26 °C arasında ölçülmüştür. Yaz ve kış döneminde ölçülen PM_{2.5} konsantrasyonlarının kış ve yaz (K/Y) oranları Şekil 3'te sunulmuştur.

PM_{2.5} kirliliğinin kış/yaz oranları 0,56-5,69 arasında değişmektedir. 28 Haziran Mahallesi, Yeşilova Mahallesi ve Sepetçiler Mahallesi'nde K/Y oranının 1'in altında olduğu gözlemlenmiştir. Atmosfere aynı miktarda kirlilik atılsa bile yaz ayında karışım yüksekliğindeki artış doğal bir seyrelmeye sebep olacağı için K/Y oranının 1 olması bile aslında yaz örneklemesinde daha fazla kirlilicinin atmosfere salındığını göstermektedir (Yurdakul vd., 2013). Bu oranın 1'in altında olması ise bu örnekleme noktalarında yaz dönemi PM_{2.5} konsantrasyonlarının çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yaz döneminde kış dönemine göre yüksek konsantrasyonlar toprak kaynaklı partiküle

bağlanabilir. Sepetçiler Mahallesi kırsal sayılabilecek ve toprak yolun olduğu bir alandır. Bu noktada yaz konsantrasyonunun yüksek çıkması bölgede gerek örnekleme alanında kamyonların yollardan tozun süspanses olmasına neden olması ile gerekse yaz dönemi boyunca tarımsal faaliyetlerin artması nedeniyle açıklanabilir. Ayrıca mevsimsel nem artışı ile ikincil kirletici oluşumundaki reaksiyonlar artmakta gaz fazındaki kirletici konsantrasyonları partikül faza geçerek PM_{2.5} konsantrasyonunu artırmaktadır. Yeşilova Mahallesinde örnekleme İzmit Park ve Bahçeler Müdürlüğü bahçesinde yapılmış olup, yaz döneminde örneklemeden önce toprağın ıslatılarak süspanses olması engellenmeye çalışılmış olsa bile bahçe tozunun süspanses olması nedeniyle konsantrasyonun yüksek çıkmasına etki etmiştir. Örnekleme döneminde rüzgâr hızının düşük olması süspanses olan tozun taşınmadan kaynaktan kalmasını sağlayarak kirliliğin artmasına neden olur (Akyüz ve Çabuk, 2008; İmal vd., 2013; Qing Wang vd., 2016; Kalisa vd., 2019).



Şekil 3. PM_{2.5} Konsantrasyonlarının K/Y Oranı (K/Y Ratio of PM_{2.5} Concentrations)

Kabaoğlu Mahallesinde K/Y oranının 1 olması yaz ve kış dönemi konsantrasyonlarında bir farklılık gözlemlenmediğini göstermektedir. Kırsal istasyonlarda yaz mevsiminde tarımsal faaliyetlerin artması ve buna bağlı olarak anız vb. atıkların yakılmasıyla partikül konsantrasyonlarında artış yaşanabilir. Ayrıca ölçümün yapıldığı kampüs alanında kullanılan özel araçlar yaz mevsiminde büyük katkı sağlarken, kış mevsiminde ısınma kaynaklı yakılan fosil yakıtlar konsantrasyon artışına neden olmuştur. Örnekleme noktasına yakın yapılan inşaat faaliyeti de (Kocaeli Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Ek Bina inşaatı) konsantrasyonların artmasına katkı sağlamıştır.

K/Y oranının 3'ün üstünde olduğu iki noktanın (Sanayi ve Cedit Mahallesi) kış mevsiminde diğer noktalara göre daha yüksek konsantrasyonlarda ölçülmesinin nedeni kış ayında ısınma amaçlı olarak kullanılan yakıt türlerinden kaynaklıdır. Ayrıca yaz mevsiminde kaba biyojenik tozların (polen vb.) oluşması bu mevsimde daha düşük ince partikül konsantrasyonlarına neden olur (Gehrig ve Buchmann, 2013). Sanayi Mahallesinde Körfez Küçük Sanayi Sitesi bulunmaktadır ve yine burada ki dükkanlarda ısınmak için odun/kömür yakılmaktadır. Odun/kömür ile ısınmadan doğalgazla ısınmaya geçişle partikül madde konsantrasyonunda, her kış sezonunda bir önceki sezona göre %37'lik bir azalma görülmüştür (Yazıcı vd., 2010). Kocaeli iline bakıldığında 2013 yılından 2019 yılına konutlarda doğalgaz aboneleri %26,43 artarken, PM konsantrasyonunda aynı dönemlerde %36,17 azalma görülmüştür. İzmit ilçesinde her ne kadar doğalgaz kullanımı artmış olsa da, altyapı problemi nedeniyle ısıtma amaçlı kömür/odun kullanımına devam eden mahalleler vardır. Bunlardan birisi Cedit Mahallesi'dir. Burada odun/kömür ile ısınma oldukça yaygındır. Bu sebeple Cedit Mahallesi PM konsantrasyonu kış mevsiminde oldukça yüksek ölçülmüştür. Ayrıca Cedit Mahallesinin hem yaz hem de kış mevsiminde en yüksek partikül konsantrasyonuna sahip olması, örnekleme noktasının trafiğin yoğun olduğu bir caddenin yakınında olmasına bağlanabilir.

K/Y oranının 2,44 olduğu Tüysüzler Mahallesi ise müstakil evlerin yoğunlukta olduğu ve şöminenin yaygın olarak kullanıldığı bölgedir, bu sebeple odun emisyonlarından kaynaklı PM konsantrasyonlarında artış yaşanmıştır. Özellikle kararlı hava durumlarında bu kaynağın etkisi çok fazla artabilir. Dünya genelinde ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımının PM_{2.5} konsantrasyonunun %62'sinden sorumlu olduğu bildirilmiştir (Dursun, 2017).

K/Y oranının 1-2 arasında olan noktalar ise Köseköy Dumlupınar (1,36), Yeni (1,6), Malta (1,66), Kuruçeşme Kocatepe (1,89) ve Yahyakaptan (1,91) Mahalleleridir. Rural kent trafiğinin yoğun olduğu ve doğal gaz ile ısınmanın olduğu bölgelerdir. Kış mevsiminde artan trafik yoğunluğu bu bölgeler için PM kirletici kaynağı olabilir. Ancak büyük endüstrilere yakın olan Köseköy Dumlupınar noktasında K/Y oranının 1,36 hesaplanması yaz ve kış aylarında PM_{2.5} aynı ölçüldüğünü göstermektedir. Bu sebeple Köseköy civarındaki Organize Sanayi Bölgesi,

otomotiv fabrikaları, sunta fabrikası, demir çelik endüstrilerinin yaz ve kış mevsiminde katkılarının aynı olduğu sonucuna varılabilir.

Yol örnekleme olan Yeni Mahalle örnekleme noktasında ise K/Y oranı 1,6 ölçülmüştür. Trafik hem yaz hem de kış mevsiminde partikül konsantrasyon artışına neden olmaktadır. 2019 yılında Körfez-Batı İzmit ve Batı İzmit-Kandıra kesimlerinde günlük (yıllık ortalama) sırasıyla 61.627 ve 50.622 araç geçişi tespit edilmiştir (KGM, 2020). Trafik yoğunluğu yaz mevsiminde, kış mevsimine göre tatillerin etkisi ile ilişkili olarak azalabilmektedir. Kış mevsiminde gişelerden geçen araç sayısının fazlalığı bu artışın sebebi olarak düşünülmüştür.

Rüzgârların Kuzey Afrika'dan Sahra tozlarını taşıma ihtimali vardır ve uzun mesafeler boyunca taşınan PM, genellikle küçük çaplıdır. Sahra Çölünden toz taşınması her mevsim meydana gelebilmesine rağmen, toz etkisi en yüksek ilkbahar (Mart, Nisan, Mayıs) ve sonbahar (Ekim) mevsimlerinde görülmektedir (Agacayak vd., 2015; Şengün ve Kıranşan, 2012; Koçak vd., 2007; Qiaoqiao Wang vd., 2020). Doğu Akdeniz'de yüksek basınç ve Orta Avrupa'da ki alçak basınç Sahra Çöl tozunun Akdeniz üzerinden Türkiye'ye taşınmasına yardımcı olan bir kanal oluşturuyor (Kabatas vd., 2014). Türkiye'de etkili olan çöl tozları genellikle Sahra Çözü ve Arabistan çöllerinden kaynaklanmaktadır. Taşınan tozun %80'e yakını Mart-Nisan ayları içerisinde ve birkaç günlük periyotlar halinde taşınmaktadır (Şengün ve Kıranşan, 2012). Yunanistan'ın başkenti Atina'da yapılan bir çalışma, 2000-2005 yılları arasında yılda 7-20 kez (ortalama 13) toz olayının gerçekleştiğini göstermiştir (Qiaoqiao Wang vd., 2020). Ayrıca yapılan çalışmalar Doğu Akdeniz'e ulaşan hava kütlelerinin %13-16'sının Sahra çölünden geldiğini göstermiştir (Saliba vd., 2010). PM_{2.5} konsantrasyonlarındaki artışta sadece yerel kaynaklı tozların değil aslında uzun mesafeli taşınım sonucunda taşınan tozların etkisinin de olduğu söylenebilir.

4.3. Literatürde Yapılan Çalışmalarla Karşılaştırma (Comparison with the Studies Conducted in Literature)

Bu çalışmada İzmit ilçesinde ölçülen PM_{2.5} seviyelerini dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmaların seviyeleri ile karşılaştırmak için yapılan çalışmaların PM_{2.5} konsantrasyon sonuçları ve bizim ölçtüğümüz değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen kentsel PM_{2.5} ortalama konsantrasyonlarının, Saint-Omer'de (Kuzey Fransa) kentsel alanda yapılan çalışmaya yakın (32,5 µg/m³) (Ledoux vd., 2017), diğer Avrupa ülkelerinde kentsel, kırsal, trafik kaynaklı alanlarda ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu görülmektedir (Aldabe vd., 2011; Szigeti vd., 2013; Boogaard vd., 2011; Eeftens vd., 2012; Mohammed vd., 2017; Pérez vd., 2016; Perrone vd., 2019; Spindler vd., 2010). Asya ülkelerinde kentsel kirlilik kaynaklı yapılan çalışmalara baktığımızda bu çalışmada elde edilen konsantrasyon birçoğundan daha düşük (Tiwari vd., 2015; Shahid vd., 2016; Xu vd., 2017; Rengarajan vd., 2011; Saliba vd., 2010; Choi vd., 2013; Huang vd., 2015; Pipal ve Gursumeeran Satsangi, 2015) bazı ülkelerin kentsel veya kırsal alan konsantrasyonlarına yakın olduğu görülmektedir (Wimolwattanapun vd., 2011; Khodeir vd., 2012; Harrison vd., 2017; Kim vd., 2018). Bu çalışmalardan mevsimsel ölçüm yapan ülkelerin yaz ve kış konsantrasyonlarına bakıldığında bu çalışmanın yaz ve kış konsantrasyonlarının da daha düşük olduğu görülmektedir (Tiwari vd., 2015; Xu vd., 2017; Huang vd., 2015). ABD'de yapılan çalışmaların bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} konsantrasyonlarından çok daha düşük olduğu görülmektedir (Miranda vd., 2012; Gibson vd., 2013; Han vd., 2017; Karnae ve John, 2019). Brezilya'da 6 örnekleme alanında yaz ve kış döneminden gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından São Paulo'da yaz dönemi konsantrasyonu hariç, bu çalışmanın yaz ve kış örnekleme konsantrasyonlarından daha düşüktür (Miranda vd., 2012). Afrika Ülkesi Nijerya'da kentsel alanda yapılan çalışmanın konsantrasyonu bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} ortalama konsantrasyonundan daha düşüktür (Owoade vd., 2016). Türkiye'de yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmada elde edilen ortalama PM_{2.5} konsantrasyonunun birçoğundan daha yüksek (Bayraktar vd., 2010; Bozkurt 2018; Özdemir vd., 2010; Kara vd., 2015; Yatkin ve Bayram, 2008; Tecer vd., 2017; Gül 2020) ve bazılarında düşük olduğu görülmektedir (Bozkurt 2018; Onat vd., 2013; Karakavuz vd., 2017; Szigeti vd., 2013; Kendall vd., 2011; Yatkin ve Bayram, 2008). Bu çalışmada ölçülen yaz dönemi konsantrasyonu kentsel alanda yapılan çalışmaların yaz dönemi konsantrasyonlarının bazılarında yakın (Bozkurt 2018; Gaga vd., 2012; H. Pekey vd., 2015) ve birçoğundan düşüktür (Kara vd., 2015; Gaga vd., 2012; Yatkin ve Bayram, 2008; Gül 2020; B. Pekey vd., 2010). Literatürde yapılan çalışmalar kış dönemi yüksek konsantrasyon ölçülmesinin sebebi olarak ısınma amaçlı odun, kömür yakılması, artan trafik yükü ve enverziyon yüksekliğindeki düşüş olduğunu belirtmiştir (Yurdakul vd., 2013, Huang vd., 2015). Yaz mevsiminde kış mevsimine göre trafik daha fazladır. Mevsimlere göre trafik oranlarının yaz mevsiminde %32,99, kış mevsiminde ise %18,94 olduğu bilinmektedir. Yıllık toplam trafik değerlerine göre, Mart ayında trafik artmaya başlarken, Ağustos ayında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır (KGM, 2009). Örnekleme bölgesinde Yahyakaptan, Köseköy Dumlupınar, Yeşilova, Malta, Yeni, Cedit, Karabaş, Tüysüzler, 28 Haziran mahallerinde daha çok doğal gaz ile ısınma yapılırken bu mahallelere yakın gecekondü bölgelerinde ve Sepetçiler, Kabaoğlu, Gültepe, Sanayi, Kuruçeşme Kocatepe mahallelerinde hala yoğun bir şekilde ısınma amaçlı odun kömür yakılmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada elde edilen kentsel kış dönemi konsantrasyonu diğer çalışmaların

konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur (Bozkurt 2018; Kara vd., 2015; Tecer vd., 2017; B. Pekey vd., 2010; H. Pekey vd., 2015).

Kirlilik değerlendirmesi yapılırken yıl içerisinde sınır değerleri aşan gün sayısının belirlenmesi kirliliğin boyutunun anlaşılabilmesi için önemlidir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde PM₁₀ için sınır değer tanımlanmış olsa da henüz PM_{2.5} için tanımlanmış bir sınır değer mevcut değildir. Bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} konsantrasyonu, AB, USEPA ve WHO tarafından belirlenen yıllık PM_{2.5} sınır değerleri olan 25 µg/m³, 15 µg/m³, 10 µg/m³'den sırasıyla 1.4, 2.3, 3.4 kat daha yüksektir (WHO, 2005; USEPA, 2009; EEA, 2020). Çalışma dönemi boyunca günlük konsantrasyonlarına bakıldığında USEPA ve WHO günlük sınır değerleri sırasıyla %26 ve %52 oranında aşılmıştır. Yaz ve kış dönemi günlük konsantrasyonlarına bakıldığında USEPA ve WHO sınır değerlerinin sırasıyla yaz döneminde %2, %38, kış döneminde %52, %67 oranında aşıldığı belirlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye ve Dünyanın Farklı Ülkelerinde PM_{2.5} Ölçüm Sonuçları, µg/m³ (PM_{2.5} Measurement Results in Turkey and World's Different Countries, µg m⁻³)

Lokasyon	Kirlilik Kaynağı	n	PM _{2.5} ortalama	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kaynak
Türkiye								
Kocaeli, İzmit, 14 Örneklem Alanı	Kentsel, kırsal, trafik	93	33,8		22,2		45,4	Bu Çalışma
İzmir, Tınaztepe	Kırsal	94	24,1		26,5		19,9	(Yatkin ve Bayram, 2008)
İzmir, Yeşildere	Kentsel	50	64,4		52,5		78,6	(Bayraktar vd., 2010)
Erzurum, Karayolları Bölge Müdürlüğü	Kentsel	218	12,67					(Özdemir vd., 2010)
İstanbul, Beşiktaş	Trafik		31,25					(Özdemir vd., 2010)
Kocaeli, 15 Örneklem Alanı	Kentsel, Endüstriyel				23,5		21,8	(B. Pekey vd., 2010)
Bursa, Nilüfer	Kentsel Arka Plan		53					(Kendall vd., 2011)
Eskişehir, E-1	Kentsel				18,6		30,4	(Gaga vd., 2012)
Eskişehir, E-2	Kentsel, Trafik				31,8		59,7	
Eskişehir, E-3	Kırsal				21,1		42,4	
Eskişehir, E-4	Kırsal				24,0		50,5	
İstanbul, Bakırköy	Kentsel	19	40,5					(Onat vd., 2013)
İstanbul, Maslak	Kentsel		40					(Szigeti vd., 2013)
İzmir, Aliağa, Bozköy	Kentsel, Endüstriyel	88	28,3	27,6	29,6	27,1	28,8	(Kara vd., 2015)
Kocaeli, 28 Örneklem Alanı	Kentsel-Endüstriyel				22,0		22,2	(H. Pekey vd., 2015)
Zonguldak, BEÜ Farabi Kampüsü	Evsel		89,07					(Karakavuz vd., 2017)
Zonguldak-Ankara Karayolu	Trafik		79,69					
Zonguldak, Kilimli İlçesi	Endüstriyel		69,02					
Tekirdağ, Çerkezköy	Endüstriyel		21,74		20,21		23,5	(Tecer vd., 2017)
Tekirdağ, Çorlu	Kentsel		23,35		25,42		22,12	
Yalova, Armutlu	Kırsal		19,1	24	17	16	17	(Bozkurt 2018)
Tekirdağ, Çerkezköy	Kentsel-Endüstriyel		26,5	25	18	29	34	
Kocaeli, Kandıra	Kırsal		19	21	19	21	14	
İstanbul, Ümraniye	Trafik		22,2	22	15	34	22	
İstanbul, Silivri	Yarı kırsal		21,1	22	17	23	22	
Edirne, Keşan	Kentsel		58	61	40	63	68	
Tekirdağ, Çerkezköy	Kentsel		22,81					
Avrupa								
Almanya, Melpitz	Kentsel arka plan		17					(Spindler vd., 2010)
Kuzey İspanya, Navarra, Iturrama	Kentsel	15	15,38					(Aldabe vd., 2011)
Kuzey İspanya, Navarra, Plaza de la Cruz	Trafik	17	17,42					
Hollanda, Haarlemmerweg	Kentsel		17,8					(Boogaard vd., 2011)

Tablo 2. Devamı (Continued)

Yunanistan, Atina	Her şehir için bölgesel arka-plan, kentsel arka-plan, trafik kaynaklı noktaların ortalaması alınmıştır.	20	20,9					(Eeftens vd., 2012)
Birleşik Krallık, Manchester		20	9,8					
İtalya, Roma		20	19,8					
Fransa, Paris		20	16					
Norveç, Oslo		20	8,6					
Almanya, Münih		20	14,3					
Birleşik Krallık, Londra		20	11,2					
Macaristan, Budapeşte, Széna Meydanı	Kentsel		23					(Szigeti vd., 2013)
İspanya, Barselona	Kentsel, Liman		18					(Pérez vd., 2016)
Kuzey Fransa, Saint-Omer	Kentsel	103	32,5					(Ledoux vd., 2017)
İngiltere, Galler, Cardiff	Kentsel		14,1	14	14	13,1	14,9	(Mohammed vd., 2017)
Güneydoğu İtalya, Lecce	Kırsal	90		22		24		(Perrone vd., 2019)
Asya								
Lübnan, Beyrut	Kentsel		38,9					(Saliba vd., 2010)
Hindistan, Ahmedabad	Kentsel	30	55,7					(Rengarajan vd., 2011)
Tayland, Bangkok	Kentsel	508	23,2					(Wimolwattanapun vd., 2011)
Tayland, Pathumthani	Kırsal		19,8					
Suudi Arabistan, Jeddah	Kentsel	84	28,4					(Khodeir vd., 2012)
Kore, Seul, Incheon	Kentsel	115	42,56					(Choi vd., 2013)
Güneybatı Çin, Çengdu		353	99,5	102,7	59,6	81,5	150,4	(Huang vd., 2015)
Hindistan, Pune			104,57					(Pipal ve Gursumeera n Satsangi, 2015)
Hindistan, Delhi	Kentsel, Trafik		118,3	90	42,3	198,6	146,7	(Tiwari vd., 2015)
Pakistan, Karaçi	Kentsel		75					(Shahid vd., 2016)
Suudi Arabistan, Cidde, 7 Örneklem Alanı	Kentsel	327	20,7					(Harrison vd., 2017)
Çin, Wuhan	Kentsel		74	73	45	75	125	(Xu vd., 2017)
	Kentsel arka plan		59	54	39	65	98	
Kore, Daebu Adası	Kırsal	83	26,2					(Kim vd., 2018)
Çin, Şanghay	Kentsel		50					(Yin vd., 2019)
Amerika								
Brezilya, São Paulo	Kentsel	340	28,1		23,1		35,5	(Miranda vd., 2012)
Brezilya, Rio		427	17,2		15,8		23,0	
Brezilya, Belo Horizonte		371	14,7		14,5		18,5	
Brezilya, Curitiba		320	14,4		13,3		18,1	
Brezilya, Porto Alegre		342	13,4		13,9		19,3	
Brezilya, Recife		327	7,3		10,5		12,5	
Kanada, Yeni İskoçya, Halifax	Kentsel	45	4,5					(Gibson vd., 2013)
Güneydoğu ABD, Louisiana, Baton Rouge, Leesville Avenue	Kentsel	656	9,34					(Han vd., 2017)
Texas, Cameron Country, Brownsville	Kentsel	185	10,2					(Karnae ve John, 2019)
Afrika								
Nijerya, Ife, Obafemi Awolowo Üniversitesi	Kentsel	114	22,67					(Owoade vd., 2016)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İzmit'te, Temmuz 2018 – Ocak 2019 tarihleri arasında 14 örnekleme noktasında her iki dönemde (yaz ve kış dönemleri) ayrı ayrı hafta içi 2, hafta sonu 1 numune toplanarak PM_{2.5} kirlilik konsantrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yaz, kış ve çalışma döneminde ölçülen kentsel, kırsal ve trafik kaynaklı PM_{2.5} kirlilik konsantrasyonlarının en yüksek olduğu mahalleler sırasıyla yaz döneminde Köseköy Dumlupınar Mahallesi (30,91 ± 6,74 µg/m³), Kabaoğlu Mahallesi (20,28 ± 6,64 µg/m³) ve Cedit Mahallesi (30,95 ± 1,79 µg/m³), kış döneminde Sanayi Mahallesi (81,75 ± 60,09 µg/m³), Kabaoğlu Mahallesi (20,22 ± 13,88 µg/m³) ve Cedit Mahallesi (176,24 ± 57,56 µg/m³), çalışma döneminde Sanayi Mahallesi (50,32 ± 53,60 µg/m³), Kabaoğlu Mahallesi (20,25 ± 9,31 µg/m³) ve Cedit Mahallesi (103,60 ± 86,16 µg/m³).

PM sonuçları, mevsimsel değişimin önemini ortaya koymakta ve kentsel alanlarda kömürden doğalgaza kademeli geçişe rağmen kömür tüketiminin hala önemli olduğuna işaret etmektedir. Isıtma amaçlı kömür kullanımından daha düşük emisyonlu doğalgaza tamamen geçişle birlikte PM kirliliği, kentleşmenin yüksek olduğu bölgelerde çok daha düşük seviyelere ulaşabilir. Aynı ilçede birbirine yakın 14 örnekleme noktasının konsantrasyonlarındaki değişim bu örnekleme alanlarının farklı kirlilik kaynaklarından etkilendiğini desteklemektedir. PM konsantrasyonlarının yanı sıra, kimyasal kompozisyonun belirlenmesi ve kirlilik kaynaklarının tanımlanması kirliliğin azaltılması için gereken önlemlerin alınmasına yarar sağlayacaktır. Yaz dönemi ortalama konsantrasyonları her ne kadar AB standartlarından düşük olsa da kış dönemi ortalama konsantrasyonlarının bu değerin aşılmasına neden olması mevsimsel değişimin önemini göstermektedir. Yapılan çalışmalarla PM_{2.5} envanteri oluşturularak ilerleyen süreçler için sınır değer tanımlanmalıdır. PM_{2.5} için yönetmelik kapsamındaki oluşturulacak olan sınır değeri ne kadar düşük olursa hava kirliliğinin sağlık etkileri de azalma gösterecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmayı “Kocaeli İli İzmit İlçesi 238217E- 421487N, 246070E-4515849N Koordinatları Arasında Yer Alan Sahada Kentsel Yaşam Kalitesi (KYK)'nın Ölçülmesi (2018-01.08.2019)” projesi ile destekleyen TTO-Kocaeli Büyükşehir Belediyesine ve 2018/103 no'lu “İzmit Atmosferinde Partiküldeki Poliaromatik Hidrokarbonların Mekânsal Dağılımı, Sağlık Riski ve Kaynak Tahmini” projesi ile destekleyen Kocaeli Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Agacayak, T., Kindap, T., Unal, A., Pozzoli, L., Mallet, M., Solmon, F., 2015. A case study for Saharan dust transport over Turkey via RegCM4.1 model. *Atmospheric Research*, 153, 392–403.
- Akyüz, M., Çabuk, H., 2008. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey. *Science of the Total Environment*, 405, 62–70.
- Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X., Santamaría, J. M. 2011. Chemical characterisation and source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research*, 102(1–2), 191–205.
- Bayraktar, H., Turalioğlu, F. S., Tuncel, G., 2010. Average mass concentrations of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} in Erzurum urban atmosphere, Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(1), 57–65.
- Boogaard, H., Kos, G. P. A., Weijers, E. P., Janssen, N. A. H., Fischer, P. H., Zee, S. C. Van Der, Hartog, J. J. De, Hoek, G., 2011. Contrast in air pollution components between major streets and background locations: Particulate matter mass, black carbon, elemental composition, nitrogen oxide and ultra fine particle number. *Atmospheric Environment*, 45(3), 650–658.
- Bozkurt, Z., 2018. PM₁₀ ve PM_{2.5} boyutundaki atmosferik partiküllerin bölgesel, mevsimsel değişimlerinin ve meteorolojik parametrelerle ilişkilerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 293–304.
- Choi, J., Heo, J., Ban, S., Yi, S., Zoh, K., 2013. Source apportionment of PM_{2.5} at the coastal area in Korea. *Science of the Total Environment*, 447, 370–380.
- Dursun, Ş., 2017. Selçuk Üniversitesi yerleşkesi açık alanlarda ortam PM_{2.5} seviyesinin belirlenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 190–202.
- EEA-European Environment Agency Report, 2020. Air Quality in Europe: 2020 report. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>.
- Eeftens, M., Tsai, M. Y., Ampe, C., Anwander, B., Beelen, R., Bellander, T., Cesaroni, G., ..., Hoek, G., 2012. Spatial variation of PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5} absorbance and PMcoarse concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO₂ - Results of the ESCAPE project. *Atmospheric Environment*, 62, 303–317.
- Gaga, E. O., Arı, A., Akyol, N., Üzmez, Ö. Ö., Kara, M., Chow, J. C., Watson, J. G., Özel, E., Döğeroğlu, T., Odabasi, M., 2018. Determination of real-world emission factors of trace metals, EC, OC, BTEX, and semivolatile organic compounds (PAHs,

- PCBs and PCNs) in a rural tunnel in Bilecik, Turkey. *Science of the Total Environment*, 643, 1285–1296.
- Gaga, E. O., Döğeroğlu, T., Özden, Ö., Ari, A., Yay, O. D., Altuğ, H., Akyol, N., Örnektekin, S., Van Doorn, W., 2012. Evaluation of air quality by passive and active sampling in an urban city in Turkey: Current status and spatial analysis of air pollution exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(8), 3579–3596.
- Gehrig, R., Buchmann, B., 2003. Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment*, 37, 2571–2580.
- Gibson, M. D., Duck, T. J., Beauchamp, S., Canada, E., King, G. H., 2013. Identifying the sources driving observed PM_{2.5} temporal variability over Halifax, Nova Scotia, during BORTAS-B. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 7199–7213.
- Gül, İ., 2020. Tekirdağ İli 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Balıkesir Medical Journal*, 4(1), 37–40.
- Han, F., Harsha, S., Wang, Y., Zhang, H., 2017. Source apportionment of PM_{2.5} in Baton Rouge, Louisiana during 2009 – 2014. *Science of the Total Environment*, 586, 115–26.
- Harrison, R. M., Bousiotis, D., Mohorjy, A. M., Alkhalaf, A. K., Shamy, M., Alghamdi, M., Khoder, M., Costa, M., 2017. Health risk associated with airborne particulate matter and its components in Jeddah, Saudi Arabia. *Science of the Total Environment*, 590–591, 531–39.
- Huang, W., Long, E., Wang, J., Huang, R., Ma, L., 2015. Characterizing spatial distribution and temporal variation of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentrations in an urban area of Southwest China. *Atmospheric Pollution Research*, 6 (5), 842–48.
- İmal, M., Karapınar, Ç., Doğan, O. 2013. Hava Kalitesine Doğalgazın Etkisi : Kahramanmaraş Örnek Çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 22–28.
- Kabatas, B., Unal, A., Pierce, R. B., Kindap, T., Pozzoli, L., 2014. The contribution of Saharan dust in PM₁₀ concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey. *Science of the Total Environment*, 489, 413–421.
- Kalisa, E., Nagato, E., Bizuru, E., Lee, K., Tang, N., Pointing, S., Hayakawa, K., Archer, S., Lacap-bugler, D., 2019. Pollution characteristics and risk assessment of ambient PM_{2.5}-bound PAHs and NPAHs in typical Japanese and New Zealand cities and rural sites. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (5), 1396–1403.
- Karacı, A., 2018. Akıllı Şehir Hava Takip Sistemi ve Astım Hastaları için PM_{2.5} Konsantrasyonu Ölçüm Aracının Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6 (3), 418-425.
- Kara, M., Hopke, P. K., Dumanoglu, Y., Altıok, H., Elbir, T., Odabasi, M., Bayram, A., 2015. Characterization of PM using multiple site data in a heavily industrialized region of Turkey. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(1), 11–27.
- Karakavuz, E., Yıldırım Y., 2017. Zonguldak Kentsel Atmosferinde Partikül Madde Boyut Dağılımı. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 180–189.
- Karnae, S., John, K., 2019. Source apportionment of PM_{2.5} measured in South Texas near U.S.A. – Mexico border. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (5), 1663–1676.
- Kendall, M., Pala, K., Ucakli, S., Gucer, S., 2011. Airborne particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and associated metals in urban Turkey. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 4 (3), 235–42.
- KGM-Karayolları Genel Müdürlüğü, 2020. 2019 Trafik ve Ulaşım Bilgileri: Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri. Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/TrafikveUlasimBilgileri/19TrafikUlasimBilgileri.pdf>.
- KGM-Karayolları Genel Müdürlüğü, 2009. Devlet Yolları Trafik Akımı Özellikleri ve Trafik Parametreleri. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/Devlet%20Yollar%C4%B1%20Trafik%20Ak%C4%B1m%C4%B1%20%C3%96zellikleri%20ve%20Trafik%20Parametreleri.pdf>.
- Khodeir, M., Shamy, M., Alghamdi, M., Zhong, M., Sun, H., Costa, M., Chen, L. C., Maciejczyk, P., 2012. Source apportionment and elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Jeddah City, Saudi Arabia. *Atmospheric Pollution Research*, 3 (3), 331–40.
- Kim, S., Kim, T., Yi, S., Heo, J., 2018. Source apportionment of PM_{2.5} using positive matrix factorization (PMF) at a rural site in Korea. *Journal of Environmental Management*, 214, 325–34.
- Koçak, M., Mihalopoulos, N., Kubilay, N., 2007. Contributions of natural sources to high PM₁₀ and PM_{2.5} events in the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 41, 3806–3818.
- Koçak, E., 2018. Aksaray Kentinin PM₁₀ ve SO₂ Konsantrasyonlarının zamansal değişimi: Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu ve K-Means Kümeleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 471-478.
- Ledoux, F., Kfoury, A., Delmaire, G., Roussel, G., El Zein, A., Courcot, D., 2017. Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM_{2.5} at an urban site in northern France. *Chemosphere*, 181, 713–24.
- MGM-Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020. “Resmi İstatistikler”. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI>.
- Miranda, R. M., Fatima Andrade, M., Fornaro, A., Astolfo, R., Andre, P. A., Saldiva, P., 2012. Urban air pollution: A representative survey of PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 5 (1), 63–77.
- Mohammed, G., Karani, G., Mitchell, D., 2017. Trace Elemental Composition in PM₁₀ and PM_{2.5} Collected in Cardiff, Wales. *Energy Procedia*, 111, 540–47.
- Onat, B., Sahin, U. A., Akyuz, T., 2013. Elemental characterization of PM_{2.5} and PM₁ in dense traffic area in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 4 (1), 101–5.
- Owoade, K. O., Hopke, P. K., Olise, F. S., Adewole, O. O., Ogundele, L. T., Fawole, O. G., 2016. Source apportionment analyses for fine (PM_{2.5}) and coarse (PM_{2.5-10}) mode particulate matter (PM) measured in an urban area in southwestern Nigeria. *Atmospheric Pollution Research*, 7(5), 843–857.
- Özdemir, H., Borucu, G., Demir, G., Yiğit, S., Namik, A. K., 2010. Examining the particulate matter (PM_{2.5} ve PM₁₀) pollution on the playgrounds in Istanbul. *Ekoloji*, 79 (77), 72–79.
- Pekey, B., Bozkurt, Z. B., Pekey, H., Doğan, G., Zararsız, A., Efe, N., Tuncel, G., 2010. Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM₁₀/PM_{2.5} in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey. *Indoor Air*, 20 (2), 112–25.

- Pekey, H., Pekey, B., Arslanbaş, D., Bozkurt, Z., Doğan, G., Tuncel, G., 2015. Türkiye’de endüstriyel ve şehirleşmiş bir alanda uçucu organik bileşik ve partikül madde kaynaklarının tanımlaması. *Ekoloji*, 24 (94), 1–9.
- Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A., Querol, X., 2016. Impact of harbour emissions on ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Science of the Total Environment*, 571, 237–250.
- Perrone, M.R., Vecchi, R., Romano, S., Becagli, S., Traversi, R., Paladini, F., 2019. Weekly cycle assessment of PM mass concentrations and sources, and impacts on temperature and wind speed in Southern Italy. *Atmospheric Research*, 218, 129–44.
- Pipal, A.S., Gursumeeran Satsangi, P., 2015. Study of carbonaceous species, morphology and sources of fine (PM_{2.5}) and coarse (PM₁₀) particles along with their climatic nature in India. *Atmospheric Research*, 154, 103–15.
- Rengarajan, R., Sudheer, A. K., Sarin, M. M., 2011. Wintertime PM_{2.5} and PM₁₀ carbonaceous and inorganic constituents from urban site in western India. *Atmospheric Research*, 102 (4), 420–31.
- Saliba, N.A., El Jam, F., El Tayar, G., Obeid, W., Roumie, M., 2010. Origin and variability of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) mass concentrations over an Eastern Mediterranean city. *Atmospheric Research*, 97 (1–2), 106–14.
- Shahid, I., Kistler, M., Mukhtar, A., Ghauri, B.M., Cruz, C.R., Bauer, H., Puxbaum, H., 2016. Chemical characterization and mass closure of PM₁₀ and PM_{2.5} at an urban site in Karachi-Pakistan. *Atmospheric Environment*, 128, 114–23.
- Spindler, G., Brüggemann, G., Gnauk, T., Grüner, A., Müller, K., Herrmann, H., 2010. A four-year size-segregated characterization study of particles PM₁₀, PM_{2.5} and PM 1 depending on air mass origin at Melpitz. *Atmospheric Environment*, 44, 164–73.
- Szigeti, T., Mihucz, V.G., Övári, M., Baysal, A., Atilgan, S., Akman, S., Záray, G., 2013. Chemical characterization of PM_{2.5} fractions of urban aerosol collected in Budapest and Istanbul. *Microchemical Journal*, 107, 86–94.
- Şahin, Ü.A., Scherbakova, K., Onat, B., 2012. Size distribution and seasonal variation of airborne particulate matter in five areas in Istanbul, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. 19 (4), 1198–1209.
- Şengün, M.T., Kıranşan, K., 2012. The Effects of Desert Dusts on Natural and Human Environment in Turkey. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22 (2), 1–15.
- Tecer, L.H., Fıçıcı, M., Sofuoğlu, S., Özmetin, C., 2017. Kent (çorlu) ve sanayi (çerkezköy) bölgesi atmosferlerinde PM kütle konsantrasyonlarının değişiminin incelenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 795–802.
- Tepe, A.M., Doğan, G., 2019. Türkiye'nin Güney Sahilinde Yer Alan Dört Şehrin Hava Kalitelerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 585-595.
- Tiwari, S., Hopke, P.K., Pipal, A.S., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., Tiwari, S., Singh, A.K., Soni, V.K., Attri, S.D., 2015. Intra-urban variability of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India. *Atmospheric Research*, 166, 223–32.
- TMMOB-Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2019. Hava Kirliliği Raporu 2019. Çevre Mühendisleri Odası. <http://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/2019.pdf>.
- Trusz, A., Ghazal, H., Piekarska, H., 2020. Seasonal variability of chemical composition and mutagenic effect of organic PM_{2.5} pollutants collected in the urban area of Wrocław (Poland). *Science of the Total Environment*, 733, 138911.
- USEPA, 2009. Quality Assurance Guidance Document Method Compendium. 2009. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-09/documents/pepqapp.pdf>.
- Wang, Q., Gu, J., Wang, X., 2020. The impact of Sahara dust on air quality and public health in European countries. *Atmospheric Environment*, 241, 117771.
- Wang, Q., Liu, M., Yu, Y., Li, Y., 2016. Characterization and source apportionment of PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from Shanghai city, China. *Environmental Pollution*, 218, 118–28.
- WHO, 2005. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide : global update 2005 : summary of risk assessment”. 2005. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
- Wimolwattanapun, W., Hopke, P.K., Pongkiatkul, P., 2011. Atmospheric Pollution Research PM_{2.5-10} at residential sites in metropolitan Bangkok. *Atmospheric Pollution Research*, 2 (2), 172–81.
- Xu, G., Jiao, L., Zhang, B., Zhao, S., Yuan, M., Gu, Y., Liu, J., Tang, X., 2017. Spatial and temporal variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 17 (3), 741–51.
- Yalçın, F., Tepe, A. M., Doğan, G., Cizmeci, N., 2021. Spatial Regression Models for Explaining AQI Values in Cities of Turkey. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4 (1), 1-15.
- Yatkin, S., Bayram, A., 2008. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} using positive matrix factorization and chemical mass balance in Izmir, Turkey. *Science of the Total Environment*, 390 (1), 109–23.
- Yazıcı, H., Akçay, M., Çay, Y., Sekmen, Y., Yılmaz, İ. T., Gölcü, M., 2010. Hava kirliliğinin doğalgaz kullanımı ile değişimi, Denizli il örneği. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 9(3), 205-215.
- Yin, G., Liu, C., Hao, L., Chen, Y., Wang, W., Huo, J., Zhao, Q., 2019. Associations between size-fractionated particle number concentrations and COPD mortality in Shanghai, China. *Atmospheric Environment*, 214, 116875.
- Yurdakul, S., Ayyıldız, N., Çelik, V. E., İçöz, E., 2019. Süleyman Demirel Üniversitesi Seçili Dersliklerinin İç Çevre Kalitesi Açısından İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (4), 811-818.
- Yurdakul, S., Civan, M., Tuncel, G., 2013. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere , Turkey : Sources and variability. *Atmospheric Research*, 120–121, 298–311.
- Zengin Kazancı, S., Tanır Kayıkçı, E., 2015. Konumsal Enterpolasyon Yöntemleri Uygulamalarında Optimum Parametre Seçimi: Doğu Karadeniz Bölgesi Günlük Ortalama Sıcaklık Verileri Örneği. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 25 - 28 Mart, 1-10.
- Zeydan, Ö., Wang, Y., 2019. Using MODIS derived aerosol optical depth to estimate ground-level PM_{2.5} concentrations over Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 10, 1565–76.



TULUM PEYNİRİNDE STAPHYLOCOCCUS AUREUS YAYGINLIĞI VE ANTİBİYOTİK DİRENÇ PROFİLLERİNİN VE DİRENÇ GENLERİNİN BELİRLENMESİ

Süheyla DEMİRSEKİAN, Yasin TUNCER*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tulum Peyniri,
Staphylococcus aureus,
Antibiyotik Direnç,
Antibiyotik Direnç Geni,
Polimeraz Zincir Reaksiyonu.

Öz

Bu çalışmada, Isparta ilinde satışı yapılan Tulum peyniri örneklerinde *Staphylococcus aureus* yaygınlığının tespiti ve *S. aureus* izolatlarında antibiyotik direnç profillerinin ve direnç genlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 75 Tulum peyniri örneğinden toplam 141 muhtemel *S. aureus* kolonisi izole edilmiştir. Gram boyama ve katalaz testi sonucu izolatların 100'ünün Gram pozitif kok morfolojisinde ve katalaz pozitif özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu izolatların *S. aureus* türü üyesi olup olmadığı *S. aureus*'da termostabil nükleaz genine (*nuc*) özgü primer çiftleri kullanılarak polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile araştırılmıştır. PZR denemeleri sonucu 15 izolatta *nuc* genine özgü 458 bp büyüklüğünde ampliconlar elde edilmiştir. Tulum peyniri örneklerinde *S. aureus* bulunma sıklığı % 13.33 (10/75) olarak hesaplanmıştır. 15 *S. aureus* izolatının disk difüzyon testi sonucu en dirençli olduğu antibiyotiğin penisilin G olduğu tespit edilmiştir. İzolatlarda en sık rastlanan antibiyotik direnç geninin *blaZ* olduğu belirlenmiştir. *blaZ* geni dışında izolatlarda *mecA*, *msrA* ve *msrB* geni varlığı tespit edilmiştir. Düşük oranda da olsa tulum peyniri örneklerinde *S. aureus* varlığına rastlanması tüketici sağlığı açısından endişe uyandırıcıdır.

DETERMINATION OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS PREVALENCE AND ANTIBIOTIC RESISTANCE PROFILES AND RESISTANCE GENES IN TULUM CHEESE

Keywords

Tulum Cheese,
Staphylococcus aureus,
Antibiotic Resistance,
Antibiotic Resistance Gene,
Polymerase Chain Reaction.

Abstract

In this study, it was aimed to determine the prevalence of *Staphylococcus aureus* in tulum cheese samples sold in Isparta province and to determine the antibiotic resistance profiles and resistance genes in *S. aureus* isolates. A total of 141 presumptive *S. aureus* colonies were isolated from 75 Tulum cheese samples. As a result of Gram staining and catalase test, it was determined that 100 of the isolates had Gram positive cocci morphology and catalase positive feature. Whether these isolates are members of the *S. aureus* species was investigated by polymerase chain reaction (PCR) using primer pairs specific to the thermostable nuclease gene (*nuc*) in *S. aureus*. As a result of PCR experiments, *nuc* gene-specific 458 bp amplicons were obtained in 15 isolates. The frequency of *S. aureus* in Tulum cheese samples was calculated as 13.33% (10/75). As a result of disk diffusion test of 15 *S. aureus* isolates, penicillin G was found to be the most resistant antibiotic. It has been determined that the most common antibiotic resistance gene in isolates is *blaZ*. Apart from the *blaZ* gene, the presence of *mecA*, *msrA* and *msrB* genes was determined in isolates. The presence of *S. aureus* in tulum cheese samples, albeit at a low rate, is a concern for consumer health.

Alıntı / Cite

Demirsikan, S., Tuncer, Y., (2021). Tulum Peynirinde *Staphylococcus aureus* Yaygınlığı ve Antibiyotik Direnç Profilleri ve Direnç Genlerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 822-832.

* İlgili yazar / Corresponding author: yasintuncer@sdu.edu.tr, +90-246-211-1713

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
S. Demirsikan, 0000-0002-4752-1570	Başvuru Tarihi / Submission Date	16.04.2021
Y. Tuncer, 0000-0002-2075-5027	Revizyon Tarihi / Revision Date	01.06.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	03.06.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Süt ürünleri insan yaşamının temel besin maddelerinden birisidir ve zengin besin değerine sahip olması nedeniyle önemli bir gıda maddesidir (Black vd., 2002). Sütün yanı sıra fermente bir süt ürünü olan peynir de zengin bir mineral, protein, vitamin, yağ ve karbonhidrat kaynağıdır (Sulieyman vd., 2012). Ülkemizde 130'dan fazla peynir çeşidi üretilmektedir. Bu peynir çeşitleri içerisinde en çok tercih edilen peynirler Beyaz peynir, Kaşar peyniri ve Tulum peyniridir (Tekinşen ve Uçar, 2007). Tulum peyniri geleneksel olarak koyun sütünden üretilmektedir ancak bazen koyun sütüne inek ve keçi sütü karıştırılabilmektedir. Süt sağım sonrası herhangi bir ısıl işlem/pastörizasyon yapılmadan ve starter kültür ilavesi olmaksızın peynire işlenmektedir (Tomar vd., 2018).

Staphylococcus ilk olarak 1880 yılında İskoç cerrah Sir Alexander Ogston tarafından tanımlanmıştır (Licitra, 2013). 1884 yılında ise stafilokokların saf kültürünü elde eden Anton Rosenbach sarı-portakal rengi kolonileri *S. aureus* olarak isimlendirmiştir. Stafilokoklar hareketsiz, fakültatif anaerob, Gram pozitif, katalaz pozitif ve kok morfolojisine sahip bakterilerdir. Mikroskop altında incelendiğinde çiftler, kısa zincirler veya üzüm benzeri kümeler halinde görülürler (Hennekinne vd., 2012). *S. aureus*, gıda kaynaklı hastalıkların dünyadaki üçüncü en önemli nedeni olarak kabul edilir ve ineklerde mastitisin başlıca etmenidir. Bu nedenle süt ve süt ürünleri tüketiciler için risk oluşturabilmektedir (Janštová vd., 2014). Enterotoksijenik *S. aureus* suşları, süt ürünleri aracılığı ile insanlarda gıda kaynaklı intoksikasyonlara neden olabileceği potansiyeline sahiptir (Kümmel vd., 2016). Bunun yanı sıra *S. aureus* antibiyotiklere direnç gösteren mikroorganizmalar arasında halk sağlığını tehdit eden önemli bir bakteridir (Pal vd., 2020). *S. aureus*, hem toplum hem de hastane ortamında hastalığa neden olabilmektedir. *S. aureus* bakteremi ve infektif endokarditin yanı sıra osteoartiküler, deri ve yumuşak doku, plöropulmoner ve cihaz enfeksiyonlarının önde gelen nedenidir (Tong vd., 2015).

Antibiyotikler, mikroorganizmaların gelişmesini engelleme veya öldürme kapasitesine sahip antimikrobiyal maddelerdir. Antibiyotikler, insanlarda ve hayvanlarda bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde ve tıbbi olmayan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Antibiyotiklerin aşırı kullanımı dolayısıyla bakteri suşlarında ilaç direncinin gelişmesine yol açmıştır. Bu durum küresel bir sorun ve insan sağlığını tehdit eden önemli bir problem haline almaktadır (Serwecińska, 2020). Antibiyotikler hücre duvarı sentezi, translasyon, transkripsiyon ve DNA sentezi dahil olmak üzere başlıca bakteri gelişim süreçlerini etkilemektedirler. Bakterilerde antibiyotik direnç, değiştirilmiş ilaç hedefleri, enzimatik ilaç inaktivasyonu, antimikrobiyal bileşiklerin artan hücre dışına akışı ve değiştirilmiş ilaç erişilebilirliği gibi birkaç farklı mekanizma tarafından ortaya çıkmakta ve direncin yayılmasına çok sayıda hareketli genetik eleman yardımcı olmaktadır (Vestergaard vd., 2019). Antibiyotiklere direnç gösteren mikroorganizmalar arasında *S. aureus*, önemli bir halk sağlığı sorunudur. Bazı antibiyotiklere doğal direnç gösteren *Enterococcus* türleri gibi diğer mikroorganizmaların aksine, *S. aureus* kazanılmış antimikrobiyal direnç geliştirme potansiyeli yüksek bir mikroorganizma olarak tanımlanmaktadır (Pal vd., 2020). *S. aureus* genomunun %15'inden fazlası, stafilokok kaset kromozomları (*staphylococcus cassette chromosomes*), bakteriyofaj genomu, integronlar, konjugatif plazmidler, transpozonlar ve patojenite adası gibi mobil genetik elemanlardan oluşmaktadır. Bütün bu mobil genetik elemanlar antibiyotik direnç geni taşıyabilmektedir (Bitrus vd., 2018). 1940'ların başlarında *S. aureus* kaynaklı enfeksiyonların tedavisinde penisilinin kullanılmasından kısa bir süre sonra penisiline dirençli *S. aureus* suşları ortaya çıkmıştır. Bu suşlar β -laktam halkasını hidroliz eden ve antibiyotiğin etkisini yok eden *blaZ* geni tarafından determine edilen β -laktamaz sentezlemektedirler (Foster, 2017). İlk yarı sentetik anti-stafilokokal penisilinler 1960'larda geliştirilmiş ve metisiline dirençli *S. aureus* (MRSA) klinik kullanımlarından 1 yıl sonra gözlenmiştir. Metisilin direncine *mecA* geni aracılık etmektedir. Stafilokokal kaset kromozomu *mec* olarak adlandırılan bir mobil genetik elemanın yatay transferi ile kazanılmaktadır (Turner vd., 2019). MRSA, β -laktam antibiyotiklere direncin yanı sıra sıklıkla makrolidler, tetrasiklin, aminoglikozidler, kloramfenikol ve florokinolonlar gibi diğer antimikrobiyal ajanlara da dirençlidir (Kot vd., 2020).

Bu çalışmada, Isparta ilinde perakende satışı yapılan Tulum peyniri örneklerinde *S. aureus* yaygınlığı belirlenmiş ve izolatların antibiyotik direnç profilleri ve direnç genleri varlığı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Tulum Peyniri Örnekleri (Tulum Cheese Samples)

Çalışma kapsamında biyomateryal olarak kullanılan muhtemel *S. aureus* suşlarının izolasyonu için kullanılan 75 adet Tulum peyniri örneği Kasım 2018 ve Nisan 2019 arasında altı aylık süre boyunca Isparta ilinde bulunan geleneksel ürün satan pazar, mandıra ve marketlerden temin edilmiştir. Peynir örneklerinin 41'i farklı semtlerde kurulan pazarlardan, 25'i mandıralardan ve 9'u ise marketlerde açıkta satılan peynirlerden oluşmaktadır. Örnekler temin edildiği gün buz kutusu içerisinde laboratuvara ulaştırılmış ve analiz edilinceye kadar +4 °C'de en fazla 3 gün muhafaza edilmiştir.

2.2. Muhtemel *S. aureus* Suşlarının İzolasyonu (Isolation of Presumptive *S. aureus* Strains)

S. aureus izolasyonu için her bir peynir örneğinden aseptik koşullar altında 10 g numune alınmış ve 90 mL fizyolojik tuzlu su çözeltisi (FTS, % 0.85 NaCl, w/v) içerisinde karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Örneklerin 10⁻³ seviyesine kadar seri dilüsyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan dilüsyonlardan mannitol salt agar (MSA, LAB M, Lancashire, İngiltere) ve Baird Parker agar (BPA, LAB M) besiyeri ortamlarına yayma ekim yapılmıştır. Petri kutuları 37 °C'de 48 saat inkübasyona bırakılmış ve süre sonunda BPA besiyerinde siyah merkezli ve etrafında çökelti halkası görülen, MSA besiyerinde ise sarı renkli koloniler muhtemel *S. aureus* izolatu olarak düşünülmüş ve çalışma materyali olarak seçilmiştir. Seçilen 143 koloni öze yardımıyla alınarak Brain Heart Infusion broth (BHI, LAB M) besiyerine inoküle edilmiş ve 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İzolatların saflık kontrolü BPA besiyerinde yapılmıştır. İzolatların stok kültürleri BHI broth besiyeri ortamında % 20 (v/v) steril gliserol (Riedel-de Haën, Seelze, Almanya) ilave edilerek -20 °C'de saklanmıştır.

2.3. Muhtemel *S. aureus* İzolatlarının Tanısı (Identification of Presumptive *S. aureus* Isolates)

2.3.1. Gram Boyama ve Katalaz Testi (Gram Staining and Catalase Test)

Muhtemel *S. aureus* izolatların mikroskopik morfolojileri Gram boyama yöntemiyle hazırlanan preparatların 1000 X büyütme ile ışık mikroskopunda (Soif, Türkiye) incelenmesi sonucunda tespit edilmiştir. İzolatların katalaz aktivitesi % 3'lük (v/v) hidrojen peroksit (Merck, Darmstadt, Almanya) çözeltisi kullanılarak test edilmiştir (Temiz, 1994). Katalaz testinde *S. aureus* ATCC 25923 pozitif ve *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 ise negatif kontrol olarak kullanılmıştır.

2.3.2. Genomik DNA İzolasyonu (Isolation of Genomic DNA)

Muhtemel *S. aureus* suşlarından genomik DNA Cancilla vd. (1992) tarafından önerilen yöntemde küçük modifikasyonlar yapılarak izole edilmiştir. Genomik DNA izolasyonu için 0.5 mL kültür steril Eppendorf tüplerine aktarılmış ve 13000 rpm'de 5 dakika santrifüj (Sigma 2-16P, Rotor No: 12148, Almanya) edilmiştir. Üst fazlar dökülmüş ve hücre çökeltileri 0.5 mL liziz buffer ile çözülmüştür. Hücre süspansiyonları su banyosunda (Nüve NB 9, Türkiye) 37 °C'de 1 saat inkübe edilmiştir. Tüplere 30 µL sodyum dodesil sülfat (SDS, Serva, Heidelberg, Almanya, %10 w/v) ilave edilmiş ve tüpler 80 °C'ye ayarlı su banyosunda (Nüve NB 5) 5 dakika daha inkübe edilmişlerdir. Süre sonunda lize olan hücre süspansiyonları üzerine 0.7 mL fenol-kloroform (1:10, v/v) ilave edilerek 13000 rpm'de 5 dakika santrifüj işlemi uygulanmıştır. Üst faz mikropipet yardımıyla alınmış ve yeni steril Eppendorf tüplerine aktarılmıştır. Alınan üst faz üzerine -20 °C'de bekletilen 0.7 mL 2-propanol (Merck) ilave edilmiştir. Tüpler 13000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiş ve oluşan çökelti 50 µL Tris EDTA tamponu (pH 8.0) içerisinde çözülmüştür. Genomik DNA örnekleri kullanılıncaya kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

Genomik DNA örneklerinin varlığı agaroz jel elektroforez yöntemi ile % 0.7 (w/v) oranında agaroz (AppliChem GmbH., Darmstadt, Almanya) içeren jellerde kontrol edilmiştir. Elektroforez işlemi 85 voltta 1.5-2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Elektroforez işleminin ardından jeller 0.2 µg/mL etidyum bromit (Amresco, Solon, Ohio, ABD) içeren boyama çözeltisi içerisine aktararak 30 dk süre ile boyanmıştır. Jel fotoğrafları 312 nm dalga boyunda UV ışık (Vilber Lourmat, ECX-F20.M, Fransa) altında Nikon D5100 (Nikon Corp., Japonya) dijital fotoğraf makinesi kullanılarak çekilmiştir.

2.3.3. İzolatlarda *nuc* Geninin Tespiti (Detection of *nuc* Gene in Isolates)

Muhtemel *S. aureus* izolatlarının tanısı *S. aureus*'da termostabil nükleaz genine özgü 458 bp büyüklüğünde fragment veren NUC1 (5'-ATGAAGTCAAATAAATCGCT-3') ve NUC2 (5'-TTTGGTGAAAATACTTCTC-3') primerleri kullanılarak polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile gerçekleştirilmiştir (Gandra vd., 2011). PZR işleminde TurboCyler 2 gradient termal döngü cihazı (Blue-Ray Biotech Ltd., Tayvan) kullanılmıştır. PZR işleminde 1 döngü

94 °C'de 2 dakika başlangıç denatürasyonu, 40 döngü 94 °C'de 2 dakika, 55 °C'de 2 dakika ve 72 °C'de 3 dakika çoğalma ve 1 döngü 94 °C'de 10 dakika son uzama aşamalarından oluşan protokol kullanılmıştır. Çoğaltılan PZR fragmentlerinin agaroz jel elektroforezi %1 (w/v) agaroz içeren jellerde 85 voltta 1.5-2 saat süre ile yapılmıştır. Fragment büyüklüklerinin hesaplanmasında GENESTA™ 100-bp DNA marker (GA-010, GeneAll Biotechnology Co. Ltd., Kore) moleküler belirteç olarak kullanılmıştır. Jeller etidyum bromit (Amresco) içeren çözelti içerisinde 30 dk boyanmış ve UV ışık (Vilber Lourmat) altında görüntülenmiştir.

2.4. Koagülaz Testi (Coagulase Test)

S. aureus suşlarının koagülaz aktivitesi Oxoid Staphylase (DR0595A) test kiti (Oxoid Ltd., Basingstoke, İngiltere) kullanılarak üretici firma tarafından önerilen yönteme göre test edilmiştir. Koagülaz testinde Süleyman Demirel Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü kültür koleksiyonundan temin edilen *S. aureus* ATCC 25923 suşu pozitif kontrol olarak kullanılmıştır.

2.5. Antibiyotik Direnç (Antibiotic Resistance)

S. aureus suşlarının antibiyotik direnç profilleri Oxoid Ltd. Şti. (İngiltere)'den temin edilen penisilin G (10 U), sefoksitin (30 µg), tetrasiklin (30 µg), doksisisiklin (30 µg), minosiklin (30 µg), eritromisin (15 µg), amikasin (30 µg), gentamisin (10 µg), kanamisin (30 µg), siprofloksasin (5 µg), kloramfenikol (30 µg), trimetoprim/sulfametoksazol (1.25/23.75 µg), linezolid (30 µg), rifampin (5 µg), kinupristin-dalfopristin (15 µg) ve teikoplanin (30 µg) antibiyotik diskleri kullanılarak disk difüzyon yöntemi ile belirlenmiştir (Cariolato vd., 2008; Yogurtcu ve Tuncer, 2013). Sonuçlar Klinik ve Laboratuvar Standartları Enstitüsü'nün (Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI) 2016 yılı kılavuzuna göre değerlendirilmiştir.

2.6. Antibiyotik Direnç Genlerinin Belirlenmesi (Detection of Antibiotic Resistance Genes)

S. aureus suşlarında metisilin (*mecA*), penisilin (*blaZ*), gentamisin (*aac(6')-Ie-aph(2'')-Ia*, *aph(2'')-Ib*, *aph(2'')-Ic*, *aph(2'')-Id*), streptomisin (*aph(3')-IIIa*, *ant(4')-Ia*, *ant(6')-Ia*), eritromisin (*ermA*, *ermB*, *ermC*, *msrA*, *msrB*), tetrasiklin (*tetK*, *tetM*, *tetL*) ve vankomisin (*vanA*, *vanB*) direnç genlerinin varlığı Tablo 1'de verilen primer çiftleri kullanılarak PZR ile araştırılmıştır (Dutka-Malen vd., 1995; Lina vd., 1999; Martineau vd., 2000; Vakulenko vd., 2003; Depardieu vd., 2004; Zhang vd., 2004; Ouoba vd., 2008; Niu vd., 2016).

Tablo 1. Antibiyotik Direnç Genlerinin Tespitinde Kullanılan Primerler ve Ürün Büyüklükleri (Primers for Detection of Antibiotic Resistance Genes and Product Sizes)

GEN	PRİMER DİZİSİ (5'-3')	ÜRÜN BÜYÜKLÜĞÜ (bp)	KAYNAKLAR
<i>mecA</i>	GTAGAAATGACTGAACGTCCGATAA CCAATTCCACATTTGTTCCGGTCTAA	310	Zhang vd., 2004
<i>blaZ</i>	ACTTCAACACCTGCTGCTTTC TGACCACTTTTATCAGCAACC	173	Martineau vd., 2000
<i>aac(6')-Ie-aph(2'')-Ia</i>	CAGGAATTTATCGAAAATGTTAGAAAAG CACAATCGACTAAAGAGTACCAATC	369	Vakulenko vd., 2003
<i>aph(2'')-Ib</i>	CTTGGACGCTGAGATATATGAGCAC GTTTGTAGCAATTCAGAAAACCCCTT	867	Vakulenko vd., 2003
<i>aph(2'')-Ic</i>	CCACAATGATAATGACTCAGTTCCC CCACAGCTTCCGATAGCAAGAG	444	Vakulenko vd., 2003
<i>aph(2'')-Id</i>	GTGGTTTTTACAGGAATGCCATC CCCTTTCATACCAATCCATATAACC	641	Vakulenko vd., 2003
<i>aph(3')-IIIa</i>	GGCTAAAATGAGAATATCACCGG CTTTAAAAAATCATACAGCTCGCG	523	Vakulenko vd., 2003
<i>ant(4')-Ia</i>	CAAAGTCTAAATCGGTAGAAGCC GGAAAGTTGACCAGACATTACGAAC	294	Vakulenko vd., 2003
<i>ant(6')-Ia</i>	ACTGGCTTAATCAATTTGGG GCCTTTCGCCACCTCACCC	577	Niu vd., 2016
<i>ermA</i>	AAGCGGTAACCCCTCTGA TTGCAAAATCCCTTCTCAAC	190	Martineau vd., 2000
<i>ermB</i>	CTATCTGATGTTGAAGAAGGATT GTTTACTCTTGGTTAGGATGAAA	142	Martineau vd., 2000
<i>ermC</i>	AATCGTCAATTCCTGCATGT TAATCGTGAATACGGGTTTG	299	Martineau vd., 2000
<i>msrA</i>	TCCAATCATGACAAAAATC AATCCCTCTATTGGTGGT	163	Martineau vd., 2000
<i>msrB</i>	TATGATATCCATAATAATTATCCAATC AAGTTATATCATGAATAGATTGTCCTGTT	595	Lina vd., 1999
<i>tetK</i>	TTAGGTGAAGGTTAGGTCC GCAAACCTATTCCAGAAGCA	718	Ouoba vd., 2008
<i>tetM</i>	GTAAATAGTGTCTTGGAG CTAAGATATGGCTCAACAA	657	Ouoba vd., 2008

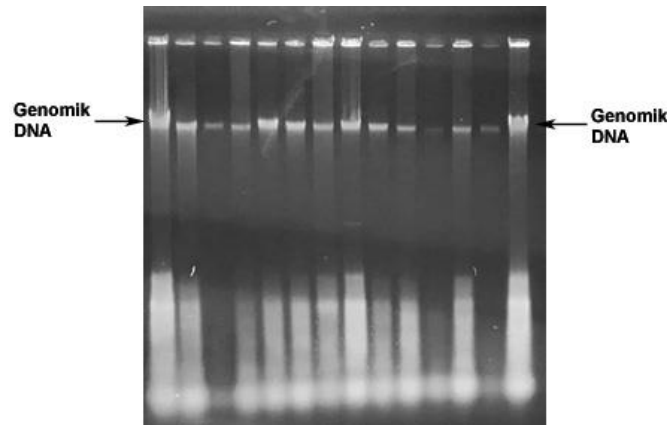
Tablo 1. Devamı (Continued)

<i>tetL</i>	GTTGCGCGCTATATTCCAAA TTAAGCAAACCTCATTCCAGC	788	Ouoba vd., 2008
<i>vanA</i>	GGGAAAACGACAATTGC GTACAATGCGGCCGTTA	732	Dutka-Malen vd., 1995
<i>vanB</i>	ACGGAATGGGAAGCCGA TGCACCCGATTTCGTTT	647	Depardieu vd., 2004

PZR denemelerinde *aac(6')-Ie-aph(2'')-Ia*, *aph(3')-IIIa*, *ant(4')-Ia*, *aph(2'')-Ib*, *aph(2'')-Ic* ve *aph(2'')-Id* genleri için 1 döngü 94 °C'de 3 dakika, 40 döngü 94 °C'de 40 saniye, 55 °C'de 40 saniye ve 72 °C'de 40 saniye ve 1 döngü 72 °C'de 2 dakika; *ant(6')-Ia* geni için 1 döngü 94 °C'de 3 dakika, 40 döngü 94 °C'de 30 saniye, 56 °C'de 30 saniye ve 72 °C'de 1 dakika ve 1 döngü 72 °C'de 5 dakika; *tetL*, *tetK*, *tetM*, *vanA*, *vanB*, *ermA*, *ermB*, *ermC* genleri için 1 döngü 94 °C'de 2 dakika, 30 döngü 94 °C'de 60 saniye, uygun sıcaklıkta 60 saniye (*tetL*, *vanA* ve *vanB* genleri için 54 °C, *ermA* ve *tetK* genleri için 55 °C, *tetM* geni için 45 °C; *ermB* geni için 52 °C, *ermC* geni için 48 °C) ve 72 °C'de 1 dakika ve 1 döngü 72 °C'de 10 dakika; *blaZ* geni için 1 döngü 94 °C'de 4 dakika, 40 döngü 94 °C'de 30 saniye, 55 °C'de 30 saniye ve 72 °C'de 1 dakika ve 1 döngü 72 °C'de 5 dakika; *mecA* geni için 1 döngü 94 °C'de 5 dakika, 30 döngü 94 °C'de 60 saniye, 50 °C'de 60 saniye ve 72 °C'de 2 dakika ve 1 döngü 72 °C'de 10 dakika; *msrA* ve *msrB* genleri için ise 1 döngü 94 °C'de 10 dakika, 25 döngü 94 °C'de 60 saniye, 50 °C'de 60 saniye ve 72 °C'de 1.5 dakika ve 1 döngü 72 °C'de 10 dakikadan oluşan protokoller uygulanmıştır. PZR denemelerinde *E. faecium* FYE41 (*ermC*⁺, *tetM*⁺, *tetL*⁺), *E. gallinarum* DYE45 (*ermA*⁺, *ermB*⁺, *tetM*⁺, *tetL*⁺), *E. faecium* ATCC 51559 (*vanA*⁺), *E. faecalis* ATCC 51299 (*vanB*⁺) ve *S. aureus* ATCC 43300 (*mecA*⁺) suşları pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. Çoğaltılan PZR fragmentlerinin agaroz jel elektroforezi % 2 (w/v) agaroz içeren jellerde 85 voltta 1.5-2 saat süre ile yapılmıştır. Fragment büyüklüklerinin hesaplanmasında GENESTA™ 100-bp DNA marker (GeneAll) moleküler belirteç olarak kullanılmıştır. Jeller etidyum bromit (Amresco) içeren çözelti içerisinde 30 dk boyanmış ve UV ışık altında (Vilber Lourmat) görüntülenmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

BPA ve MSA besiyeri ortamları kullanılarak yapılan izolasyon çalışmaları sonucu, 75 Tulum peyniri örneğinin 46'sında (% 61.33) muhtemel *S. aureus* izolatına rastlanılmıştır. BPA besiyerinden 103 koloni, MSA besiyerinden ise 40 koloni olmak üzere toplam 143 muhtemel *S. aureus* kolonisi izole edilmiştir. Muhtemel *S. aureus* olduğu düşünülen 143 koloni öze yardımıyla alınmış ve BHI broth ortamında kültüre edilmiştir. İzolatların mikroskopik morfolojisi Gram boyama yöntemi ile hazırlanan preparatların ışık mikroskopunda incelenmesi sonucu belirlenmiştir. *Staphylococcus* cinsi üyesi bakteriler Gram pozitif kok morfolojisinde, mikroskop altında gözlemlendiğinde düzensiz kümeler halinde görülen ve katalaz pozitif bakterilerdir (Hennekinne vd., 2012). Mikroskopik inceleme sonucu 143 izolatın 141'inin Gram pozitif kok morfolojisinde ve düzensiz kümeler şeklinde görüldüğü belirlenmiştir. İki izolatın ise Gram negatif kok morfolojisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Gram negatif özellik gösteren iki izolat *Staphylococcus* cinsi üyesi olmadığı için elemine edilmiştir. Katalaz testi yapılan 141 izolatın 100 adedinin katalaz pozitif, 41 adedinin ise katalaz negatif özellik gösterdiği belirlenmiştir. Katalaz negatif olduğu tespit edilen izolatlar elemine edilmiş ve çalışmaya Gram pozitif, katalaz pozitif 100 adet izolat ile devam edilmiştir. Muhtemel *S. aureus* olduğu düşünülen 100 adet izolatın genomik DNA Cancilla vd. (1992) tarafından önerilen yöntem esas alınarak izole edilmiştir. Muhtemel *S. aureus* izolatlarının genomik DNA örneklerinin agaroz jel elektroforez görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Muhtemel *S. aureus* İzolatlarının Genomik DNA Örneklerinin Agaroz Jel Elektroforez Görüntüsü (Agarose Gel Electrophoresis Image of Genomic DNA Samples of Presumptive *S. aureus* Isolates)

Genomik DNA örnekleri *nuc* geni tespitinde kalıp olarak kullanılmıştır. Ekstraselüler termostabil nükleaz enzimi üretimini belirleyen *nuc* geni *S. aureus*'a özgül diziler içermesi nedeni ile *S. aureus*'un tanısında moleküler belirteç

olarak kullanılmaktadır (Brakstad vd., 1992). Bu nedenle muhtemel *S. aureus* olduğu düşünülen 100 izolatın *S. aureus* olup olmadığının belirlenmesi için izolatlarda *nuc* geni varlığı PZR ile araştırılmıştır. PZR denemeleri sonucu 100 izolattan 15'inde (5.3, 7.2, 16.3, 27.2, 27.3, 27.8, 31.6, 31.7, 37.1, 38.6, 62.1, 66.3, 66.4, 66.5 ve 67.2) *nuc* genine özgül primerler ile 458 bp büyüklüğünde amplikonlar elde edilmiştir (Şekil 2). PZR denemelerinden elde edilen bulgular ışığında 5.3, 7.2, 16.3, 27.2, 27.3, 27.8, 31.6, 31.7, 37.1, 38.6, 62.1, 66.3, 66.4, 66.5 ve 67.2 kodlu izolatlar *S. aureus* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Muhtemel *S. aureus* izolatlarında *nuc* geni varlığının PZR ile tespiti (Detection of *nuc* gene presence by PCR in presumptive *S. aureus* isolates). 1: 16.5, 2: 17.2, 3: 18.1, 4: 23.1, 5: 23.3, 6: 27.1, 7: 27.3 (458 bp), 8: 27.8 (458 bp), M: Genesta™ 100 bp DNA Marker, 9: 31.6, 10: 31.7, 11: 37.1, 12: 38.2, 13: 39.4, 14: 46.1, 15: *S. aureus* ATCC 25923 (pozitif kontrol, 458 bp), 16: negatif kontrol (su)

BPA besiyerinde *S. warneri* ve *Proteus penneri*, MSA besiyerinde ise koagülaz negatif, mannitol pozitif *S. saccharolyticus*, *S. sciuri* ve *S. xylosus* türleri *S. aureus* ile benzer koloni morfolojisi göstermektedir (Abolghait vd., 2020). Bu nedenle çalışma kapsamında *nuc* genine özgül primer çifti ile amplikon vermeyen izolatların *S. warneri*, *P. penneri*, *S. saccharolyticus*, *S. sciuri* veya *S. xylosus* türü üyesi olabileceği düşünülmektedir. *nuc* genine özgül primer çifti ile amplikon vermeyen izolatların tür düzeyinde kesin tanısının 16S rDNA dizi analizi ile yapılması gerekmektedir. *S. aureus*'un tanısı için bir çok çalışmada *nuc* geni varlığı araştırılmıştır (Brakstad vd., 1992; Kim vd., 2001; Kroning vd., 2016; Kayili ve Sanlibaba, 2020). Çalışma kapsamında kullanılan Tulum peyniri örneklerinde *S. aureus* bulunma sıklığı % 13.33 (10/75) olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde ve yurt dışında çeşitli peynir örneklerinin kullanıldığı farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda ise *S. aureus* bulunma sıklığı bu çalışmada bulunan değerden yüksek bulunmuştur (Cremonesi vd., 2007; Güven vd., 2010; Yücel ve Anıl, 2011; Bingöl ve Özmen Toğay, 2017; Kayili ve Sanlibaba, 2020). Cremonesi vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada İtalya'da çiğ süttten yapılan 33 peynirde *S. aureus* varlığı araştırılmış ve çalışmada kullanılan peynir örneklerinin tamamında (% 100) *S. aureus* varlığı rapor edilmiştir. Güven vd. (2010) süt, süt ürünleri, et ve et ürünlerinden oluşan toplam 413 gıda örneğinde *S. aureus* varlığını araştırmışlar ve peynir örneklerinde *S. aureus* bulunma sıklığının % 27.9 olduğunu rapor etmişlerdir. Yücel ve Anıl (2011) Ankara ilinden çeşitli firma ve mandıralardan temin ettikleri 90 peynir (61 beyaz peynir, 13 kaşar peyniri, 11 tulum peyniri ve 5 lor peyniri) örneğinde *S. aureus* izolasyonu yapmışlar ve peynir örneklerinde *S. aureus* bulunma sıklığını % 20.2 olarak bulmuşlardır. Bingöl ve Özmen Toğay (2017) 52 Urfa peyniri örneğinin 48'inde (% 92) *S. aureus* varlığını tespit etmişlerdir. Kayili ve Sanlibaba (2020) ise 387 geleneksel peynir örneğinde *S. aureus* bulunma sıklığının % 21.96 olduğunu rapor etmişlerdir. Peynir yüksek seviyede besinsel içeriği nedeniyle *S. aureus* gelişimi için oldukça uygun bir gıda maddesidir. Peynirde *S. aureus* bulunması temelde çiğ süt kaynaklı olmakla birlikte, peynir üretiminde mastitisli süt kullanımı, süttün pastörizasyon sonrası kontamine olması ve peynirin üretimi ve üretim sonrası *S. aureus* ile kontamine olmasından kaynaklanmaktadır (Baran vd., 2017). Bu çalışma kapsamında da Isparta ilinden temin edilen Tulum peyniri örneklerinin % 13.33'ünde *S. aureus*'a rastlanılmasının nedeni peynir üretiminde çiğ süt kullanılması veya *S. aureus* taşıyıcısı kişiler tarafından peynire işleme, tulum basma gibi işlemler ile depolama veya satış sırasındaki kontaminasyon kaynaklı olabilir.

PZR analizi sonucu *nuc* geni varlığı doğrulanan suşların koagülaz aktivitesi incelenmiş ve *nuc*⁺ izolatların tamamının koagülaz pozitif özellikte olduğu belirlenmiştir. Koagülaz testi *S. aureus*'un diğer stafilokoklardan ayırımında kullanılmaktadır. Rutin laboratuvar uygulamalarında *S. aureus*'un diğer stafilokoklardan ayırımında koagülaz üretimi sıklıkla tek kriter olarak kullanılmaktadır. Ancak *S. aureus* dışında koagülaz pozitif stafilokokların da olduğu göz ardı edilmemelidir (Anonymous, 2020). Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda koagülaz negatif *S. aureus* suşlarının da olduğu rapor edilmiştir (Vandenesch vd., 1994; Olver vd., 2005; Bayston, 2006). Bu nedenle bu çalışma kapsamında koagülaz testi izolatların *nuc* geni varlığının araştırılmasından sonra yapılmıştır.

Antibiyotik disk difüzyon testi sonucu Tulum peynirinden izole edilen 15 *S. aureus* suşundan sadece 4'ünün (% 26.66) (27.2, 27.3, 27.8 ve 31.6) test edilen bütün antibiyotiklere karşı duyarlı olduğu belirlenmiştir. İzole edilen diğer *S. aureus* suşlarının ise çalışmada kullanılan antibiyotiklere karşı farklı seviyelerde direnç gösterdiği

belirlenmiştir (Tablo 2). Elde edilen bu sonuca benzer olarak, Malezya’da yapılan bir çalışmada 50 süt ve süt ürünü örneğinden izole edilen 5 *S. aureus* izolatının 3’ünün çalışmada kullanılan antibiyotiklerin tamamına duyarlı olduğu rapor edilmiştir (Sasidharan vd., 2011). Vitale vd. (2018) de keçi, inek ve koyun sütü ve peynir örneklerinden izole ettikleri 61 *S. aureus* suşunun 7 farklı antibiyotiğe (gentamisin, kanamisin, linkomisin, eritromisin, tetrasiklin, sefoperazon ve penisilin G) karşı antibiyotik direnç profillerini araştırdıkları çalışmalarında, izolatların % 27.86’sının (17/61) tüm antibiyotiklere duyarlı olduğunu rapor etmişlerdir.

Tablo 2. *S. aureus* Suşlarının Antibiyotik Direnç ve Duyarlılık Profilleri (Antibiotic Resistance and Susceptibility Profiles of *S. aureus* Strains)

İZOLAT NO	ANTİBİYOTİKLER ¹															
	K	DO	C	TEC	E	CN	FOX	MH	QD	TE	LZD	AK	SXT	RD	CIP	P
5.3	S ²	S	S	R	I	S	I	S	S	S	S	S	I	I	S	R
7.2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S	S	R
16.3	S	S	S	S	S	S	I	S	S	S	S	S	S	S	S	S
27.2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
27.3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
27.8	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
31.6	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
31.7	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R
37.1	S	S	S	S	I	I	S	S	I	S	S	R	S	S	I	R
38.6	S	S	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R
62.1	S	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S	S	R
66.3	S	S	S	S	S	S	S	S	I	S	S	I	I	R	I	R
66.4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R
66.5	S	S	S	S	I	S	S	S	I	S	S	I	S	I	I	S
67.2	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R

¹K: kanamisin (30 µg); DO: doksisisiklin (30 µg); C: kloramfenikol (30 µg); TEC: teikoplanin (30 µg); E: eritromisin (15 µg); CN: gentamisin (10 µg); FOX: sefoksitin (30 µg); MH: minosiklin (30 µg); QD: kinupristin/dalfopristin (15 µg); TE: tetrasiklin (30 µg); LZD: linezolid (30 µg); AK: amikasin (30 µg); SXT: trimetoprim/sulfametoksazol (1.25/23.75 µg); RD: rifampin (5 µg); CIP: siprofloksasin (5 µg); P: penisilin (10 U).

²S: Duyarlı, I: Orta seviyede dirençli, R: Dirençli

S. aureus suşlarının antibiyotik direnç ve duyarlılık yüzdeleri Tablo 3’de verilmiştir. *S. aureus* suşlarının en duyarlı olduğu antibiyotiklerin doksisisiklin, kanamisin, linezolid, minosiklin ve tetrasiklin olduğu belirlenmiştir. Bu antibiyotikleri takiben izolatların % 93.3’ü (14/15) gentamisin ve kloramfenikole, % 86.66’sı (13/15) sefoksitin ve teikoplanine, % 80’i (12/15) amikasin, eritromisin, kinupristin/dalfopristin, rifampin ve siprofloksasine, % 73.33’ü trimetoprim/sulfametoksazole ve % 40’ı penisilin G’ye duyarlı bulunmuştur. Bu sonuçlara benzer olarak, Kayili ve Sanlibaba (2020) geleneksel peynirlerden izole edilen *S. aureus* izolatlarının tamamının (% 100) linezolide, büyük bir çoğunluğunun ise kloramfenikol (% 97.65), doksisisiklin (% 92.94), tetrasiklin (% 90.59), teikoplanin (% 78.82), siprofloksasin (% 71.77) ve rifampine (% 68.23) duyarlı olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan araştırmacılar bu çalışmada elde edilen sonuçlara kıyasla geleneksel peynirlerden izole edilen *S. aureus* suşlarının gentamisin (% 58.83), kanamisin (% 55.29), sefoksitin (%48.24) ve eritromisin (% 30.59) duyarlılık oranlarının daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir.

Tablo 3. *S. aureus* Suşlarının Antibiyotik Direnç ve Duyarlılık Yüzdeleri (Antibiotic Resistance and Sensitivity Percentages of *S. aureus* Strains)

ANTİBİYOTİKLER	S ¹		I		R	
	n ²	%	n	%	n	%
Penisilin G	6	40	0	0	9	60
Sefoksitin	13	86.66	2	13.33	0	0
Tetrasiklin	15	100	0	0	0	0
Doksisisiklin	15	100	0	0	0	0
Minosiklin	15	100	0	0	0	0
Eritromisin	12	80	3	20	0	0
Amikasin	12	80	2	13.33	1	6.66
Gentamisin	14	93.33	1	6.66	0	0
Kanamisin	15	100	0	0	0	0
Siprofloksasin	12	80	3	20	0	0
Kloramfenikol	14	93.33	0	0	1	6.66
Trimetoprim/sulfametoksazol	11	73.33	2	13.33	2	13.33
Linezolid	15	100	0	0	0	0
Rifampin	12	80	2	13.33	1	6.66
Kinupristin/dalfopristin	12	80	3	20	0	0
Teikoplanin	13	86.66	0	0	2	13.33

¹S: Duyarlı, I: Orta seviyede dirençli, R: Dirençli; ²n: *S. aureus* sayısı

S. aureus izolatlarının en dirençli (% 60, 9/15) olduğu antibiyotiğin penisilin G olduğu belirlenmiştir. Penisilin G’den sonra izolatların teikoplanin (% 13.33, 2/15), trimetoprim/sulfametoksazol (% 13.33, 2/15), amikasin (% 6.66, 1/15), kloramfenikol (% 6.66, 1/15) ve rifampin (% 6.66, 1/15) antibiyotiklerine karşı dirençli olduğu

belirlenmiştir (Tablo 3). *S. aureus* β -laktamaz üretimi ve modifiye penisilin bağlayıcı proteinlerin (PBP) üretimi olmak üzere iki ana direnç mekanizmasıyla β -laktam antibiyotiklere direnç kazanmaktadır (Foster, 2017; Pal vd., 2020). *S. aureus*'ta penisilin direnci oldukça yaygın karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuca benzer olarak, geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda da çiğ süt ve farklı peynir örneklerinden izole edilen *S. aureus* izolatlarının penisiline yüksek oranda direnç gösterdiği rapor edilmiştir (Miranda vd., 2009; Al-Ashmawy vd., 2016; Vitale vd., 2018; Kayili ve Sanlibaba, 2020). Çalışma kapsamında tulum peynirinden izole edilen *S. aureus* izolatlarının hiç birinde sefoksitin direncinin tespit edilmemiş olması bir avantajdır. Sefoksitin disk difüzyon testi metisilin dirençli *S. aureus*'ların tespitinde fenotipik marker olarak kullanılmaktadır (Abolghait vd., 2020; Sadiq vd., 2020).

S. aureus izolatlarında metisilin (*mecA*), penisilin (*blaZ*), gentamisin (*aac(6')-Ie-aph(2'')-Ia*, *aph(2'')-Ib*, *aph(2'')-Ic*, *aph(2'')-Id*), streptomisin (*aph(3')-IIIa*, *ant(4')-Ia*, *ant(6')-Ia*), eritromisin (*ermA*, *ermB*, *ermC*, *msrA*, *msrB*), tetrasiklin (*tekK*, *tetM*, *tetL*) ve vankomisin (*vanA*, *vanB*) direnç genlerinin araştırıldığı PZR denemelerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. PZR işlemi sonucu, izolatların % 33.33'ünde (5/15) antibiyotik direnç geni varlığı saptanmıştır. *S. aureus* izolatlarında *mecA*, *blaZ*, *msrA* ve *msrB* geni varlığı tespit edilmiştir. *S. aureus* 5.3 ve 37.1 suşlarında *mecA*, *blaZ*, *msrA* ve *msrB* genleri, *S. aureus* 16.3 suşunda *mecA* geni, *S. aureus* 66.3 ve 66.5 suşlarında ise *blaZ* geni varlığı belirlenmiştir. *S. aureus* izolatlarında en sık rastlanan (% 26.67, 4/15) antibiyotik direnç geninin *blaZ* geni olduğu tespit edilmiştir. *blaZ* geni tarafından kodlanan β -laktamaz üretimi β -laktam halkasını hidrolize ederek penisilini inaktive etmektedir (El Feghaly vd., 2012). PZR denemesi sonucu fenotipik olarak penisiline dirençli bulunan 9 suştan yalnız 5.3, 37.1 ve 66.3 kodlu suşlarda *blaZ* geni varlığı saptanmıştır. Fenotipik olarak penisiline dirençli olan 7.2, 31.7, 38.6, 62.1, 66.4 ve 67.2 kodlu izolatlarda ise *blaZ* geni varlığı tespit edilmemiştir. Benzer olarak Frey vd. (2013) ve Yang vd. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda da penisiline dirençli stafilokok suşlarında *blaZ* geni varlığı belirlenmemiştir. Penisiline dirençli ancak *blaZ* geni içermeyen *S. aureus* suşlarında penisilin direncinin başka bir direnç mekanizmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan fenotipik olarak penisiline duyarlı olduğu tespit edilen 66.5 kodlu suşta ise *blaZ* geni varlığı tespit edilmiştir. Benzer olarak farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da penisilin duyarlı stafilokok suşlarında *blaZ* geni varlığı bildirilmiştir (Kaase vd., 2008; El Feghaly vd., 2012; Ferreira vd., 2017). Çalışma kapsamında *blaZ* geni dışında izolatların % 20'sinde (3/15) *mecA* (Şekil 3), % 13.33'ünde (2/15) ise *msrA* ve *msrB* geni varlığı belirlenmiştir. Çalışmada varlığı araştırılan diğer antibiyotik direnç genlerine hiçbir izolatta rastlanılmamıştır. *mecA* geni PBP2a veya PBP2' olarak isimlendirilen alternatif bir penisilin bağlayıcı protein kodlamaktadır. PBP2a, β -laktam antibiyotiklere çok düşük afinite göstermektedir. Bu da bakterinin antibiyotiğe dirençli olmasına neden olmaktadır (Pal vd., 2020). *S. aureus*'da metisilin direncine neden olan *mecA* geni oldukça korunmuş bir gen olup, metisilin dirençli *S. aureus* suşlarının genotipik olarak belirlenmesinde biyomarker olarak kullanılmaktadır (Sadiq vd., 2020). Çalışma kapsamında *mecA* geni içerdiği tespit edilen 5.3 ve 16.3 kodlu suşların disk difüzyon testi sonucu sefoksitine orta seviyede dirençli, 37.1 kodlu suşun ise sefoksitine duyarlı olduğu belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda disk difüzyon testi sonucu sefoksitine dirençli bulunan *S. aureus* suşlarının tamamında *mecA* geni varlığı bildirilmiştir (Karmakar vd., 2016; Wu vd., 2018; Wu vd., 2019; Abolghait vd., 2020). Mimica vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada ise 37.1 kodlu suşta olduğu gibi fenotipik olarak sefoksitine duyarlı olduğu tespit edilen 4 *S. aureus* izolatında *mecA* geni varlığı rapor edilmiştir. PZR denemeleri sonucu *msrA* ve *msrB* genleri varlığı eritromisine orta seviyede dirençli 5.3 ve 37.1 kodlu suşlarda gösterilmiştir. *msrA* ve *msrB* genleri ATP-bağımlı efluks pompası kodlayarak indüklenebilir eritromisin direncine neden olmaktadır (Pyzik vd., 2019; Pal vd., 2020).



Şekil 3. *S. aureus* suşlarında *mecA* geni varlığının PZR ile tespiti (Detection of *mecA* gene presence by PCR in *S. aureus* isolates). 1: 5.3 (310 bç), 2: 7.2, 3: 16.3 (310 bç), 4: 27.2, 5: 27.3, 6: 27.8, 7: 31.6, 8: 31.7, 9: 37.1 (310 bç), 10: Genesta™ 100 bp DNA Marker, 11: 38.6, 12: 62.1, 13: 66.3, 14: 66.4, 15: 66.5, 16: 67.2, 17: *S. aureus* ATCC 25923 (pozitif kontrol, 310 bç), 18: negatif kontrol (su)

Tablo 4. *S. aureus* Suşlarında Antibiyotik Direnç Genlerinin Varlığı (The Presence of Antibiotic Resistance Genes in *S. aureus* Strains)

ANTİBİYOTİK DİRENÇ GENLERİ	<i>S. aureus</i> İZOLAT KODU														
	5.3	7.2	16.3	27.2	27.3	27.8	31.6	31.7	37.1	38.6	62.1	66.3	66.4	66.5	67.2
<i>mecA</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>blaZ</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-
<i>aac(6')-Ie-aph(2'')-Ia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>aph(2'')-Ib</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>aph(2'')-Ic</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>aph(2'')-Id</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>aph(3')-IIIa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>ant(4')-Ia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>ant(6')-Ia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>ermA</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>ermB</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>ermC</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>msrA</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>msrB</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>tetK</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>tetM</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>tetL</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>vanA</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>vanB</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2018-6913 nolu 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)

- Abolghait, S.K., Fathi, A.G., Youssef, F.M., Algammal, A.M., 2020. Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus (MRSA) Isolated from Chicken Meat and Giblets Often Produces Staphylococcal Enterotoxin B (SEB) in Non-Refrigerated Raw Chicken Livers. International Journal of Food Microbiology, 328, 108669.
- Al-Ashmawy, M.A., Sallam K.I., Abd-Elghany, S.M., Elhadidy, M., Tamura, T., 2016. Prevalence, Molecular Characterization, and Antimicrobial Susceptibility of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus Isolated from Milk and Dairy Products. Foodborne Pathogens and Disease, 13(3), 156-162.
- Anonymous, 2020. UK standards for microbiology investigations. Identification of Staphylococcus species, Micrococcus species and Rothia species. UK SMI ID: 7, Issue no: 4, Issue date: 26.05.20, England.
- Baran, A., Erdoğan, A., Turgut, T., Adiguzel, M.C., 2017. A Review on the Presence of Staphylococcus aureus in Cheese. Turkish Journal of Nature and Science, 6, 100-105.
- Bayston, R., 2006. Coagulase-Negative Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus. Journal of Hospital Infection, 62(1), 127.
- Bingöl, K.K., Özmen Toğay, S., 2017. Urfa Peynirlerinden İzole Edilen Staphylococcus aureus Suşlarında Enterotoksin Üretim Potansiyeli ve Metisilin Dirençliliği. Akademik Gıda, 15(1), 29-35.
- Bitrus, A.A., Peter, O.M., Abbas, M.A., Goni, M.D., 2018. Staphylococcus aureus: A Review of Antimicrobial Resistance Mechanisms. Veterinary Sciences: Research and Reviews, 4(2), 43-54.
- Black, R.E., Williams, S.M., Jones, L.E., Goulding, A., 2002. Children Who Avoid Drinking Cow Milk Have Low Dietary Calcium Intakes and Poor Bone Health. The American Journal of Clinical Nutrition, 76(3), 675-680.
- Brakstad, O.G., Aasbakk, K., Maeland, J.A., 1992. Detection of Staphylococcus aureus by Polymerase Chain Reaction Amplification of the nuc Gene. Journal of Clinical Microbiology, 30(7), 1654-1660.
- Cancilla, M., Powell, J.B., Hillier, A.J., Davidson, B.E., 1992. Rapid Genomic Fingerprinting of Lactococcus lactis Strains by Arbitrarily Primed Polymerase Chain Reaction with Phosphorus-32 and Fluorescent Labels. Applied and Environmental Microbiology, 58(5), 1772-1775.
- Cariolato, D., Andrighetto, C., Lombardi, A., 2008. Occurrence of Virulence Factors and Antibiotic Resistances in Enterococcus faecalis and Enterococcus faecium Collected from Dairy and Human Samples in North Italy. Food Control, 19(9), 886-892.
- CLSI, 2016. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; 26th Informational Supplement M100-S-26. Pennsylvania: Wayne, United States of America.
- Cremonesi, P., Perez, G., Pisoni, G., Moroni, P., Morandi, S., Luzzana, M., Brasca, M., Castiglioni, B., 2007. Detection of Enterotoxigenic Staphylococcus aureus Isolates in Raw Milk Cheese. Letters in Applied Microbiology, 45(6), 586-591.
- Depardieu, F., Perichon, B., Courvalin, P., 2004. Detection of van Alphabet and Identification of Enterococci and Staphylococci at the Species Level by Multiplex PCR. Journal of Clinical Microbiology, 42(12), 5857-5860.
- Dutka-Malen, S., Evers, S., Courvalin, P., 1995. Detection of Glycopeptide Resistance Genotypes and Identification to the Species Level of Clinically Relevant Enterococci by PCR. Journal of Clinical Microbiology, 33(1), 24-27.

- El Feghaly, R.E., Stamm, J.E., Fritz, S.A., Burnham, C.D., 2012. Presence of the blaZ Beta-Lactamase Gene in Isolates of *Staphylococcus aureus* that Appear Penicillin Susceptible by Conventional Phenotypic Methods. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 74(4), 388-393.
- Ferreira, A.M., Martins, K.B., da Silva, V.R., Mondelli, A.L., da Cunha, M. de L.R. de S., 2017. Correlation of Phenotypic Tests with the Presence of The blaZ Gene for Detection of Beta-Lactamase. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(1), 159-166. doi:10.1016/j.bjm.2016.10.011
- Foster, T.J., 2017. Antibiotic Resistance in *Staphylococcus aureus*. *Current Status and Future Prospects*. *FEMS Microbiology Reviews*, 41, 430-449.
- Frey, Y., Rodriguez, J.P., Thomann, A., Schwendener, S., Perreten, V., 2013. Genetic Characterization of Antimicrobial Resistance in Coagulase-Negative *Staphylococci* from Bovine Mastitis Milk. *Journal of Dairy Science*, 96, 2247-2257.
- Gandra, E.A., Fernandez, M.A., Silva, J.A., Silva, W.P.D., 2011. Standardization of a Multiplex PCR for the Identification of Coagulase-Positive *Staphylococcus*. *Food Science and Technology*, 31(4), 946-949.
- Güven, K., Mutlu, M.B., Gülbandır, A., Cakır, P., 2010. Occurrence and Characterization of *Staphylococcus aureus* Isolated from Meat and Dairy Products Consumed in Turkey. *Journal of Food Safety*, 30(1), 196-212.
- Hennekinne, J.A., De Buyser, M. L., Dragacci, S., 2012. *Staphylococcus aureus* and Its Food Poisoning Toxins: Characterization and Outbreak Investigation. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(4), 815-836.
- Janštová, B., Necidová, L., Skockova, A., Janštová, B., 2014. Staphylococcal Enterotoxin Production in Model Samples of Milk and Fresh Cheese. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(4), 389-392.
- Kaase, M., Lenga, S., Friedrich, S., Szabados, F., Sakinc, T., Kleine, B., Gatermann, S.G., 2008. Comparison of Phenotypic Methods for Penicillinase Detection in *Staphylococcus aureus*. *Clinical Microbiology and Infection*. 14(6), 614-616.
- Karmakar, A., Dua, P., Ghosh, C., 2016. Biochemical and Molecular Analysis of *Staphylococcus aureus* Clinical Isolates from Hospitalized Patients. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 9041636.
- Kayili, E., Sanlıbaba, P., 2020. Prevalence, Characterization and Antibiotic Resistance of *Staphylococcus aureus* Isolated from Traditional Cheeses in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1441-1451.
- Kim, C. H., Khan, M., Morin, D. E., Hurley, W. L., Tripathy, D. N., Kehrli Jr., M., Oluoch, A. O., Kakoma, I., 2001. Optimization of the PCR for Detection of *Staphylococcus aureus* nuc Gene in Bovine Milk. *Journal of Dairy Science*, 84(1), 74-83.
- Kot, B., Wierchowska, K., Piechota, M., Grużewska, A., 2020. Antimicrobial Resistance Patterns in Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* from Patients Hospitalized during 2015-2017 in Hospitals in Poland. *Medical Principles and Practice*, 29, 61-68.
- Kroning, I. S., Iglesias, M. A., Sehn, C. P., Gandra, T. K. V., Mata, M. M., da Silva, W. P., 2016. *Staphylococcus aureus* Isolated from Handmade Sweets: Biofilm Formation, Enterotoxigenicity and Antimicrobial Resistance. *Food Microbiology*, 58, 105-111.
- Kümmel, J., Stessl, B., Gonano, M., Walcher, G., Bereuter, O., Fricker, M., Grunert, T., Wagner, M., Ehling-Schulz, M., 2016. *Staphylococcus aureus* Entrance into the Dairy Chain: Tracking *S. aureus* from Dairy Cow to Cheese. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1603.
- Licitra, G., 2013. Etymologia: *Staphylococcus*. *Emerging Infectious Diseases*, 19(9), 1553.
- Lina G., Quaglia A., Reverdy M.E., Leclercq R., Vandenesch F., Etienne J., 1999. Distribution of Genes Encoding Resistance to Macrolides, Lincosamides, and Streptogramins Among *Staphylococci*. *Antimicrob Agents and Chemotherapy*, 43(5), 1062-1066.
- Martineau, F., Picard F.J., Lansac, N., Ménard, C., Roy, P.H., Ouellette, M., Bergeron, M.G., 2000. Correlation Between the Resistance Genotype Determined by Multiplex PCR Assays and the Antibiotic Susceptibility Patterns of *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 44(2), 231-238.
- Mimica, M.J., Berezin, E.N., Carvalho, R.L.B., Mimica, I.M., Mimica, L.M.J., Sáfiadi, M.A.P., Schneider, E., Caiiffa-Filho, H.H., 2007. Detection of Methicillin Resistance in *Staphylococcus aureus* Isolated from Pediatric Patients: Is the Cefoxitin Disk Diffusion Test Accurate Enough? *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 11(4), 415-417.
- Miranda, J. M., Mondragón, A., Vázquez, B. I., Fente, C. A., Cepeda, A., Franco, C. M., 2009. Microbiological Quality and Antimicrobial Resistance of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* Isolated from Conventional and Organic "Arzúa-Ulloa" Cheese. *CyTA-Journal of Food*, 7(2), 103-110.
- Niu, H., Yu, H., Hu, T., Tian, G., Zhang, L., Guo, X., Hu, H., Wang, Z., 2016. The Prevalence of Aminoglycoside-Modifying Enzyme and Virulence Genes Among Enterococci with High-Level Aminoglycoside Resistance in Inner Mongolia, China. *Brazilian Journal of Microbiology*. 47(3), 691-696.
- Olver, W. J., Carmichael, I. C., Ziglam, H. M., Morrison, D., 2005. Bacteraemia with Tube-Coagulase-Negative Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Hospital Infection*, 60(1), 87-88.
- Ouoba, L.I.I., Lei, V., Jensen, L.B., 2008. Resistance of Potential Probiotic Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria of African and European Origin to Antimicrobials: Determination and Transferability of the Resistance Genes to Other Bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 121(2), 217-224.
- Pal, M., Kerorsa, G.B., Marami, L.M., Kandi, V., 2020. Epidemiology, Pathogenicity, Animal Infections, Antibiotic Resistance, Public Health Significance, and Economic Impact of *Staphylococcus aureus*: A Comprehensive Review. *American Journal of Public Health Research*, 8(1), 14-21.
- Pyzik, E., Marek, A., Pysniak, D.S., Chmiel, R.U., Jarosz, L.S., Podebska, I.J., 2019. Detection of Antibiotic Resistance and Classical Enterotoxin Genes in Coagulase Negative *Staphylococci* Isolated from Poultry in Poland. *Journal of Veterinary Research*, 63, 183-190.
- Sadiq, A., Samad, M., Saddam, Basharat, N., Ali, S., Roohullah, Saad, Z., Khan, A.N., Ahmad, Y., Khan, A., Khan, J., 2020. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in slaughter houses and meat shops in capital territory of Pakistan during 2018-2019. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1-12.
- Sasidharan, S., Prema, B., Latha, L. Y., 2011. Antimicrobial Drug Resistance of *Staphylococcus aureus* in Dairy Products. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2), 130-132.
- Serwecińska, L., 2020. Antimicrobials and Antibiotic-Resistant Bacteria: A Risk to the Environment and to Public Health. *Water*, 12, 3313.

- Suliaman, A.M.E., Ali, R.A.M., Razig, K.A.A., 2012. Production and Effect of Storage in the Chemical Composition of Mozzarella Cheese. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2(3), 21-26.
- Tekinşen, K.K., Uçar, G., 2007. Konya Yöresinde Üretilen Mahalli Tulum Peynirleri. *Akademik Gıda*, 4(6), 33-37.
- Temiz, A., 1994. Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri. Şafak Matbaacılık Ltd. Şti., Ankara, Türkiye, 266 s. ISBN:975-95834-0-2
- Tomar, O., Akarca, G., Beykaya, M., Çağlar, A., 2018. Some Characteristics of Erzincan Tulum Cheese Produced Using Different Probiotic Cultures and Packaging Material. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 24(5), 647-654.
- Tong, S.Y.C., Davis, J.S., Eichenberger, E., Holland, T.L., Fowler, V.G. Jr., 2015. Staphylococcus aureus Infections: Epidemiology, Pathophysiology, Clinical Manifestations, and Management. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(3), 603-661.
- Turner, N.A., Sharma-Kuinkel, B.K., Maskarinec, S.A., Eichenberger, E.M., Shah, P.P., Carugati, M., Holland, T.L., Fowler, V.G. 2019. Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus: An Overview of Basic and Clinical Research. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 203-218.
- Vakulenko, S.B., Donabedian, S.M., Voskresenskiy, A.M., Zervos, M.J., Lerner, S.A., Chow, J.W., 2003. Multiplex PCR for Detection of Aminoglycoside Resistance Genes in Enterococci. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47(4), 1423-1426.
- Vandenesch, F., Lebeau, C., Bes, M., McDevitt, D., Greenland, T., Novick, R. P., Etienne, J., 1994. Coagulase Deficiency in Clinical Isolates of Staphylococcus aureus Involves Both Transcriptional and Post-Transcriptional Defects. *Journal of Medical Microbiology*, 40(5), 344-349.
- Vestergaard, M., Frees, D., Ingmer, H., 2019. Antibiotic resistance and the MRSA problem. In *Gram Positive Pathogens*, ASM Press, Washington DC, 747-765.
- Vitale, M., Gaglio, S., Galluzzo, P., Cascone, G., Piraino, C., Di Marco Lo Presti, V., Alduina, R., 2018. Antibiotic Resistance Profiling, Analysis of Virulence Aspects and Molecular Genotyping of Staphylococcus aureus Isolated in Sicily, Italy. *Foodborne Pathogens and Disease*, 15(3), 177-185.
- Wu, S., Huang, J., Wu, Q., Zhang, J., Zhang, F., Yang, X., Wu, H., Zeng, H., Chen, M., Ding, Y., Wang, J., Lei, T., Zhang, S. Xue L., 2018. Staphylococcus aureus Isolated from Retail Meat and Meat Products in China: Incidence, Antibiotic Resistance and Genetic Diversity. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1-14.
- Wu, S., Zhang, F., Huang, J., Wu, Q., Zhang, Y., Xue, L., Wang, J., Ding, Y., 2019. Phenotypic and Genotypic Characterization of PVL-Positive Staphylococcus aureus Isolated from Retail Foods in China. *International Journal of Food Microbiology*, 304, 119-126.
- Yang, F., Wang, O., Wang, X., Wang, L., Xiao, M., Li, X., Luo, J., Zhang, S., Li, H., 2015. Prevalence of blaZ Gene and Other Virulence Genes in Penicillin-Resistant Staphylococcus aureus Isolated from Bovine Mastitis Cases in Gansu, China. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39: 634-636.
- Yogurtcu, N.N., Tuncer, Y., 2013. Antibiotic Susceptibility Patterns of Enterococcus Strains Isolated from Turkish Tulum Cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 66, 236-242.
- Yücel, N., Anıl, Y., 2011. Çiğ Süt ve Peynir Örneklerinden Staphylococcus aureus ve Koagülaz Negatif Stafilokokların İdentifikasyonu ve Antibiyotik Duyarlılığı. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68(2), 73-78.
- Zhang, K., Sparling, J., Chow, B.L., Elsayed, S., Hussain, Z., Church, D.L., Gregson, D.B., Louie, T., Conly, J.M., 2004. New Quadriplex PCR Assay for Detection of Methicillin and Mupirocin Resistance, and Simultaneous Discrimination of Staphylococcus aureus from Coagulase-Negative Staphylococci. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(11), 4947-4955.



AN ARDUINO BASED EXPERIMENT TO PROVE AND TEACH MALUS' LAW

Esra BİLAL ÖNDER^{1*}, Fatih ÖNDER², Mehmet OĞUR³

¹ Dokuz Eylül University, İzmir Vocational School, Department of Electronical Automation, İzmir, Turkey

² Dokuz Eylül University, Buca Faculty of Education, Department of Physics Education, İzmir, Turkey

³ Bahçeşehir College, İzmir, Turkey

Keywords

Malus' Law,
Polarization,
Arduino,
Experiment.

Abstract

The polarization of light is one of the best representations of the wave character of light, having a wide range of applications ranging from spectroscopy to sunglasses. The relationship between light intensity and the angle between the transmission axis of the polarizer and the analyzer can be explained by Malus' law. In this study, an experiment is presented that has been designed to prove Malus' law using simple tools. The experiment consists of a lightproof box having an analyzer, a polarizer, and an LDR, to create a dark environment, a microcontroller, the Arduino Nano, to collect data from the LDR and the Polarization of Light (PoL) application developed by the researchers to analyze and graph the collected data. In the experiment, a graph in which the light intensity depends on the angle is drawn in real time on a phone screen with an Android operating system. In the experiment, a graph of the light intensity depending on the angle is drawn in real time on a phone having an Android operating system. The experiment allows researchers and students to directly correlate the angle change between the analyzer and polarizer axes with the light intensity according to Malus' law.

MALUS YASASINI KANITLAMAK VE ÖĞRETMEK AMACIYLA ARDUINO TEMELLİ BİR DENEY

Anahtar Kelimeler

Malus Kanunu,
Kutuplanma,
Arduino,
Deney.

Öz

Spektroskopiden güneş gözlüklerine kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan ışığın kutuplanması olayı, ışığın dalga karakterinin en iyi temsillerinden biridir. Işık şiddeti ile polarizör ve analizörün iletim eksenleri arasındaki açı arasındaki ilişki Malus yasası kullanılarak açıklanabilir. Bu çalışmada, Malus yasasını kanıtlamak için basit araçlar kullanarak tasarlanmış bir deney sunulmaktadır. Deney, ışık geçirmez ortam oluşturmak için kullanılan ve içerisine bir analizör, bir polarizör ve bir LDR yerleştirilmiş bir ışık geçirmez kutu, LDR'den gelen verileri toplamak için kullanılan bir mikrodenetleyici olan Arduino Nano ve toplanılan verilerin analiz edilerek grafiğe dönüştürülmesinde kullanılan, araştırmacılar tarafından geliştirilmiş, Işık Polarizasyonu (PoL) uygulamasından oluşur. Deneyde Android işletim sistemine sahip bir telefon ekranında, gerçek zamanlı olarak, ışık şiddetinin açığa bağlı grafiği çizdirilmektedir. Deney, araştırmacıların ve öğrencilerin, Malus yasasına göre analizör ve polarizör eksenleri arasındaki açı değişimini, ışık şiddeti ile doğrudan ilişkilendirmelerine olanak tanımaktadır.

Alıntı / Cite

Bilal Önder, E., Önder, F., Oğur, M., (2021). An Arduino Based Experiment To Prove and Teach Malus' Law, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 833-842.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Bilal Önder, 0000-0003-3314-5735
F. Önder, 0000-0003-4340-4753
M. Oğur, 0000-0002-7751-2245

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.02.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	08.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: esra.bilal@deu.edu.tr, +90-232-301-2579

1. Introduction

The polarization of light is an important subject that allows students to gain insight into the wave character of light. Light is an electromagnetic wave that has oscillating electric and magnetic field components. Since the electric field of light can vibrate in all possible directions, the light produced from many light sources is unpolarized. The electric field component of light should only be allowed to vibrate on a certain plane for polarization. One of the most common methods preferred for this is to use polarizing materials (Garg, Gupta and Ghosh, 2012). When the unpolarized light is incident to a polarizer, the light having the electric field component that is parallel to the transmission axis of the polarizer can pass through the polarizer. Let the amplitude of the electric field of the wave passing the polarizer be defined as E_0 . If a second polarizer, often referred to as the analyzer, is placed behind the first polarizer with an angle of φ between the transmission axes, only the light having an electric field component with a magnitude of $E_0 \cdot \cos\varphi$ passes behind the analyzer. Since light intensity is directly proportional to the square of the electric field component, the relationship between the light intensity (I_0) incident to the polarizer and the light intensity (I) passing through the analyzer is in Equation 1.

$$I = I_0 \cdot \cos^2\varphi \quad (1)$$

This relationship connecting light intensity to the angle between the transmission axes of the polarizer and the analyzer has been set forth as Malus' law. The graphical representation of Malus' law can be shown in Figure 1. Malus' law can be easily proved by measuring the intensity of light passing through the analyzer.

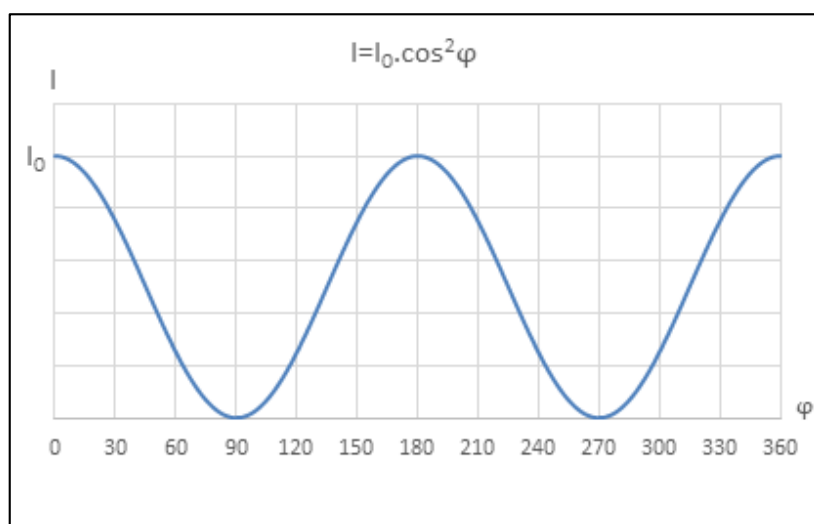


Figure 1. The graphical representation of Malus' law

In the following sections of the study, the previous studies on the teaching of Malus' law are examined and the experiment designed using Arduino in order to prove Malus' law and the results obtained from this experiment are presented. Finally, the research results were discussed in the light of suggestions for future research.

2. Literature Survey

Light polarization is an abstract concept in physics (Matabenu and Langtang, 2018) and is one of the difficult issues of optics (Garg, Sharma and Dhingra, 2011, Çolak and Erol, 2020). However, learning the polarization of light is very important because of its contribution to the development of science and technology (Ishafit, Mundilarto, and Surjono, 2021). Malus' law explaining the polarization of light is an elementary area for experiment in the optical laboratory, and for students' scientific learning (Tavares and Muramatsu, 2008). Moreover, Malus' law experiment demonstrates the transverse nature of electromagnetic waves by establishing the link between optics and electromagnetism (Monteiro, Stari, Cabeza and Martí, 2017). Rosi and Onorato (2020) emphasize that students' learning difficulties are caused by the absence or insufficiency of experimental activities. Therefore, researchers are developing alternatives to the traditional Malus' law experiment using various sensors, smart phones, data collection and analysis tools and software applications.

Leung (1980) used a tungsten-halogen lamp, two lenses for collimated light, two polaroid polarizers, an interference filter, a monochromator, and a photo resistor as a light detector in the experiment designed to prove Malus' law. In this experiment, in which the angle of the polarizer was measured manually, it was emphasized that the age of the polarizers may affect the experimental data above certain wavelengths.

In another experiment designed to prove Malus' law, data from two photoresistors of different diameters as light detector were compared with data from a selenium photocell (Tavares and Muramatsu, 2008). It was observed that photo resistors had more accurate results, and that the difference in diameters of photo resistors affected the conformity to the theoretical curve in the light intensity-angle graph.

In the Malus' law experiment designed by Kadri, Wei and Jaafar (2014), simple and inexpensive materials were used to demonstrate the light polarization quantitatively and qualitatively, and LDR was preferred as the light detector. The researchers state that the use of LDR allows students to both learn about light polarization, and put into practice their electrical and electronic knowledge in the field of optics.

Some researchers, aiming to give students more time to observe the phenomenon, experiment and interpret the results in the experiments of the linear, elliptical and circular polarization of light, have chosen to use light and rotary motion sensors and a computer-based data collection system using DataStudio software, a Science workshop interface, and accessories provided by PASCO Scientific (Amrani and Paradis, 2009; Garg et al, 2011). These researchers have underlined that the experimental setups they developed are suitable for use at the undergraduate level.

In the Malus' law experiment, the use of smartphones with various sensors for measurements can save on sensor costs. In addition, the use of smartphones has some other advantages, such as encouraging students to participate in the experimental process, making the experiment more widely accessible to students (Monteiro et al, 2017), emphasizing the link between complex equations and daily life (Çolak and Erol, 2020), and taking photos and videos of the experiment (Rosi and Onorato, 2020).

In another Malus' law experiment, using smartphones' ambient light sensor to measure the illuminance, and their orientation sensor to measure the angles, simultaneous recording of the illuminance and angle data was made with the Physics Toolbox application (Monteiro et al, 2017). Another approach involved measuring the angle manually with an adjustable goniometer, while the Light Meter application loaded on the smartphone was used to measure the light intensity (Çolak and Erol, 2020). The data were manually recorded in the second experiment, there was a need to transfer the data to a computer and appropriate software in both experiments.

In recent years, Arduino has been used in the Malus' law experiments for various reasons. Arduino is an open-source electronics platform based on easy-to-use hardware and software (What is Arduino?, 2018) and has become a highly popular platform among hobbyists and academics in recent years (El-Abd, 2017). Arduino boards have crucial roles in fields such as smart homes, defense, industries, traffic signal control, medical, laboratories, body control, aerospace, automatic vehicle control, and these controller boards have become the most widely used in the past five years (Kaswan, Singh, and Sagar, 2020). Arduino has become popular with its ready-to-use circuit board and user-friendly IDE (Integrated Development Environment), and it allows an interdisciplinary approach to learn physics (Kotseva, Gaydarova, Angelov and Hoxha, 2019). Moreover, the use of Arduino in Physics experiments also increases students' coding knowledge (Bashir, Alhammedi, Awawdeh, and Faisal, 2019).

Arduino is easily used in the control of the experiment setup, and used in the acquisition of data, such as light intensity and angle in optical experiments. Some experiments using Arduino regarding the polarization of light and Malus' law are summarized below.

Atkin (2018) emphasizes that total internal reflection is often misrepresented in elementary books. He designed an experimental process to measure and display the intensity of reflected and transmitted light by using the Arduino.

Freitas, Cena, Alves and Goncalves (2018) designed an experimental setup that measures the rotation angle of the polarizer using a multi-turn potentiometer mechanically coupled to one of the polarizers. In this study, a potentiometer and a light sensor are connected to the Arduino panel to measure transmitted light intensity, and thus the intensity of the light is measured as a function of the rotation angle. A graphical software was used to draw the light intensity versus angle graph of the data collected from the Arduino IDE's Serial Monitor.

Matabenu and Langtang (2018) developed a learning tool to teach the polarization of light that was effective in improving the student's scientific performance by using a photodiode sensor, the Arduino as controller or processor, and a servo motor to rotate the analyzer.

Ishafit et al (2021) developed light polarization experimental apparatus for a remote laboratory in physics education. In the experiment, a step motor controlled by Arduino was used for rotating the analyzer, and a graphical user interface developed with LabVIEW, for device control and data acquisition. According to the

researchers, this device is also suitable for use in physics teaching in online experimentation through the installation of a webcam in a remote laboratory system (Ishafit et al, 2021).

Polarized light has many uses, ranging from astronomy to spectroscopy (Benenson, 2000). Students' understanding of the polarization of light and Malus' law, therefore, will form the basis of not only optics courses but also many other subjects in different fields of physics and engineering. The aim of this study was to design a low-cost and easily performable an Arduino based experiment that could be used in teaching the polarization of light and Malus' law. The novelty of our work is that the Polarization of Light (PoL) application we have developed allowed the light intensity and angle data collected using Arduino to be converted into graphics on an Android phone simultaneously with the data collection process.

3. Material and Method

3.1. Measuring Light Intensity with an LDR

In the experiment, an LDR (Data Sheet, 1994) was used to determine transmitted light intensity and the data from the LDR collected by using the Arduino Nano, and lastly the Polarization of Light (PoL) application, which can be installed on Android mobile devices, was used to process the data received from the Arduino.

LDRs are circuit elements whose resistance varies depending on the intensity of light. Although light intensity cannot be determined directly with LDR, associating light intensity with its resistance allows it to be used indirectly as a lux meter. In this study, resistance values between the ends of the LDR at 13 different light intensities were measured in order to establish a relationship between the light intensity and the resistance of the LDR. To this end, the LDR was connected to an ohmmeter and the light intensity was measured with a lux meter application downloaded to the mobile phone. Then, an I-R graph given in Figure 2 was drawn in Excel using the collected data.

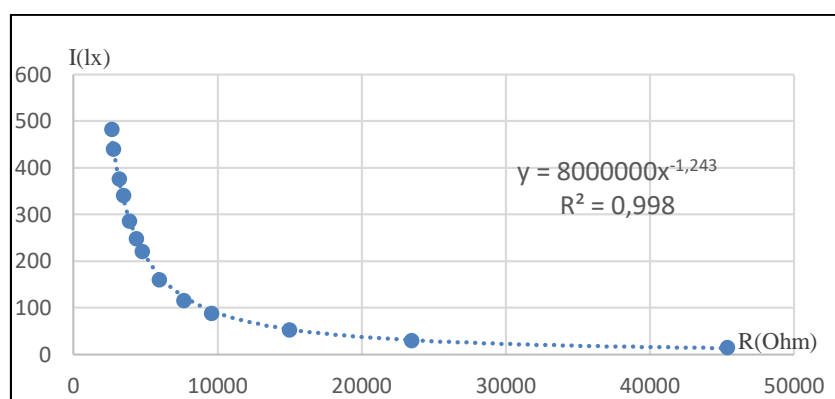


Figure 2. I-R graph

Finally, Equation 2, that gives the resistance-light intensity relation, was derived.

$$I = 8000000.R^{-1,243} (lx) \quad (2)$$

By putting this equation into the PoL application, the resistance values are converted to light intensity values.

3.2. Experimental Setup

In this experiment, a lightproof box consisting of an analyzer, a polarizer, an LDR used to create a dark environment, the Arduino Nano was used for data collection and the Polarization of Light (PoL) application developed by the researchers was used for data processing. The lightproof box was designed using the 3D printer so that the experiment could be performed in bright environments. The box consists of two covers and a fixed body (Figure 3).

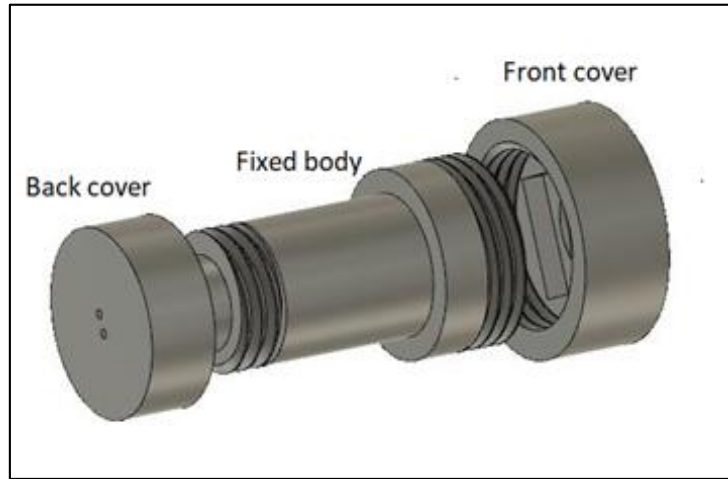


Figure 3. The lightproof box

The LDR used to determine light intensity is placed inside the back cover. In order to convert the data from the LDR to light intensity, the resistance of LDR must first be determined. Although the Arduino can measure potential differences using analog pins, it cannot read the resistance value or current directly. Therefore, a 10kΩ fixed resistor was connected to the LDR in a series. The current of the LDR is then determined by calculating the current flowing through the fixed resistor since the resistor and LDR are in a series. The A0 Pin of the Arduino is connected to one end of the fixed resistance. While the difference of 5V-A0 yields the potential difference between the ends of the resistor, A0-GND provides the voltage of the LDR. The voltage data collected by the Arduino is then sent to the PoL application via the Bluetooth module. In the application, the current across the resistor is calculated by dividing the potential difference between the ends of the resistor by 10000. The resistance of the LDR is determined by dividing the difference A0-GND by the value of this current. The intensity of the light is also calculated using the parameters determined for LDR in Figure 2 and in Equation 2. The circuit diagram is shown in Figure 4.

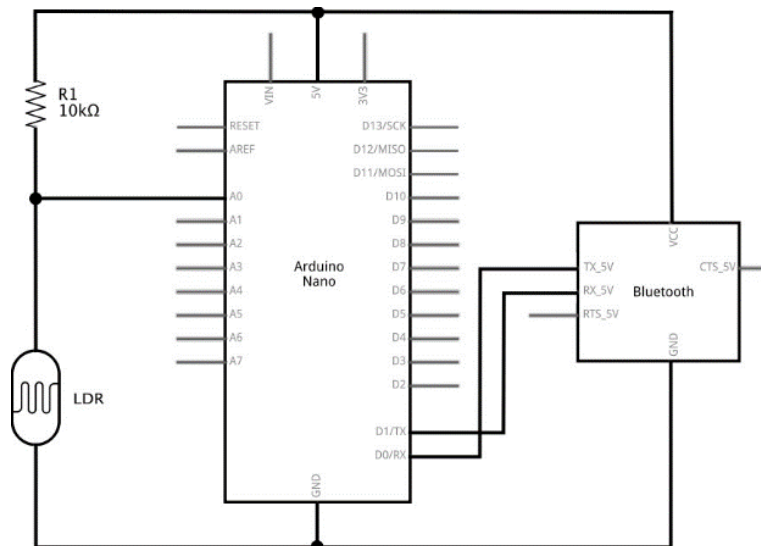


Figure 4. The circuit diagram

Polarizers were prepared by cutting out two pieces of a 2x2cm size from an LCD monitor. One of the polarizers was placed on the rotatable front cover with the other at the entrance of the fixed body. Thus, one of the polarizers was used as an analyzer. The values obtained by rotating the front cover are equal to the angle value between the transmission axes of the analyzer and the polarizer. The acceleration sensor of the mobile phone was used to determine the angle between the axes of the polarizer and the analyzer. The acceleration sensor cannot read angle data directly. The PoL application converts the data from the acceleration sensor of a mobile phone into angle values in degrees. A mobile phone case is screwed to the front cover. When the mobile phone is inserted into the case, it is fixed to the front cover. The experimental setup is shown in Figure 5.

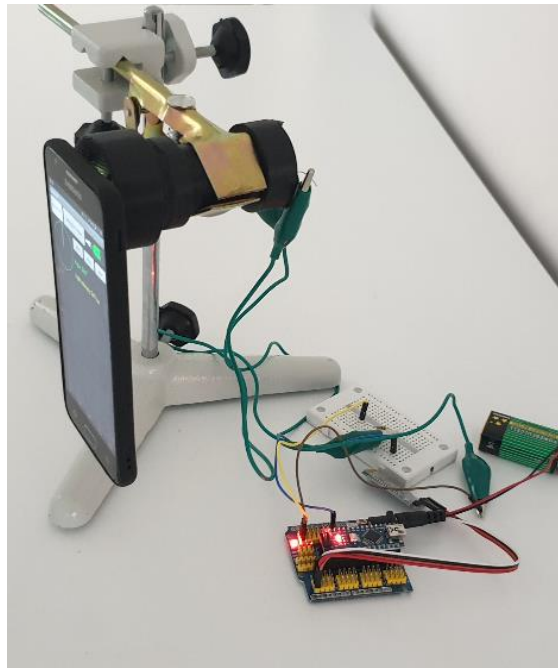


Figure 5. Experimental setup

4. Experimental Results

The aim of this experiment was to observe the change of light intensity on the basis of the change of angle between the analyzer and polarizer axes. For this purpose, a light intensity-angle graph was drawn based on the experimental data. Before starting the experiment, the PoL application should be downloaded and installed on the mobile phone using the QR code in Figure 6.



Figure 6. QR code for PoL application

The Arduino is then paired with the Bluetooth module to enable the mobile phone to collect data from the Arduino. When the application is run, the parameters screen is displayed first. If the resistance and the LDR are different from those used in this study, the necessary changes can be made on this screen. The graphic screen is displayed when the OK button is pressed.

When starting the experiment, calibration should be performed to determine the position at which the polarizer and analyzer axes are parallel to each other. To do this, the flash of the mobile phone is activated with the light button in the application. Then the cover to which the mobile phone is fixed is rotated one full turn. Thus, the application automatically determines the value at which the angle between the analyzer and polarizer axes is zero. After the calibration process is completed, the start button is pressed and the front cover and the mobile phone continues to be rotated. In the meantime, the microcontroller determines the voltage values read from the LDR and the resistor and sends these values to the mobile phone simultaneously. After the PoL application calculates the light intensity and the angle values, these values are sent to an $I-\varphi$ graphic at every 100ms and marked as a point on the graph. The flowchart of the experiment is given in Figure 7.

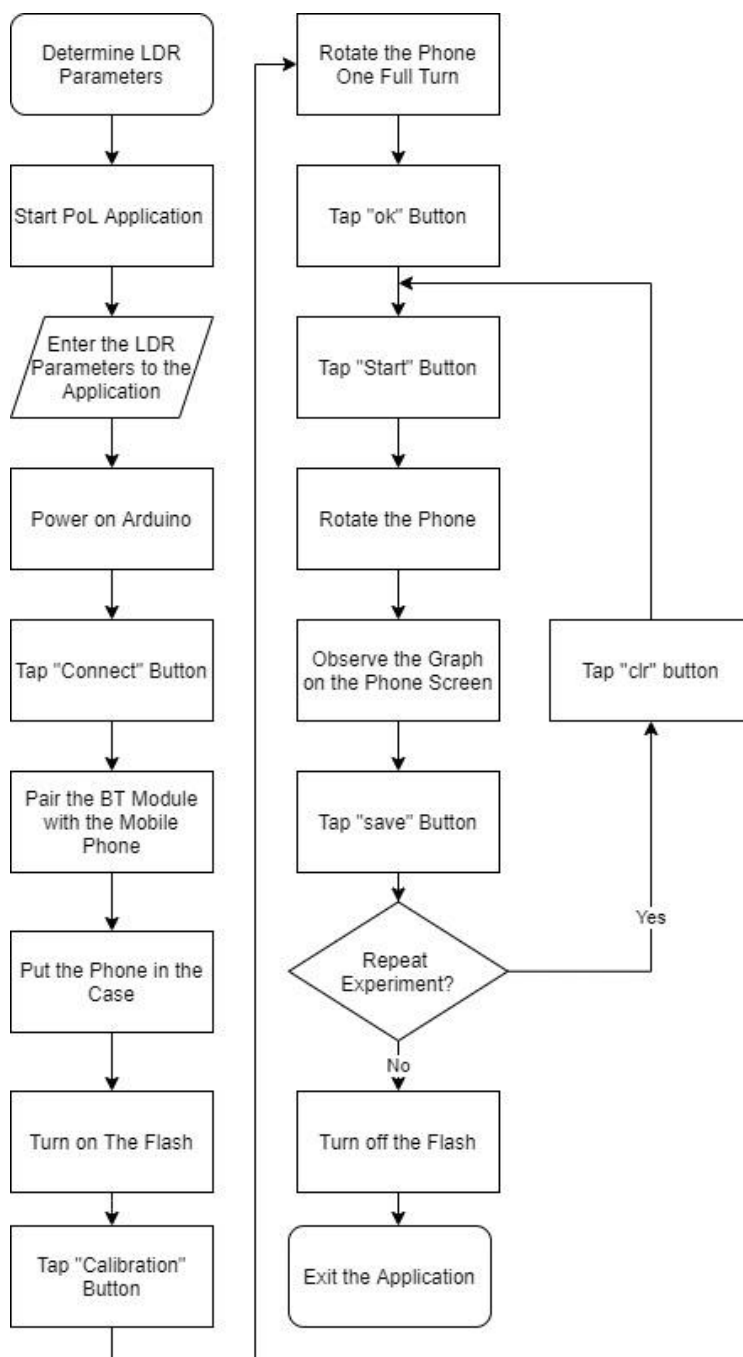


Figure 7. Flowchart of the Experiment

To change the frequency of the points seen in this graph, all that has to be done is to change the number value in the delay () code in the code index shown in Figure 8.

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  Serial.print(" ,");
  Serial.print(analogRead(A0));
  Serial.println(" , ");
  delay(100);
}
    
```

Figure 8. The Arduino code

The experiment was conducted by taking data every 100ms and 400ms. Screenshots of the obtained graphics are presented in Figure 9 (a) and (b), respectively. It is seen that the graphs in Figure 9 drawn with the experimental data are the same as the Malus' law graph in Figure 1.

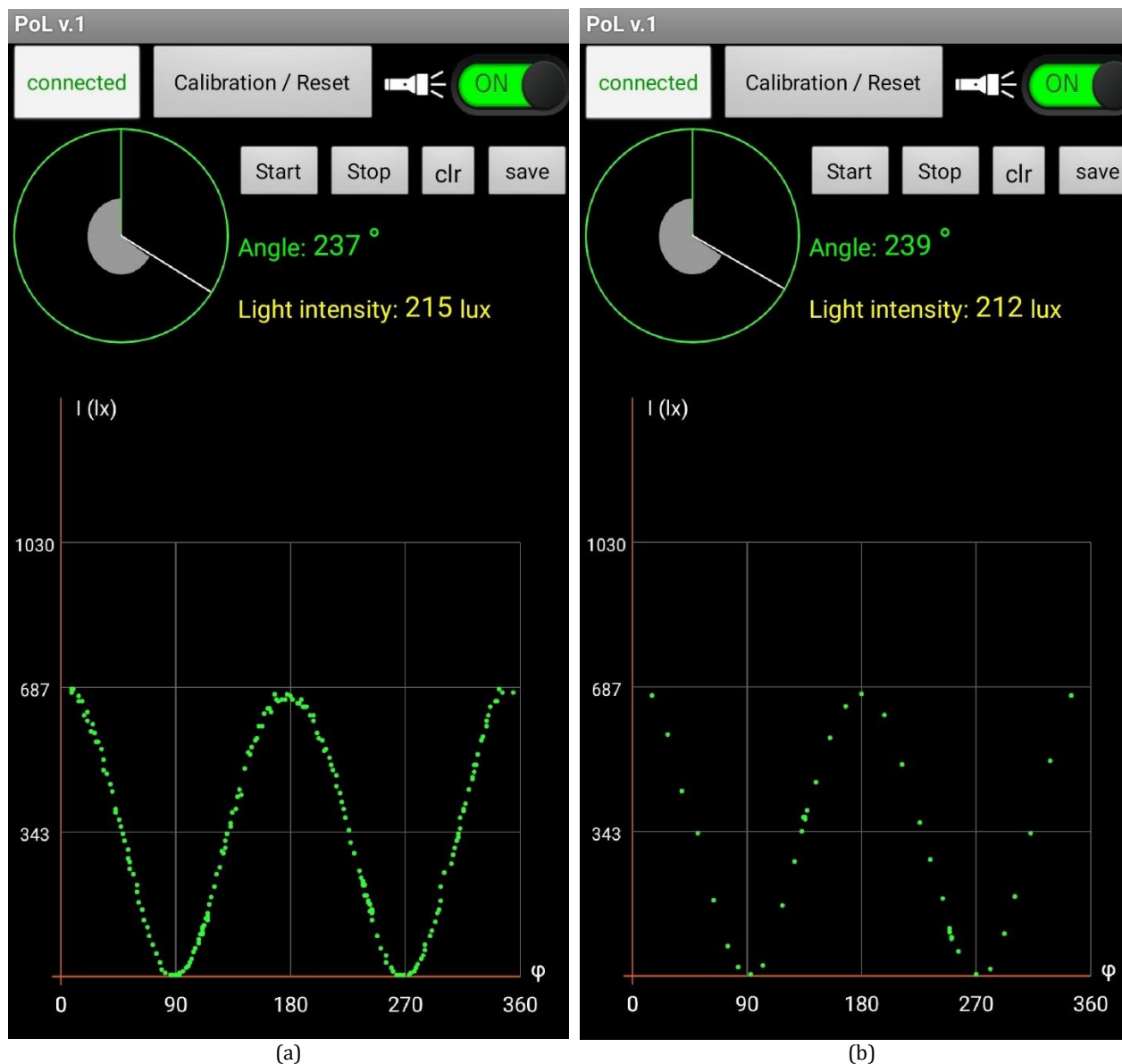


Figure 9. I - ϕ graph displayed on mobile phone by collecting data at every (a) 100ms and (b) 400ms

5. Conclusions and Discussion

A light polarization experiment proved Malus' law can be performed with the experimental setup using simple and cheap materials. In the experiment, the light intensity-angle graph can be observed simultaneously with the change of angle between the analyzer and polarizer axes. The graph obtained as a result of the analysis of the experimental data, shown in Figure 9, is compatible with the graphical representation of Malus' law, shown in Figure 1.

It can be said that the experimental setup has three important advantages over classical experimental setups. The first of these is cost. Analyzers and polarizers can be obtained from recycled computer monitors or unused polarized sunglass lenses. It is possible to obtain dozens of polarizers and analyzers from a standard obsolete laptop monitor. LDR, which is used to determine the light intensity, is a very inexpensive resistor that can be obtained from every electronic dealer. Arduino Nano, which is used to collect data, is one of the most accessible and cheap microcontroller in the market. The application used in data processing and graphing is free of charge. High costs are the biggest obstacle to having experimental setups that can collect such sensitive data in schools. This cost reduction is important as it will contribute to more students achieving this type of experimental setup. Low cost Physics experiments give students the chance to work in a way that suits their cognitive style, to try it on their own, to adapt their own hypotheses about the problems, and to develop their own problem-solving methods

(Josey, Alvi, Kattayat and Asha, 2018). The importance of using low-cost materials is emphasized as well in other studies related to the Malus' law experiment (Çolak and Erol, 2020; Ishafit et al, 2021; Kadri et al, 2014; Kostan et al, 2018; Monteiro et al, 2017; Rosi and Onorato, 2020; Tavares and Muramatsu, 2008).

The second advantage of the experimental setup is that it allows data collection without the need for a dark environment. Classical experimental setups used in proving Malus' law require dark laboratories that do not receive light. Any light that may come from outside the light source used affects the experimental results. Mataubenu and Langtang (2018) recommend that the Light Polarization Learning Tool Based on Arduino, which they developed, be tested in a dark room in order not to disturb the light source. In our experimental setup, the LDR measuring the light intensity was placed in a closed box and the light source of the mobile phone was positioned right in front of the polarizer. This prevents light outside of the light source we use coming to the LDR. The experiment can be done even in daylight. In this experiment, the lightproof box was made using a three-dimensional printer. If this type of printer is not available, the box can also be made using any cardboard or metal box. It will be sufficient to fix the analyzer in front of the LDR, place the polarizer in a hole to be opened in the lid of the box. This structure of the experimental setup makes it suitable for use both in the laboratory and in the classroom. According to Tavares and Muramatsu (2008), when students assemble, calibrate and use LDRs, they both learn significant laboratory techniques and develop patience and decisiveness to achieve accurate results.

The third advantage of the experimental setup is that it allows real-time data collection and graphing. According to Amrani and Paradis (2009), a real-time display of the experimental data simplifies the analysis and interpretation of the results. In a classical experimental setup, students collect data and draw the graph at the end of the experiment. In this setup, since the graphic is drawn simultaneously with the data collection process, students can interpret the change of light intensity according to the position of the polarizer throughout the experiment. Since the experimental setup receives data at every 100ms, it allows more data to be collected in less time than conventional experimental setups. This enables the creation of a graph that consists of frequent points that can be interpreted more easily. The Polarization (PoL) application we have developed enables the light intensity and angle data collected using Arduino to be converted into graphics on an Android phone screen simultaneously with the data collection process. In this way, there is no need to transfer experimental data to a computer for graphics. In addition, conducting the experiment in this way allows students and teachers to both save time and use less tools. In other studies, where the Malus' law experiment was carried out, computers were used for data analysis and drawing graphics (Amrani and Paradis, 2009; Çolak and Erol, 2020; Garg et al, 2011; Kadri et al, 2014; Monteiro et al, 2017; Tavares and Muramatsu, 2008). In addition, these graphics created with the PoL application can be saved to their smart phones by students and shared with others. This provides students with an effective inquiry environment. The automation of data collection and analysis in experiments is therefore important in allowing for students sufficient time to observe, apply variations, and interpret results (Garg et al, 2011). The fact that the graph can be drawn simultaneously with the data collection process may also make it possible to use this experiment as supporting material in course presentations.

In the following studies, the effect of the designed experimental setup on students' attitudes and achievements towards the physics can be examined.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Amrani, D., Paradis, P., 2009. Malus's law of light polarization using a computer-based laboratory. *Latin American Journal of Physics Education*, 3(2), 229-231.
- Atkin, K., 2018. An Arduino-based experiment designed to clarify the transition to total internal reflection. *Physics Education*, 53, 025003.
- Bashir, A., Alhammadi, M., Awawdeh M., Faisal, T., 2019. Effectiveness of using Arduino platform for the hybrid engineering education learning model. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, pp. 1-6. doi:10.1109/ICASET.2019.8714438.
- Benenson, R.E., 2000. Light polarization experiments with a diode laser pointer. *Physics Teacher*, 38, 44-46.
- Çolak, İ. Ö., Erol, M. 2020. Realization of polarization and Malus's law using the smartphones. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 16(1), 9-13.
- Data Sheet, Light Dependent Resistors.* (1997, March). https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/LDR%20Datasheet.pdf. Date accessed April 04, 2021.
- El-Abd, M., 2017. A review of embedded systems education in the Arduino age: lessons learned and future directions. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 7(2), 79-93.

- Freitas, W.P.S., Cena, C.R., Alves, D.C.B., Goncalves, A.M.P., 2018. Arduino-based experiment demonstrating Malus's Law. *Physics Education*, 53, 035034.
- Garg, A., Sharma, R., Dhingra, V., 2011. Polarization studies in a computer based laboratory. *Latin American Journal of Physics Education*, 5(1), 114-118.
- Garg, S., Gupta, S., Ghosh, C. K., 2012. *Wave Optics*. New Delhi: PHI Learning. p 54.
- Ishafit, Mundilarto, Surjono, H.D., (2021). Development of light polarization experimental apparatus for remote laboratory in physics education. *Physics Education*, 56, 015008.
- Josey, S., Alvi, P.A., Kattayat, S., Asha, J. V., 2018. Effectiveness of 'low cost experiments' in assimilating fundamentals of physics. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(11), 860-866.
- Kadri, S., Wei, D. C. B., Jaafar, R., 2014. Student activity: verification on Malus's law of polarization at low cost. *Proc. SPIE 9289, 12th Education and Training in Optics and Photonics Conference*, 928992A, 1-9. <https://doi.org/10.1117/12.2070727>
- Kaswan, K. S., Singh, S. P., Sagar, S., 2020. Role of Arduino in real world applications. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(1), 1113-1116.
- Kotseva, I., Gaydarova, M., Angelov, K., Hoxha, F., 2019. Physics experiments and demonstrations based on Arduino. *AIP Conference Proceedings* 2075, 180020. <https://doi.org/10.1063/1.5091417>
- Leung, A. F., 1980. The law of Malus using polaroid polarizers. *Physics Teacher*, 18, 612-614
- Matabenu, K.D.F., Langtang, D., 2018. Development of light polarization learning tool based on Arduino and scientific performance. *International Journal of Science and Research*, 7(12), 156-160.
- Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., Martí, A.C., 2017. The polarization of light and Malus' law using smartphones. *Physics Teacher*, 55, 264-266.
- Rosi, T., Onorato, P., 2020. Video analysis-based experiments regarding Malus' law. *Physics Education*, 55, 045011.
- Tavares, A.D., Muramatsu, M., 2008. Some simple experiments in optics using a photo-resistor. *International Journal on Hands-on Science*, 1(2), 84-88.
- What is Arduino?* (2018, February 05). <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Date accessed April 04, 2021.



ZEYTİN YAPRAĞI EKSTRAKTI İÇEREN SOĞUK ÇAY ÜRETİMİ

Elif Ece ARSLAN¹, Gamze KARADEMİR¹, Serap BERKTAŞ^{1*}, Mustafa ÇAM¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Zeytin Yaprağı,
Soğuk Çay,
Püskürtmeli Kurutucu,
Fenolik Bileşik

Öz

Zeytin (*Olea europaea* L.) yaprağı içerdiği önemli fenolik bileşikler ve sergilediği çeşitli fonksiyonel ve terapötik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Zeytinyağı üretiminde meyvelerin hasadı sırasında açığa çıkan bu yan ürün hasat edilen meyvelerin yaklaşık %10' unu oluşturmakta ve bu değerli yan üründen faydalanılamamaktadır. Bu çalışmada zeytin yaprağı ekstraktının klasik ekstraksiyon yöntemi ile elde edilerek püskürtmeli kurutucuda zeytin yaprağı ekstraktı tozuna (ZYET) dönüştürülmesi ve bu ürünün soğuk çay formülasyonunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Zeytin yaprağı ekstraktı içerdiği oleuropeinden kaynaklı çok güçlü bir acılık algısına neden olduğundan dolayı gıda formülasyonlarında sınırlı miktarda kullanılabilir. Bu nedenle acı tadın baskılanması ve duyuşal olarak kabul edilebilir soğuk çayın geliştirilmesi hedefiyle elde edilen zeytin yaprağı ekstraktı püskürtmeli kurutucu ile maltodekstrin eşliğinde kaplanmıştır. Buna ek olarak, ZYET, sakaroz ve sitrik asit ile 8 farklı formülasyonda üretilen soğuk çayların bazı fizikokimyasal özellikleri ve duyuşal kabul edilebilirlikleri üzerine ZYET ve sakaroz miktarının etkisi araştırılmıştır. Soğuk çayların briks değerleri %6.87-9.45 ve toplam fenolik madde miktarları 12.46-21.76 mg GAE/100 mL olarak tespit edilirken, %0.10 ZYET, %9 sakaroz ve %0.15 sitrik asit içeren soğuk çay örneğinin duyuşal olarak en çok beğenilen grup olduğu tespit edilmiştir. Ucuz bir kaynak olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olan bu artık ürünün farklı gıda formülasyonlarında değerlendirilerek endüstriye kazandırılması gerektiği düşünülmektedir.

PRODUCTION OF ICED TEA ENRICHED WITH OLIVE LEAF

Keywords

Olive Leaves,
Iced Tea,
Spray Dryer,
Phenolic Compound.

Abstract

Olive (*Olea europaea* L.) leaves have been regarded as important by-product with its important phenolic profile and its various functional and therapeutic properties. This by-product, constitutes approximately 10% of the harvested fruits, emerges during the harvesting season of olives fruits, however, the by-product is not utilized properly. In this study, it was aimed to obtain olive leaf extract by classic extraction method and transform it into olive leaf powder extract using a spray dryer and use the powder in iced tea formulations. The effects of the powder and sucrose amount were investigated on some physicochemical properties and sensory acceptability of 8 different combinations of iced teas. The soluble solids of the iced teas were 6.87-9.45 g/100 g, whereas the total phenolic contents were 12.46-21.76 mg GAE/100 mL. The iced tea sample containing 0.10% olive leaf powder extract, 9% sucrose and 0.15% citric acid was the most acceptable one in sensory analysis. Olive leaves, by-product of the olive oil industry, can be incorporated into iced tea formulations without damaging sensorial properties of the final product. The results of the present study indicated that olive leaves have the potential to be used as cheap but valuable ingredient in certain food formulations.

Alıntı / Cite

Arslan, E. E., Karademir, G., Berktaş, S., Çam, M. (2021). Zeytin Yaprağı Ekstraktı İçeren Soğuk Çay Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 843-849.

* İlgili yazar / Corresponding author: berktaserap@gmail.com, 90-352-207-6666-32719

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. E. Arslan, 0000-0003-3252-1903	Başvuru Tarihi / Submission Date	29.03.2021
G. Karademir, 0000-0003-4057-0692	Revizyon Tarihi / Revision Date	01.06.2021
S. Berktaş, 0000-0002-5195-0685	Kabul Tarihi / Accepted Date	09.06.2021
M. Çam, 0000-0003-1258-0834	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Gıda endüstrisi değerli bileşikler içeren üretim artıklarını yan ürün olarak fazla miktarda üretmektedir. Bu biyolojik olarak aktif bileşikler, diyet takviyeleri, nutrasötikler veya fonksiyonel gıda bileşenlerinin hazırlanmasında bir bileşen olarak kullanım potansiyeline sahiptir (Şahin ve Bilgin, 2018). Bununla birlikte, antioksidanlarca zengin diyetin tüketimi ile sağlığın sürekliliği veya hastalık riskinin azaltılması arasında doğrusal bir ilişki olduğuna dair çeşitli raporlar bulunmaktadır (Viljoen vd., 2017). Gıda endüstrisinin yan ürünleri için yeni kullanım alanlarının bulunması, ekonomi ve çevre için büyük önem taşımaktadır. Özellikle gıda sektöründe bitki artık ve yan ürünleri hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde önemli bir konudur. Bu ürünlerin çoğu ya değerlendirilememekte ya da uygun şekilde kullanılmadığında çevresel sorunlara neden olabilmektedir (di Donato vd., 2018). Zeytin yaprakları, zeytin meyvelerinin hasadı sırasında veya zeytinlerin yağının çıkarılmasından önceki aşama olan temizleme-harmanlama işlemleri sonrası açığa çıkan endüstriyel ve tarımsal bir yan üründür (Rahmanian vd., 2015). Dünyada yıllık zeytin üretiminin 21 milyon ton, Türkiye' de ise 1.5 milyon ton (FAOSTAT) olduğu ve zeytinyağı üretimi için toplanan zeytinin toplam ağırlığının yaklaşık %10' unu zeytin yaprakların oluşturduğu düşünüldüğünde katma değerli ürünler elde etmeye değer miktarda zeytin yapraklarının açığa çıktığı görülecektir (Rahmanian vd., 2015; Ghanem vd, 2019). Bu nedenle, zeytin yaprakları yüksek katma değerli ürünlerin kaynağı olarak kullanılabilir nitelikte ucuz bir hammaddedir.

Zeytin ağacı (*Olea europaea* L.), birçok bölgede yayılım gösteren 25 cins ve 600 türden oluşan *Oleaceae* ailesinin bir üyesidir (Ghanem vd., 2019). Zeytin ağacının meyvesi, zeytinyağı ve yaprakları zengin bir beslenme ve tıbbi kullanım geçmişine sahiptir. Özellikle, Akdeniz bölgesindeki ülkelerde ve Kuzey Afrika'da zeytin ağacının ürünleri oldukça kabul görmektedir (Ghanem vd., 2019). Zeytin ağacının yaprakları pek çok kültürde çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır. Geleneksel tıpta zeytin yapraklarından elde edilen çayın öksürük, boğaz ağrısı, ateş ve sistit gibi hastalıklara karşı tedavi edici etkileri olduğu, bununla birlikte yaprağın dermatolojik hastalıklar için de kullanıldığı bilinmektedir (Şahin ve Bilgin, 2018; Ghanem vd, 2019). Günümüzde ise zeytin yaprağı içeren çeşitli takviye ürünler şeker hastalığı, yüksek tansiyon, kalp damar hastalıkları, soğuk algınlığı, idrar yolu enfeksiyonları, kronik yorgunluk sendromu ve bağışıklık sistemini desteklemek gibi iddialarla çeşitli formlarda (sıvı, tablet, toz vb.) satılmaktadır (Şahin ve Bilgin, 2018). Zeytin ağacının meyveleri ve bunların yan ürünleri, sağlık yararları olan beslenme ürünleri için değerli kaynakları temsil etmektedir. Zeytin yaprağı iklim şartları, toprak, olgunluk derecesi ve depolanma koşulları gibi farklı etkenlere bağlı olarak ve zeytin ağacının çiçekleri ve meyvelerinden farklı olarak önemli miktarda fenolik bileşik içermektedir (Benavente-García vd, 2000; Ranalli vd., 2006). Fenolik asitler, fenolik alkoller (hidroksitirozol ve tirozol), flavonoidler (lutein 7-O-glukozit, rutin, apigenin 7-O-glukozit, luteolin 4-O-glukozit) ve sekoiridoidler (oleuropein) bu bileşiklerden bazılarıdır. Feniletanoid grubundan olan oleuropein zeytin meyvesi, yaprağı ve prinasında en bol bulunan fenolik bileşiktir. Zeytin yağında %0.005-0.12, prınada %0.9' a kadar ve zeytin yapraklarında %1-14 oranında oleuropein bulunmaktadır (Caporaso vd., 2018). Olgunlaşmamış zeytine acı tadı veren oleuropeinin antimikrobiyel, antitümör, antikanser, kardiyoprotektif, kan basıncını ve kan lipilerini azaltıcı aktivitelere sahip olduğu çeşitli çalışmalar ile belirlenmiştir (Benavente-García vd, 2000; Rahmanian vd., 2015; Ghanem vd, 2019). Zeytin yaprağında bulunan çok sayıda fenolik bileşimin güçlü radikal temizleme aktivitesine sahip olduğu, kan basıncını düşürme etkisi gösterdiği, koroner arterdeki kan akışını artırdığı ve bağırsak spazmlarını önlediğine dair veriler bulunmaktadır (Benavente-García vd, 2000; Şahin ve Şamlı., 2013; Ghanem vd, 2019).

Günümüzde hazırlaması kolay veya doğrudan tüketime hazır gıdalara olan talepte önemli bir artış bulunmaktadır. Bu ürünlerden poşet çaylar tüketicilerin sıklıkla tercih ettikleri ürünler arasındadır. Poşet çayların demleme süresinin kısa tutulması nedeniyle biyoaktif bileşenlerin çay içerisine sınırlı geçişi, demlemeden sonra kalan kullanılmış poşetlerin atık sorunu oluşturması ve çevre kirliliğine neden olması söz konusudur. Bu olumsuzlukları önlemek amacıyla soğuk çay üretimi alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak bitkisel soğuk çay çeşitliliği düşünüldüğünde oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Ayrıca, içecek endüstrisi yüksek antioksidan içeriğine sahip ya da belirli fitokimyasallar açısından zenginleştirilmiş doğal içerikli ürünleri geliştirebilme üzerine yoğunlaşmaktadır (Viljoen vd., 2017). Bununla birlikte, geliştirilen ürünlerde bitkisel içeriğin artmasının ürünün tadı ve burukluğu üzerinde olumsuz etki oluşturması gıda üreticileri için bir ikilem oluşturmaktadır. Tüketici kabulü düşünüldüğünde ürünün duyuşal olarak kabul edilebilirliğinin ürünün fonksiyonel olmasından daha önemli olduğu ve tüketicilerin ürünün lezzetinden ödün vermeye istekli olmadıkları görülecektir. Bu yüzden, bir ürünün duyuşal özelliklerini belirlemek ve bu duyuşal özelliklerden hangisinin tüketici tercihini yönlendirebileceğini belirlemek, bir ürüne tüketicinin tepkisinin net bir resmini elde etmek için oldukça önemlidir.

Literatürde, zeytin yaprağının da içinde bulunduğu çeşitli bitki ekstraktlarının püskürtmeli kurutma tekniği ile toz ürünlere dönüştürüldüğü çalışmalar bulunmaktadır (Krishnaiah vd, 2012; Patil vd, 2014; Shofinita ve Langrish, 2014; Eroğlu vd., 2018; Gonzalez vd, 2019). Bu çalışmalarda genellikle elde edilen toz ürünlerin özelliklerinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Ayrıca, elde edilen toz formların instant çay olarak ya da farklı ürünleri zenginleştirme amaçlı kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur (Çam vd., 2018; Dantas vd, 2018; Nilsang., 2018). Ancak zeytin yaprağı toz ekstraktının soğuk çay formülasyonunda kullanıldığına dair bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, zeytin yaprağı ekstraktının toz forma dönüştürülmesi ile elde edilecek çözünabilir çay formunun soğuk çay üretiminde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece hem önemli biyolojik potansiyele sahip bir artık ürünün geri kazanılması hem de sınırlı çeşitteki bitkisel soğuk çaylara iyi bir alternatif olması sağlanacaktır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal ve Kimyasallar (Material and Chemicals)

Çalışmada kullanılan zeytin yaprağı (*Olea europaea* L.) Mersin' in Silifke bölgesindeki Gemlik türü zeytin ağaçlarından toplanmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar ve çözücüler Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) ve Merck (Darmstadt, Germany) firmalarından temin edilmiştir.

2.2. Ekstraksiyon ve Püskürtmeli Kurutma (Extraction and Spray Drying)

Zeytin yaprakları güneş görmeyen ve hava akımının olduğu bir ortamda yaklaşık 10 gün (nem <5%) boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından yapraklar sap kısımlarından ayrılarak laboratuvar tipi bir öğütücü (Waring Blender, Staufen, Almanya) yardımıyla öğütülmüştür. Öğütülen zeytin yapraklarından 200 g tartılarak 1 L etanol-su (%50:50) ile oda sıcaklığında 24 saat 200 rpm de manyetik karıştırıcıda (IKA-RCT, Staufen, Almanya) ekstrakte edilmiştir (Gonzalez vd., 2019). Elde edilen ekstrakt kaba filtre kağıdından süzülerek evaporatörde (Hei-Vap Value G1, Heidolph, Schwabach, Almanya) 40°C sıcaklık ve 100 mbar basınç altında konsantre (Briks:18.6) edilmiştir. Püskürtmeli kurutucu besleme çözeltisinin hazırlanması amacıyla ekstraktın hacminin %5' i oranında maltodekstrin (DE: 13-17) ekstrakta eklenerek 5 dakika 10000 rpm de Ultra-turrax' ta homojenize edilmiştir. Ardından 130 °C giriş sıcaklığı, 8 mL/dk besleme hızı ve 600 L/saat hava debisi şartlarında püskürtmeli kurutucuya (Buchi-B290, Flawil, İsviçre) beslenerek zeytin yaprağı ekstraktı tozu (ZYET) elde edilmiştir (Alaşalvar ve Çam., 2019).

2.3. Soğuk Çay Formülasyonu (Iced Tea Formulation)

Zeytin yaprağı ekstraktının maltodekstrin ile püskürtmeli kurutucuda toz forma dönüştürülmesi sonrası elde edilen ZYET, sakaroz ve sitrik asit ile hazırlanan soğuk çay formülasyonları Tablo 1' de gösterilmiştir. Formülasyonlara göre hazırlanan bileşenler 250 mL' lik steril cam şişelere doldurularak ağızları kapatılmış ve çalkalamalı su banyosunda (Nüve, NFR800R, Ankara, Türkiye) 80 °C'de 10 dakika pastörizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Pastörizasyon işleminin ardından soğuk çaylar hızlıca soğutularak 4 °C' de analizlere kadar muhafaza edilmiştir.

Tablo 1. Soğuk çay formülasyonları (Iced tea formulation)

Bileşenler (g/100 mL)	Soğuk çay örnekleri ¹									
	E1	E2	E3	E4	G1	G2	G3	G4	M1*	M2*
ZYET	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.25
Sitrik asit	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sakaroz	7	8	9	10	7	8	9	10	7	7

*Zeytin yaprağı soğuk çaylarından M1 ve M2 kodlu örneklerde oleuropeinden kaynaklı acı tat diğer formülasyonlarla hazırlanan soğuk çay örneklerine göre daha fazla baskın olduğundan dolayı ön denemeler sonrası tekrar üretilmemişlerdir.

2.4. Fizikokimyasal Analizler (Psychochemical Properties)

Soğuk çayların pH değerleri doğrudan örnek içerisine pH metrenin (Hanna, İtalya) daldırılması ile, toplam asitlik değerleri ise titrimetrik metot ile belirlenerek sitrik asit cinsinden hesaplanmıştır. Suda çözünür kuru madde miktarları Abbe refraktometresi (SOİF, ZWAJ, Çin) kullanılarak, toplam şeker miktarı tayini ise Lane-Eynon metoduna göre belirlenmiş ve sonuçlar g/100 mL olarak belirtilmiştir (Cemeroğlu, 2013). Toplam fenolik madde miktarı ise spektrofotometrik metot kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mg GAE/100 mL olarak ifade edilmiştir (Singleton ve Rossi., 1985).

2.5. Duyusal Analiz (Sensorial Analysis)

Örneklerin duyusal değerlendirilmeleri Gıda Mühendisliği Bölümü öğrenci ve öğretim elemanlarından oluşan 22-50 yaşları arasındaki 20 panelist tarafından gerçekleştirilmiştir. Örnekler 4 °C' de buzdolabında soğutulduktan sonra 3 rakamlı kodlar kullanılarak ve rastgele bir sırada şeffaf bardaklarda (~40 mL) panelistlere sunulmuştur. Duyusal değerlendirmeler aroma, renk, yabancı koku, bulanıklık, acılık, tatlılık ve genel beğeni açısından 5 puanlı hedonik skala testi (1: çok kötü, 5: mükemmel) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.6. İstatistiksel Analiz

Sonuçlar 2 tekrarlı verilerin ortalama \pm standart sapma değerlerini ifade edecek şekilde belirtilmiştir. Karşılaştırmalar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile anlamlılık değeri ($p < 0.05$) göz önünde bulundurularak yapılmıştır (SPSS Inc., Chicago, USA).

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Zeytin Yaprağı Soğuk Çaylarının Bazı Fizikokimyasal Özellikleri (Some Physicochemical Properties Of Olive Leave Iced Tea)

Zeytin yaprağı soğuk çaylarının asitlik değerleri %0.33-0.36 olarak değişiklik göstermektedir (Tablo 2). Tüm soğuk çayların bileşiminde bulunan sitrik asit miktarının aynı kalması ve ZYET miktarının %0.1-0.15 oranında kullanılması örneklerin toplam asitlik değerlerinde anlamlı bir değişime neden olmamıştır ($p > 0.05$). Suda çözünür kuru madde miktarlarının formülasyonda yer alan ZYET ve sakaroz içeriği ile paralellik gösterdiği, pH değerlerinin ise 2.73-2.83 gibi dar bir aralıkta değiştiği belirlenmiştir. pH değerlerinin 3' ün altında kalması ürünlerin hem mikrobiyal açıdan daha güvenli olduğuna hem de pastörizasyon işlemi süresinin kısa tutulabileceğine işaret etmektedir. Viljoen vd. (2017) rooiboslu soğuk çayların pH değerlerini 2.7-3.0 olarak, Alaşalvar ve Çam (2019), adaçayı ve ihlamur soğuk çaylarının pH değerlerini 3.05 ve 3.45 olarak rapor etmişlerdir. Özünü ve Ergezer (2019), enginarlı-limonlu soğuk yeşil çay örneklerinin briks, asitlik ve pH değerlerini sırası ile %5.60-7.55, 1.16-1.24 g/100 mL ve 5.73-6.01 olarak tespit ederken, Flores-Martinez vd, (2018) ise ticari olarak satışa sunulan tüketime hazır çayların toplam asitlik ve pH değerlerini %0.092-0.174 ve 3.72-4.11 olarak belirlemişlerdir. Zeytin yaprağı soğuk çaylarının briks ve asitlik değerleri bu veriler ile benzerlik gösterirken, pH değeri daha düşük olarak tespit edilmiştir. Toplam şeker miktarları ise formülasyonda yer alan sakaroz miktarları ile benzer eğilim göstermiştir.

Tablo 2. Zeytin yaprağı soğuk çaylarının bazı fizikokimyasal özellikleri (Some physicochemical properties of olive leave iced tea)

Özellikler ²				
Örnekler ¹	Toplam Asitlik (%) ³	Briks (%)	pH	Toplam Şeker ⁴
E1	0.33 \pm 0.01 ^a	6.88 \pm 0.17 ^a	2.80 \pm 0.01 ^{ab}	7.90 \pm 0.01 ^a
E2	0.36 \pm 0.01 ^a	7.87 \pm 0.17 ^b	2.83 \pm 0.01 ^b	7.23 \pm 0.54 ^a
E3	0.36 \pm 0.01 ^a	8.55 \pm 0.07 ^{cd}	2.82 \pm 0.01 ^b	9.11 \pm 0.11 ^{ab}
E4	0.35 \pm 0.01 ^a	9.23 \pm 0.04 ^{ef}	2.77 \pm 0.01 ^{ab}	10.46 \pm 0.58 ^b
G1	0.33 \pm 0.02 ^a	6.90 \pm 0.14 ^a	2.79 \pm 0.01 ^{ab}	7.33 \pm 0.71 ^a
G2	0.35 \pm 0.01 ^a	8.05 \pm 0.07 ^{bc}	2.73 \pm 0.05 ^a	7.61 \pm 0.84 ^a
G3	0.35 \pm 0.02 ^a	8.75 \pm 0.01 ^{de}	2.77 \pm 0.01 ^{ab}	8.26 \pm 0.08 ^a
G4	0.36 \pm 0.02 ^a	9.45 \pm 0.21 ^f	2.77 \pm 0.01 ^{ab}	9.03 \pm 0.21 ^{ab}

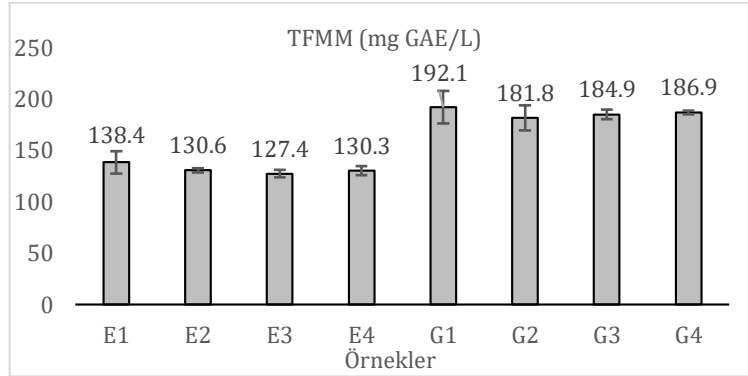
¹Tablo üzerindeki değerler 2 tekrarlı verilerin ortalama \pm standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Aynı sütun içerisindeki farklı harfler Tukey testine göre örnek ortalamaları arasında fark olduğunu ($p < 0.05$) belirtmektedir.

²g sitrik asit/100 mL

³g/100 mL

Zeytin yaprağı ekstraktı içeren soğuk çayların toplam fenolik madde miktarları (TFMM) 127.43-192.05 mg GAE/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 1). Genel olarak bakıldığında, G kodlu soğuk çay örneklerinin E kodlu örneklerinin

TFMM değerlerinin anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Bu sonuç G kodlu örneklerin daha fazla ZYET içermesi sonucu ile uyusmaktadır. Zeytin yaprağının önemli miktarda fenolik bileşik içermesi soğuk çayların da bu içeriğine katkıda bulunmuştur. Viljoen vd., (2017), farklı işlemlere tabi tutulmuş rooibos ile üretilen soğuk çayların TFMM değerlerini 338.05-508.76 mg GAE/L olarak, Özünlü ve Ergezer (2019), enginarlı-limonlu soğuk çayların TFMM içeriklerini 280.75-296.23 mg GAE/100 mL olarak ve Flores-Martinez vd., (2018) ticari olarak satışa sunulan tüketime hazır çayların TFMM 56.99-211.56 mg/L olarak tespit etmişlerdir.



Şekil 1. Soğuk çayların TFMM değerleri (TFMM values of iced tea)

Tablo üzerindeki değerler 2 tekrarlı verilerin ortalama \pm standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Barlar içerisindeki farklı harfler Tukey testine göre örnek ortalamaları arasında fark olduğunu ($p<0.05$) belirtmektedir.

3.2. Soğuk Çayların Duyusal Özellikleri (Sensorial Properties of Iced Tea)

Farklı miktarlarda ZYET ve sakaroz içeriğine sahip soğuk çayların duysal değerlendirmelerine ait sonuçlar Tablo 3' de gösterilmiştir. Soğuk çay formülasyonu belirleme aşamasında %0.20 ve %0.25 oranında ZYET içeren soğuk çaylarda zeytin yaprağının temel fenolik bileşiği olan oleuropeinden kaynaklanan acı tadın baskın olmasından dolayı bu örneklerin üretimlerine devam edilmemiştir. Böylece soğuk çaylarda kullanılacak en fazla ZYET miktarı %0.15 ile sınırlandırılmış ve üretim için formülasyonlar bu oran göz önüne alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, biyoaktif bileşiklerce zengin bitkisel ekstraktların formülasyonda yüksek miktarda bulunması ürünlerin fenolik madde içeriğinde artışa neden olmasının yanı sıra ürünlerin duysal kabul edilebilirliğinde azalmaya neden olabilmektedir (Alaşalvar ve Çam, 2019).

Soğuk çaylar aroma, renk, yabancı koku, bulanıklık, acılık, tatlılık ve genel beğeni açısından panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Örnekler arasında yabancı koku, bulanıklık, renk ve acılık özellikleri açısından anlamlı bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. E kodlu zeytin yaprağı soğuk çaylarının aroma açısından G kodlu örneklerle göre daha yüksek beğeni puanı aldığı ve daha fazla ZYET kullanılmasının soğuk çayların aromasını negatif yönde etkilediği belirlenmiştir. Örneklerin tatlılık puanlarının ise sakaroz miktarları ile orantılı olarak algılanabildiği, ZYET miktarının artmasının ise tatlılık algısını azalttığı belirlenmiştir.

Genel beğeni puanları incelendiğinde en yüksek skoru E3 kodlu soğuk çayın aldığı ve diğer örneklerden anlamlı şekilde öne çıktığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). Buna göre %0.10 ZYET, %9 sakaroz ve %0.15 sitrik asit içeren soğuk çay panelistlerce daha çok tercih edilmiştir. Bunlara ek olarak, E kodlu örneklerle göre daha yüksek ZYET içeren G kodlu örneklerin acılıkları benzer bulunmuştur. Bu açıdan formülasyonda kullanılan ZYET miktarının tüketici için kabul edilebilir düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, zeytin yaprağı ekstraktı püskürtmeli kurutucuda toz forma dönüştürülürken maltodekstrin kullanılması fenolik içeriğindeki artıştan kaynaklanabilecek acı tadın maskelenmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Maltodekstrinin acılık üzerindeki varsayılan etkisine ek olarak, zeytin yaprağı ekstraktının maltodekstrin ile kapsüllenmesi de bu maskelemede önemli bir rol oynayabilir. Özellikle, polifenol ekstraktlarının mikrokapsüllenmesinin ürünlerdeki buruk tadı azalttığı ve ekstraktları oksidasyondan koruduğuna dair kayıtlar mevcuttur (Viljoen vd., 2017). Bir ürünün fonksiyonelliğindeki artışın, duysal özellikleri açısından tüketici kabulünde bir azalmaya yol açması, gıda endüstrisinde bir ikilem olarak görülmektedir. Tüketicinin fonksiyonel gıdaları tercih ederken ürünün fonksiyonel faydalarından ziyade ürünün genel tadı/duysal deneyimini daha ön planda tuttuğu bildirilmektedir (Flores-Martinez vd., 2018). Sonuç olarak, bir ürünün duysal kabul edilebilirliğinin araştırılması söz konusu ürüne tüketicinin tepkisini anlamak açısından önemli bir husustur (Viljoen vd., 2017).

Tablo 3. Soğuk çayların duyuşal özellikleri (Sensorial properties of iced tea)

Duyusal özellikler	Örnekler ¹							
	E1	E2	E3	E4	G1	G2	G3	G4
Aroma	3.61±0.92 ^{bc}	3.44±0.98 ^{abc}	3.72±0.75 ^{bc}	2.67±1.00 ^c	2.67±0.77 ^a	3.00±0.97 ^{abc}	2.83±0.92 ^{ab}	3.39±0.92 ^{abc}
Renk	3.61±1.03 ^a	3.61±0.04 ^a	3.89±0.96 ^a	3.94±0.94 ^a	3.89±1.08 ^a	4.11±0.83 ^a	3.83±1.79 ^a	3.94±0.73 ^a
Yabancı koku	4.22±1.06 ^a	4.39±0.92 ^a	4.22±1.17 ^a	4.22±1.06 ^a	4.44±1.78 ^a	4.22±1.06 ^a	4.11±1.02 ^a	4.06±1.11 ^a
Bulanıklık	3.44±1.34 ^a	3.78±1.11 ^a	4.00±1.08 ^a	4.00±1.33 ^a	3.83±1.10 ^a	3.72±0.89 ^a	3.61±1.04 ^a	3.94±0.94 ^a
Acılık	3.67±1.24 ^a	3.67±1.28 ^a	3.67±1.28 ^a	3.33±1.24 ^a	2.78±1.00 ^a	2.78±1.11 ^a	2.78±0.17 ^a	3.33±1.28 ^a
Tatlılık	3.56±0.78 ^{abc}	3.17±1.29 ^{abc}	3.78±1.11 ^c	3.67±0.91 ^{bc}	2.56±0.92 ^a	2.67±0.84 ^{ab}	2.83±0.86 ^{abc}	3.11±1.13 ^{abc}
Genel beğeni	3.61±1.09 ^{ab}	3.61±0.98 ^{ab}	3.94±0.94 ^c	3.72±0.75 ^{ab}	2.83±0.71 ^a	3.11±0.83 ^{ab}	2.83±0.99 ^a	3.50±1.15 ^{ab}

*Tablo üzerindeki değerler 2 tekrarlı verilerin ortalama ± standart sapma değerlerini ifade etmektedir. Aynı satır içerisindeki farklı harfler Tukey testine göre örnek ortalamaları arasında fark olduğunu (p<0.05) belirtmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada, geliştirilen zeytin yaprağı ekstraktı içeren soğuk çaylarının tüketici tercihi üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaksızın kabul edilebileceği gösterilmiştir. Bu çalışma, hem biyolojik öneme sahip bitkisel bir artık materyalin değerlendirilmesi hem de normalde düşük fenolik bileşik içeriği ile satışı sunulan soğuk çaylarının içeriğinin geliştirilmiş olması nedeniyle önemli bir noktaya sahiptir. Bu tür doğal içeriğe sahip fenolik bileşiklerce zengin ürünler geliştirilirken kullanılacağı miktara bağlı olarak bu ürünlerin diğerlerine göre daha yüksek derecede acı ve buruk tada sahip olacağı ve bu hususun göz önünde bulundurulması gerektiği düşünülmelidir. Sonuç olarak, gelecekteki soğuk çay çalışmalarının, formülasyonda yer alabilecek çeşitli bitki ekstraktlarının ürünün duyuşal özelliklerini olumsuz etkilemeden miktarlarını maksimize etmeye odaklanmalıdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK 2242-Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmalarında Gıda ve Tarım Kategorisi' nde 24-26 Haziran tarihleri arasında yapılan Kayseri Bölge Sergisi' nde İkincilik ödülü kazanmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Alaşalvar, H., Çam, M., 2019. Process for production of ready to drink iced teas from sage (*Salvia officinalis* L.) and linden (*Tilia cordata*): pressurized hot water extraction and spray drying. *Food Science and Biotechnology*, 28(3), 779–785.
- Benavente-García, O., Castillo, J., Lorente, J., Ortuño, A., Del Rio, J.A., 2000. Antioxidant activity of phenolics extracted from *Olea europaea* L. leaves. *Food Chemistry*, 68(4), 457–462.
- Caporaso, N., Formisano, D., Genovese, A., 2018. Use of phenolic compounds from olive mill wastewater as valuable ingredients for functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16), 2829–2841.
- Çam, M., Dinç Işıklı, M., Yüksel, E., Alaşalvar, H., Başıyigit, B., 2018. Application of pressurized water extraction and spray drying techniques to produce soluble spearmint tea. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1927–1934.
- Cemeroğlu, B.S., 2013. Gıda Analizleri. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bizim Grup Basımevi, Ankara.
- Dantas, D., Pasquali, M.A., Cavalcanti-mata, M., Duarte, M.E., Lisboa, H.M., 2018. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. *Food Chemistry*, 266, 284–291.
- Di Donato, P., Taurisano, V., Tommonaro, G., Pasquale, V., Jiménez, J.M.S., de Pascual-Teresa, S., Poli, A., Nicolaus, B., 2018. Biological properties of polyphenols extracts from agro industry's wastes. *Waste and Biomass Valorization*, 9(9), 1567–1578.
- Eroğlu, E., Tontul, İ., Topuz, A., 2018. Optimization of aqueous extraction and spray drying conditions for efficient processing of hibiscus blended rosehip tea powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6), 1–9.
- FAOSTAT, 2018, Zeytin, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, Erişim: Ekim.

- Ghanem, M.T.M., Tawfik, W.A., Mahdy, E.S.M., Abdelgawad, M.E., Abdel-Azim, N.S., El-Missiry, M.M., 2019. Chemical and biological evaluation of olive leaves as a waste by-product of olive oil industry. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 18(2), 172–177.
- González, E., Gómez-Caravaca, A.M., Giménez, B., Cebrián, R., Maqueda, M., Martínez-Férez, A., Segura-Carretero, A., Robert, P., 2019. Evolution of the phenolic compounds profile of olive leaf extract encapsulated by spray-drying during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 279, 40–48.
- Flores-Martinez, D., Urías-Orona, V., Hernández-García, L., Rubio-Carrasco, W., Silva-Gutiérrez, K., Guevara-Zambrano., Prieto-Cadena, J., Serna-Méndez, T., Muy-Rangel, D.M., Niño-Medina, G., 2018. Physicochemical parameters, mineral composition, and nutraceutical properties of ready-to-drink flavored-colored commercial tea. *Journal of Chemistry*, 2018, 1-7.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., Nithyanandam, R., 2012. Chemical engineering research and design microencapsulation of *Morinda Citrifolia* L. extract by spray-drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(5), 622–632.
- Nilsang, S., 2018. Effect of spray drying temperature on quality of instant herbal drinks. *Food and Applied Bioscience Journal*, 6, 55–68.
- Patil, V., Kumar, A., Pratap, R., 2014. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236.
- Rahmanian, N., Jafari, S.M., Wani, T.A., 2015. Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves. *Trends in Food Science and Technology*, 42(2), 150–172.
- Ranalli, A., Contento, S., Lucera, L., Di Febo, M., Marchegiani, D., Di Fonzo, V., 2006. Factors affecting the contents of iridoid oleuropein in olive leaves (*Olea europaea* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 434–440.
- Shofinita, D., Langrish, T.A.G., 2014. Spray drying of orange peel extracts: Yield, total phenolic content, and economic evaluation. *Journal of Food Engineering*, 139, 31–42.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A.J., 1985. Colorimetry to total phenolics with phosphomolybdic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*.
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., Lugasi, A., 2008. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance- A review. *Appetite*, 51(3), 456–467.
- Özünlü, O., Ergezer, H., 2019. İnfüzyon yöntemi kullanılarak kurutulmuş enginar çanak yaprağı katkılı soğuk yeşil çay üretimi. *Akademik Gıda*, 17(4), 458–467.
- Şahin, S., Şamlı, R., 2013. Ultrasonics sonochemistry optimization of olive leaf extract obtained by ultrasound-assisted extraction with response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 595–602.
- Şahin, S., Bilgin, M., 2018. Olive tree (*Olea europaea* L.) leaf as a waste by-product of table olive and olive oil industry: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1271–1279.
- Viljoen, M., Muller, M., De Beer, D., Joubert, E., 2017. Identification of broad-based sensory attributes driving consumer preference of ready-to-drink rooibos iced tea with increased aspalathin content. *South African Journal of Botany*, 110, 177–183.



FARKLI TAŞITLARDA KULLANILAN ÖN TAMPONLARIN DARBE EMİCİ ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim YAVUZ^{1*}, Mustafa Çağdaş ERİK²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Ön Tampon,
Polimer Malzeme,
Darbe Test,
Enerji Absorbesi.

Öz

Trafik kazaları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çözülmeyi bekleyen önemli sosyal problemlerden biridir. Özellikle araç sayılarının artması ile trafik kazaları da sürekli artmaktadır. Bu sebeple taşıt imalatçıları tarafından, taşıtlarda aktif ve pasif güvenlik olmak üzere birçok güvenlik tedbiri alınmaktadır. En sık karşılaşılan çarpışma türü taşıtların önden çarpma şeklinde meydana gelmektedir. Taşıtlarda bulunan tamponların görevi önden kazalarda kaza anındaki kinetik enerjiyi absorbe ederek taşıt içindeki yolcu ve sürücülerin en az hasarla kazayı atlattığını sağlamaktır. Bu sebeple bu çalışmada, dört farklı otomobile ait olan ön tampon üretiminde kullanılan polimer malzemelerin darbe kuvvetine karşı enerji absorbe kabiliyetleri araştırılmıştır. Tampon malzemeleri EPDM (Etilen propilen) ve PP (Polipropilen)' dir. Bu malzemeler farklı kalınlıklarda ASTM D3763-02 standardına göre değerlendirilmişlerdir. Test sabit hızlarda ve farklı malzeme kalınlıklarında gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bilgiler absorbe edilen enerji-uzama, gerilme-yer değiştirme ve hız-zaman grafiklerinde gösterilmiştir. Yapılan testlerde H ve F araçlarının ön tampon malzemelerinin darbe sönümleme kabiliyetlerinin diğer iki araçtan daha iyi olduğu görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE IMPACT ABSORBENT CHARACTERISTICS OF FRONT BUMPERS USED IN DIFFERENT VEHICLES

Keywords

Front Bumper,
Polymer Material,
Impact Test,
Energy Absorption.

Abstract

Traffic accidents are one of the important social problems waiting to be solved in our country as well as in the whole world. Especially with the increase in the number of vehicles, traffic accidents are constantly increasing. For this reason, many safety measures, including active and passive safety, are taken by vehicle manufacturers. The most common type of collision is the frontal collision of vehicles. The task of the bumpers in the vehicles is to absorb the kinetic energy at the time of the accident from the front and ensure that the passengers and drivers in the vehicle overcome the accident with the least damage. For this reason, in this study, the energy absorption capabilities of the polymers used in the production of front bumpers belonging to four different vehicles were investigated against the impact force. The materials used are PP (Polypropylene) and EPDM (Ethylene propylene). These materials are evaluated according to ASTM D3763-02 standard in different thicknesses. The test was carried out at constant speeds and different material thicknesses, and the information obtained was shown in the energy-strain, stress-displacement and velocity-time graphs. In the tests performed, it was observed that the impact absorption capabilities of the front bumper materials of the H and F vehicles were better than the other two vehicles.

Alıntı / Cite

Yavuz, İ., Erik, M. Ç., (2021). Farklı Taşıtlarda Kullanılan Ön Tamponların Darbe Emici Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 850-855.

* İlgili yazar / Corresponding author: iyavuz@aku.edu.tr, +90-505-522-2603

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
İ. Yavuz, 0000-0002-4480-2342	Başvuru Tarihi / Submission Date	27.11.2020
M. Ç. Erik, 0000-0001-9219-2692	Revizyon Tarihi / Revision Date	14.06.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	14.06.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Trafik kazaları, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çözülmesi gereken sosyal problemlerdir. Özellikle taşıt sayısının artması ile trafik kazaları da artan taşıt sayısına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısı ile, taşıtlarda güvenliği arttırmak zorunlu hale gelmiştir (Serkan vd., 2018). Taşıtların tasarımında kazaların önlenmesi veya kaza esnasında oluşacak can veya mal kayıplarının en aza indirilmesi için yeni güvenlik sistemleri geliştirilmektedir. Bu teknolojiler pasif ve aktif güvenlik olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Pasif güvenlik taşıtların bir kazaya karışması durumunda, kazanın olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla taşıtların üzerinde alınan hava yastıkları, çelik bariyerler gibi daha çok taşıt gövdesinde ve yapısal iyileştirmeler gibi tasarım değişikliklerini içermektedir. Aktif güvenlik sistemleri ise sürücünün kazaya karışmasını önlemek için taşıtların kontrol ve frenleme yeteneklerini iyileştirecek şekilde sistemlerin ve kaza ihtimalini tahmin edip, aracı bu sıkıntılı durumdan çıkarmaya çalışacak şekilde sürücüyü devre dışı bırakıp, devreye giren kontrol mekanizmalarını içerir (Öztürk, 2014).

Taşıtlarda güvenliğin yanında diğer önemli bir hususta sera gazı emisyonları standartlarıdır (Özer, 2016). Son yıllarda, otomotiv sektöründen, düşük sera gazı emisyon (CO₂, NO_x) salımlı ve yakıt tüketimi olan araçların üretimi istenilmektedir.

Yakıt verimliliğini iyileştirme teknolojisi sınırlı olduğundan, otomobil parçalarının ağırlığının azaltılması zorunluluk hale gelmiştir. Otomobil ağırlığının% 1 azaltılmasının yakıt tüketimini % 0,7 azalttığı bildirilmektedir (Joo vd., 2020; Errico vd., 2015; Hou vd., 2018; Park ve Park, 2018; Vaidya, 2011). Otomobil parçalarının ağırlığının azaltılması, yapının optimizasyonu, bileşenlerin işlevselliğinin iyileştirilmesi ve hafif malzeme kullanılmasıyla sağlanabilir (Hou vd., 2018; Liu vd., 2013; Xong vd., 2018; Zuo vd., 2011; Bai vd., 2017).

Yapılan çalışmalarda araçların üzerinde bulunan bazı parçaların toplam ağırlıkları fazla olarak tespit edilmiş ve alternatif malzeme arayışına girilmiştir. Bu malzemelerin başında polimerler gelmektedir.

Polimer malzemelerin (Plastikler) endüstride sıklıkla kullanılanları "Mühendislik Plastikleri" adı altında değerlendirilir. Mühendislik plastikleri her geçen gün teknolojinin istek ve taleplerine karşı çeşitlenmekte ve geliştirilmektedir. Fakat otomotiv sektöründe mühendislik plastiklerinin kullanımı 100 yıl kadar önce olsa da yüksek üretim maliyetleri nedeniyle uzun bir süre boyunca yaygınlaşamamıştır. Günümüzde ise polimer teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ucuzlayan üretim yöntemleri sayesinde özellikle termoplastikler otomotiv sektöründe epeyce yüksek bir kullanım oranına sahip olmuşlardır (Küçüköğlü vd. 2020).

Otomotiv ve diğer birçok alanda kullanılan plastikler herhangi bir şekilde, durumda ya da cismin dışarıdan bir müdahalesi sonucu darbeye maruz kalabilirler. Örneğin herhangi bir taşıt karayolunda giderken yola aniden çıkan yaya, hayvan vb. engele çarpması sonucu tamponda hasar oluşabilir (Erik, 2019).

Malzemenin üzerine gelen darbenin şiddetini ölçen birden fazla darbe test yöntemi ve cihazı vardır. Bu çalışmada hava basıncı ile çalışan darbe test cihazı kullanılmıştır. Darbeler hızlı ve yavaş olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Fakat birçok kaynağın belirttiği üzere yavaş darbe ile hızlı darbe tanımlarının net bir ayrımının olmadığını göstermektedir. Yine de bir tanımlama yapılacak ise; malzemelerin rijitlik, kütle ve fiziksel özelliklerine bağlı kalmak şartıyla sabit hedef malzemeye çarpan diğer malzemenin hızı 1-10 m/s arasında ise yavaş darbe, 10 m/s ve üzeri bir hıza sahipse hızlı darbe denmektedir (Sayer, 2009).

Lee ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmada darbe testleri genel olarak yüksek hız ve düşük hız olmak üzere iki ayrı sınıfta incelemişlerdir. Yüksek hızlı darbe testlerinde yapının tümü darbeye tepki gösterecek yeterli zamanı bulamayacağından zarar görmektedir. Düşük hızlı darbe testlerinde ise temas süresi yeteri kadar uzun olduğu için yapının tamamı darbeye tepki gösterebilmektedir. Böylece darbe enerjisini elastik olarak absorbe etmesine olanak sağlamaktadır.

Agrawal ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada fiberle güçlendirilmiş polimer matrisli kompozit bit malzemede darbe kuvvetinin yapmış olduğu etkiyi daha geniş bir alandaki davranışını incelemişlerdir. Benzer bir çalışmada ise Fındık ve Tarım (2003) Polimer kompozitlerin balistik darbe verimliliği üzerine yaptıkları araştırmada bazı polimer bazlı kompozit malzemelerin darbe verimliliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu

çalışmada dört farklı araca ait polimer malzemelerin düşük hızda darbe testleri yapılarak elde edilen sonuçların kıyaslaması yapılmıştır. Testlerde enerji sönümleme kabiliyetleri incelenmiş ve test sonuçları kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada PP ve EPDM katkılı 4 farklı aracın ön tamponundan 100x100 mm ölçülerinde dikdörtgen şekilli numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin boyutları ASTM 3763-02'de bahsedildiği üzere hazırlanmıştır. Darbe deneylerinde Instron-Dynatup 9250 HV darbe test cihazı kullanılarak darbe dayanımları test edilmiştir (Şekil 1).

Test cihazı, serbest ağırlık düşürme prensibine göre çalışan yer tipi, yüksek hızlı ve sistem kontrollü bir darbe cihazıdır. İmpuls sinyal şartlandırma birimine, impuls veri toplama kartına ve veri elde etme yazılımına sahip olması cihazı sistem kontrollü olma özelliği sağlamaktadır (Esendemir ve Karaca 2019) .



Şekil1. Instron-Dynatup 9250 HV darbe dayanım test cihazı (Instron-Dynatup 9250 HV impact tester)

Cihaz darbe için ekstradan bir uygulayacağı bir kuvvet istendiğinde bunu üzerindeki yaylar vasıtası ile gerçekleştirebilmektedir. Yaylar darbe cihazına ekstradan 2,6 ile 826 Joule arasında bir enerji verebilmektedir. Ayrıca sisteme ek ağırlıklarda ilave edilerek toplamda 1603 Joule'lük bir enerji elde edilebilmektedir (Sayer 2009).

Cihazda yay desteği olmadan ağırlığın düşebileceği maksimum yükseklik 1,25 m'dir. Yay devreye girer ise simüle ettiği yükseklik 20,4 m'ye kadar çıkmaktadır. Sistemin yay enerjisini kullanmadan çıkabileceği maksimum hız 5 m/s'dir. Yay enerjisi kullanıldığında ise bu hız 20 m/s hıza kadar çıkabilmektedir. Bu hıza çıktığında cihazda meydana gelen titreme malzemeye uygulanan darbe şiddetinin az da olsa etkilenmesine sebep olmaktadır.

2.1. Numunelerin Hazırlanması (Preparation of Samples)

Deneyde kullanılan malzemeler ile kalınlıkları Tablo 1'de verilmiştir. Piyasada kullanımda olan dört farklı aracın tamponlarından standart haline getirilerek (boyutsal, kalınlıklar üzerinde işlem yapılmamıştır) numuneler çıkartılmıştır. Deneyin amacı taşıtları kıyaslamak olduğu için numuneler üzerinde (Kalınlıklar üzerinde) herhangi bir işlem yapılmamıştır.

Tablo 1. Malzemelerin kalınlıkları (Thickness of materials)

Deney Numunesi	F Aracı	H Aracı	R Aracı	T Aracı
Kalınlık (mm)	3	3	4	4

Darbe testlerinde kullanılacak olan malzemeler 100x100 mm ölçülerinde olacak şekilde kıl testere ile kesildi. Her araç tipinden 3'er adet farklı hızlarda deneyler yapılmıştır. Çekme ve sertlik için ise ayrı ayrı testlere tabi tutuldu. Araçların tampon malzemesi PP+EPDM olduğu tamponların üzerindeki açıklayıcı kısaltmalardan tespit edilmiş olup Tablo 2' de ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır.

Tablo 2. Deneyde kullanılan ön tampon malzemelerinin özellikleri (Properties of the front bumper materials used in the experiment)

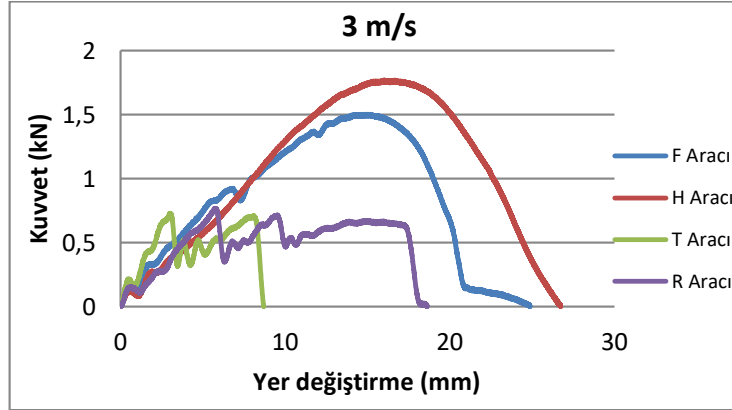
Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Uzaması (%)	Elastisite Modülü (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
EPDM	1,4	300	-	5
PP	0,9	6	1325	34

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Dört farklı araca ait olan polimer malzemelerin darbe testleri 3 m/s sabit hızda yapılmıştır. Bu hızlardaki kuvvet-yer değiştirme, hız- zaman ve absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafikleri incelenmiştir. Deneyleerin tamamı 25°C sıcaklıkta yapılmıştır.

3.1 Kuvvet-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi (Force-Displacement Graph of The Vehicles)

Şekil 2'deki ölçümler vurucu uç malzemeye dokunduğu andaki kuvvetler baz alınmıştır. Darbe enerjisinin oluşturduğu kuvveti sönmüleyerek uzayan deney numuneleri sırayla H taşıtı, F taşıtı, R taşıtı ve T taşıtıdır.

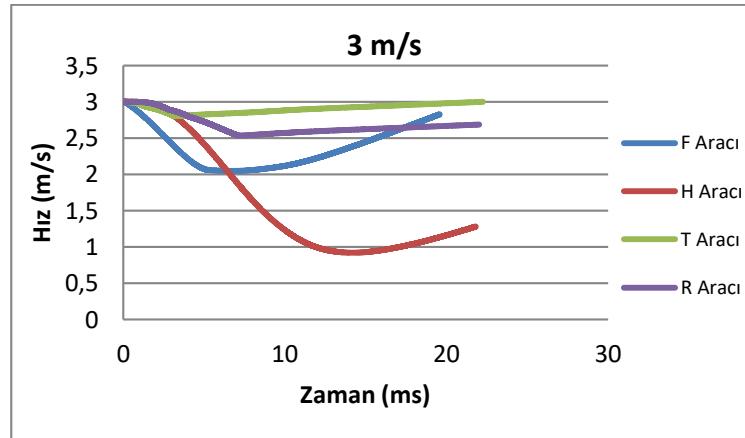


Şekil 2. Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızındaki kuvvet - yer değiştirme grafiği (Force-displacement graph of the vehicles under test at a speed of 3 m/s)

Yer değiştirme miktarları ise sırayla 26,73 mm, 24,84 mm, 18,56 mm ve 8,67 mm'dir. Sadece H taşıtı 3 m/s hızındaki kuvveti tam olarak sönmülemiştir.

3.2. Taşıtlara ait Hız-Zaman Grafiklerinin İncelenmesi (Velocity-Time Graph of Tested Vehicles)

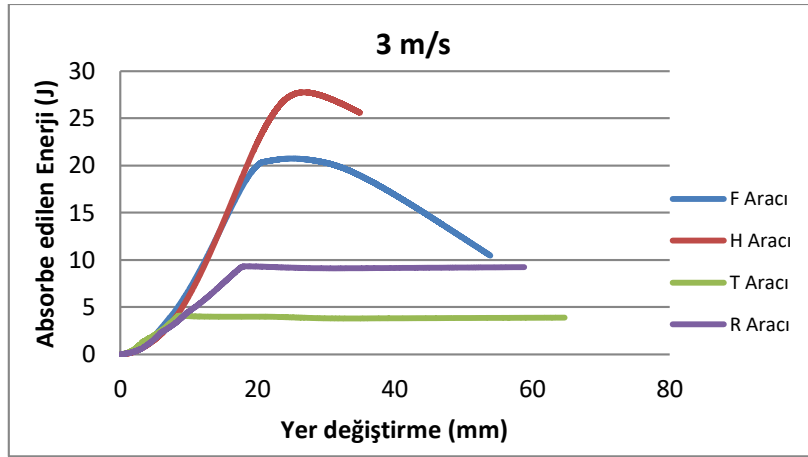
Şekil 3'de görülen grafikte ilk sırayı H taşıtına ait olup 3 m/s'lik hızı 1 m/s hıza kadar düşürmüştür. İkinci sırada ise F taşıtı gelmektedir. F taşıtında ise 1 m/s'lik bir hız düşümünün gerçekleştiği görülmektedir. T ve R taşıtlarına ait olan numunelerde ise birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiş olup, yaklaşık olarak 0,5 m/s 'lik hız düşümünün olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Teste tabi tutulan taşıtların 3 m/s hızındaki hız-zaman grafiği (Velocity-time graph of tested vehicles at 3 m/s)

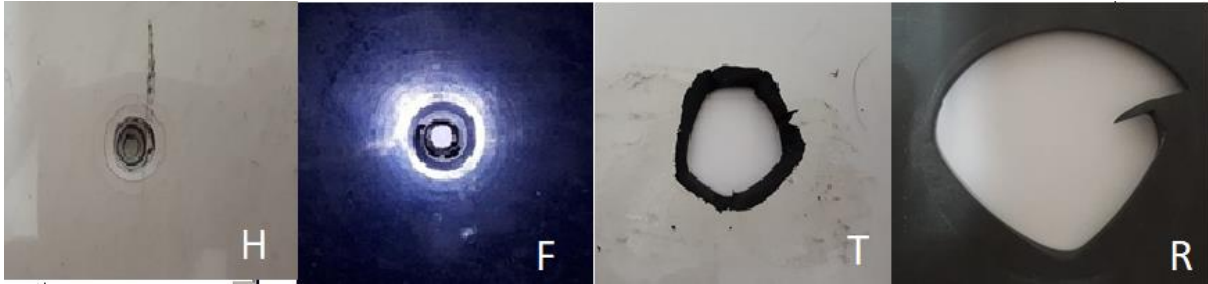
3.3. Absorbe Edilen Enerji-Yer değiştirme Grafiklerinin İncelenmesi (Absorbed Energy-Displacement Graph of Tested Vehicles)

Şekil 4'de görüldüğü üzere enerjiyi en iyi absorbe eden araç H aracıdır. H aracının emdiği enerji miktarı ise 27,75 J'dür. F aracı 20,95 J, R aracı 9,33J, T aracı 4,10 J enerji absorbe etmiştir.



Şekil 4. Test edilen taşıtların 3 m/s hızdaki absorbe edilen enerji-yer değiştirme grafiği (Absorbed energy-displacement graph of tested vehicles at 3 m/s)

Malzeme üzerinde yapılan çalışmalar arttıkça tampon malzemelerindeki enerji sönümlenme kabiliyetlerinin geliştiği söylenebilir. Numunelerin deney sonucundaki görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin darbe testi sonrası görüntüleri (Images of the samples after the impact test)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Taşıtların ön tamponları pasif güvenlik sistemleri içerisinde en önemli parçalardan biridir. Bu sebeple bu çalışmada darbe enerjilerinin sönümlenme kabiliyetleri incelenmiştir. Bunun için sabit çarpma hızında ve dört farklı otomobil üreticisinin ürettiği araçların ön tampon malzemeleri kullanılmıştır. Test 25°C sabit sıcaklıkta tutulan bir ortamda gerçekleştirilmiştir.

Sabit hızda yapılan testler sonucunda kuvvet ve sönümlenme kabiliyeti olarak en iyi ön tampon malzemesinin H aracına ait olduğu anlaşılmıştır. Yapılan testlerde "H" ve "F" araçlarının ön tampon malzemesinin darbe sönümlenme kabiliyetlerinin diğer iki araçtan daha iyi olduğu görülmüştür. Bu taşıtlara ait tamponların daha sünek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Darbe deneyi sonucu resimlerinden de anlaşılacağı gibi en gevrek malzeme ise "R" taşıtlarına ait malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Benzer şekilde yine test esnasında delici sistemin hızının en aza inmesine sebep olan numune yine "H" aracına ait olmaktadır. Bu sonuçtan da herhangi bir kaza esnasında darbeleri absorbe edebilecek en iyi sönümlenme kabiliyetine sahip olan malzeme olduğu anlaşılmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Agrawal, Singh and Sarkar. 2014. Impact damage on fibre-reinforced polymer matrix composite. Journal of Composite Materials, 48: 317-332.
- Bai, J., Li, Y., Zuo, W., 2017. Cross-sectional shape optimisation for thin-walled beam crashworthiness with stamping constraints using genetic algorithm Int J Vehicle Design, 73, 76-95
- Erik N. Ç., 2019. Otomotiv Gövde İmalatında Kullanılan Polimer Malzemelerin Enerji Sönümlenme Yeteneklerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

- Errico F, Ranza L., 2015. Guidelines for the market competitiveness of sustainable lightweight design by magnesium solution: a new Life Cycle Assessment integrated approach. IMA's 72nd World Magnesium Conference: International Magnesium Association, 22-7.
- Esendemir Ü., Karaca. H., 2019. Düşük Hızlı Darbe Yüküne Maruz Kompozit Plakalara Asidik Ortamın Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 7(1), 26 – 33.
- Findik F., Tarım N., 2003, Ballistic impact efficiency of polymer composites, Composite Structures, 61, 187-192
- Hou, W., Xu, X., Wang, H. L., 2018. Tong Bending behavior of single hat-shaped composite T-joints under out-of-plane loading for lightweight automobile structures J Reinforc Plast Compos, 0731684418764608 .
- Joo, S. J., Yu, M.H., Kim, W.S., J.W. Lee, Kim H.S., 2020. Design and manufacture of automotive composite front bumper assemble component considering interfacial bond characteristics between over-molded chopped glass fiber polypropylene and continuous glass fiber polypropylene composite Compos Struct, 236, 111849
- Küçüköğlü A., Özyapı G., Acar A., Bağrıyanık A.O., Çolpan O., Çelik H., Yağcı Y.E., 2020. Çok Bileşenli Kalıplama Yöntemine Uygun Sürekli Elyafli Termoplastik Kompozit Akü Taşıyıcı Parçasının Geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 8(4), 1223 – 1235.
- Lee S.M, Cheon J.S., LM Y.T.i 1999. Experimental and numerical study of the impact behavior of SMC plates. Composite Structures, 47: 551-561
- Liu , Q., Lin, Y., Zong , Z., G., Sun , Li, Q., 2013. Lightweight design of carbon twill weave fabric composite body structure for electric vehicle Compos Struct, 97, 231-238.
- Özel S., Karagöz, Selçuk, Turan, H., Beytüt, Turan, M., K., 2018. Taşıt Tampon Malzemesi Olarak Alüminyum Alaşımlarının Kullanılmasının Taşıt Çarpışma Performansına Etkisi, 1 st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18) .
- Özer H., CanY., Güçlü H., Karen İ., Yazıcı M., 2016. Bursa Termoplastik Kompozit Malzeme Ve Sentaktik Köpük Esaslı Sandviç Yapılardan Çok Hafif Tampon Kirişi Ve Darbe Sönümleyici Geliştirilmesi, 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 23 – 24 Mayıs
- Öztürk İ., Kaya N., Öztürk F., 2014. Otomobil Ön Tampon Çarpışma Simülasyonu ve Optimizasyonu” Otomotiv Teknolojileri Kongresi
- Park, G., Park, H., 2018. Structural design and test of automobile bonnet with natural flax composite through impact damage analysis Compos Struct, 184, 800-806.
- Sayer M. 2009. Hibrit Kompozitlerin Darbe Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Vaidya, U., 2011. Composites for automotive, truck and mass transit: materials, design, manufacturing: DEStech Publications Inc .
- Xiong, F., Wang, D., Ma Z., Chen, S., Lv T, Lu F. 2018. Structure-material integrated multi-objective lightweight design of the front end structure of automobile body. Struct Multidiscipl Optimizat, 57:829–47.
- Zuo W., Xu T., Zhang H., Xu T., 2011. Fast structural optimization with frequency constraints by genetic algorithm using adaptive eigenvalue reanalysis methods Struct Multidiscipl Optimizat, 43, 799-810.



1 KW GÜCÜNDE KABLOSUZ ENERJİ TRANSFER SİSTEMİ TASARIMI VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Ali AĞÇAL*, Tuğba Halime DOĞAN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Kablosuz Enerji Transferi, Manyetik Rezonanslı Kuplaj, Seri Seri Topoloji, İnsan Sağlığına Etkiler.</i>	Kablosuz enerji transferi (KET) günümüzde dünyada güncel ve popüler bir konudur. Birbirine bağlı kabloların kullanımının zor olduğu ve tehlike arz ettiği durumlarda kullanılır. Kablosuz güç aktarımında elektrik enerjisi kablolar yerine manyetik alan ile iletilir. Bu çalışmada, 20 kHz frekansında 1 kW gücünde 50 cm-50 cm dış çapında bir KET sistem tasarımı yapılmıştır. Devrenin analitik çözümü MATLAB programında yapılmıştır. Devre MATLAB/Simulink üzerinde kurulup çıkışı 1 kW güç olacak şekilde ayarlanmıştır. Sistemin bobin tasarımı ANSYS® Maxwell 3D programı ile sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak yapılmıştır. Alıcı ve verici bobin arasındaki mesafe arttıkça bağlantı faktörünün azaldığı ve buna bağlı olarak belirli bir mesafeden (kritik hava aralığı) sonra enerji aktarımında verimin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada KET’de güç aktarım verimi 17 cm mesafeden %89.4 olarak elde edilmiştir. Ayrıca tasarlanan KET sisteminin insan sağlığına olan etkileri ANSYS® HFSS ve Maxwell 3D programı kullanılarak IEEE ve ICNIRP standartlarına göre incelenmiştir.

1 KW WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM DESIGN AND HUMAN HEALTH EFFECT

Keywords	Abstract
<i>Wireless Energy Transfer, Magnetic Resonance Coupling, Series Series Topology, Human Health Effects.</i>	Wireless Power Transfer (WPT) is currently a popular and current issue in the world. WPT is used in situations where interconnected cables are difficult to use and pose a danger. In WPT, electrical energy is transmitted by magnetic field instead of cables. In this study, a WPT system design was made at the outer diameter of 50 cm-50 cm, 1 kW power, and 20 kHz frequency. The analytical solution of the circuit was made in MATLAB program. The circuit is installed on MATLAB/Simulink and the output is set to be 1 kW power. The coil design of the system was made with ANSYS® Maxwell 3D program using the finite element method (FEM) In WPT systems, as the distance between the receiver and the transmitter coil increases, the coupling factor decreases. It has been observed that the efficiency of the energy transfer decreases when the air gap falls below the critical air gap value. In this study, the efficiency of WPT was obtained as 89.4% from 17 cm air gap. In addition, the effect of the WPT system on human health was examined using the ANSYS® HFSS and Maxwell 3D program according to IEEE and ICNIRP standards.

Alıntı / Cite

Ağçal, A., Doğan T.H., (2021). 1 KW Gücünde Kablosuz Enerji Transfer Sistemi Tasarımı ve İnsan Sağlığına Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 856-865.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Ağçal, 0000-0003-0965-4038
T.H. Doğan, 0000-0002-1316-2522

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.05.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	12.06.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: aliagcal@sdu.edu.tr

1. Giriş (Introduction)

Kablosuz enerji transferi (KET), 1890'lı yıllardan beri çalışılan ve önemini hiç kaybetmemiş bir konudur. Nicola Tesla, çeşitli çalışmalarının sonunda gücün kablosuz olarak verimli bir şekilde aktarılabilmesi için manyetik rezonansın kullanılması gerektiğini göstermiştir (Pashei vd., 2016). Enerjinin kablo ile iletilmesinin çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde hızla artan elektrikli eşya kullanımına bağlı olarak kablo kirliliği meydana gelmektedir. Su altında bir iletim yapılacaksa kablo kullanımı tehlike yaratabilmektedir. Bu gibi durumları önlemek için KET'in basitliği ve güvenilirliği bu gibi durumlara oldukça iyi bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, KET yüksek verimle çalışabilmektedir (Karakaya, 2007). Günümüzde KET elektrikli araç, biyomedikal cihaz, cep telefonu, elektrikli otobüs ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Xiao vd., 2021; Narayanamoorthi, 2020; Rafie vd., 2020).

Kablosuz güç aktarımı çeşitli yollarla yapılabilir. Bunlar; elektromanyetik radyasyon, mikrodalga, lazer, kapasitif kuplaj, endüktif kuplaj ve manyetik rezonanslı kuplaj yöntemleridir. 1900'lü yıllarda elektromanyetik radyasyon (Tesla, 1900), 1950'li yıllarda mikrodalga (Brown, 1969) ile KET denenmiş ancak verimin düşüklüğü nedeniyle yaygınlaşmamıştır. KET sistemlerinin yaygınlaşması endüktif kuplaj yöntemi ile başlamıştır. Endüktif kuplaj yakın alan güç transferinde kullanıma daha uygundur. Endüktif kuplaj yöntemi sayesinde düşük frekans ve kısa mesafede daha iyi verim elde edilebilmektedir (Covic ve Boys, 2013) Günümüzde en sık kullanılan KET sistemi olan manyetik rezonanslı kuplaj teorisi 2007 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de yapılan çalışmalar sonucunda elde etmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 60 Wattlık lambayı kablosuz enerji iletimi sayesinde iki metre uzaklıktan yakmayı başarmışlardır (Kurs vd., 2007).

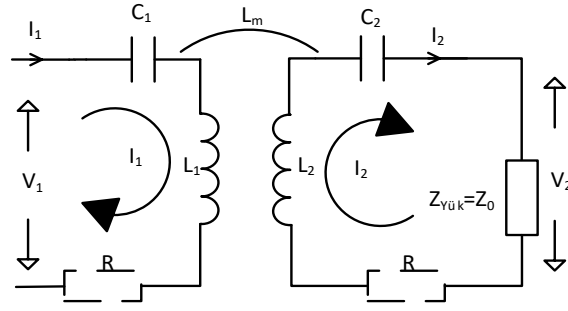
KET'de amaç bir bobinde enerji depolamak ve bu depolanan enerjiyi diğer bobine aktarmaktır. Enerjinin verimli şekilde iletilmesi kullanılan frekansa, bobin boyutuna ve bobinler arasındaki mesafeye bağlıdır (Ağcal, 2014). KET sisteminde çeşitli topolojiler bulunmaktadır. Bu topolojiler kondansatörün devreye nasıl bağlandığına göre şekillenir. KET topolojilerinden en yüksek verimli ve geniş yük aralığında çalışabileni Seri-Seri(SS) topolojidir (Doğan vd., 2019).

KET'de alıcı ve verici bobinlerin konumsal ve açısal olarak hizalanıp hizalanmaması da verimi etkilemektedir. Bobinler hizalanmış ise açısal ve konumsal olarak hizalanmamış bobinlere göre daha yüksek hava aralıklarında yüksek verimle çalışabilmektedir (Ağcal vd., 2018). KET sistemlerinde hava aralığının etkisini incelemek ve verimi maksimum düzeye çıkarmak için Neuman formülü kullanılarak manyetik rezonanslı kuplaj devresi incelenmiştir. Farklı hava aralıkları için optimum karakteristik empedanslar hesaplanmış, bu değerlere göre sistemin yüksek verimle çalışan çift veya tek rezonans frekansına sahip olduğu bağlantılarla açıklanmıştır (Imura ve Hori, 2011).

Bu çalışmada, 20 kHz frekansında, 1 kW gücünde ve 50 cm-50 cm boyutunda bir KET sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem manyetik rezonanslı kuplaj yöntemi kullanılarak SS topoloji yöntemiyle tasarlanmış, farklı hava aralıkları için karşıt endüktans değişimi gözlemlenmiştir. Sistemin alıcı ve verici bobinlerinin endüktans değerleri, devredeki kapasitans değerleri analitik eşitlikler ile elde edilmiştir. Devrenin analitik çözümü MATLAB programında hesaplanıp sonrasında devrenin eş benzetimi ANSYS® Simplorer ara yüzünde yapılmıştır. Simulink'te çıkışta 1 kW gücü elde etmek için giriş gerilimi ayarlanmıştır. Sistemin bobin tasarımı ANSYS® Maxwell 3D programıyla sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca sistemin insan sağlığına olan etkilerini incelemek için ANSYS® HFSS programı kullanılarak, KET sistemi ve insan uzuvları modellenmiştir. Yapılan tasarımın insan sağlığına etkileri IEEE ve ICNIRP standartlarına göre incelenmiştir.

2. Manyetik Rezonanslı Kuplaj (Magnetic Resonance Coupling)

Elektrik devrelerinde devreye bağlı bir kondansatör ve bir endüktans varsa aralarında belli frekanslarda enerji salınımı oluşur. Salınımın en yüksek olduğu frekans, rezonans frekansıdır. Manyetik rezonanslı kuplaj teorisi kullanılan KET sisteminde alıcı ve verici arasındaki enerji akışının maksimum olduğu rezonans frekansı yakalanır. Şekil 1'de SS topolojili manyetik rezonanslı kuplaj devresi gösterilmiştir.



Şekil 1. Manyetik rezonanslı kuplaj devresi (Magnetic resonance coupling circuit)

Eşdeğer devrede I_1 giriş akımını (verici akımını) I_2 çıkış akımını (alıcı akımını), V_1 giriş gerilimini, R verici ve alıcı sistemlerin ayrı ayrı iç dirençlerini, C alıcı ve verici rezonans kondansatörlerini, L_1 verici bobini, L_2 alıcı bobini, L_m karşıt endüktansı ve $Z_{yük}$ (Z_0) yük empedansını (karakteristik empedansı) göstermektedir. Rezonatörün doğal açılmalı rezonans frekansı denklem (1)'de, kalite faktörü ise denklem (2)'de verilmiştir.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \times \frac{1}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (2)$$

Kalite faktörü (Q), rezonans frekansındaki bobin ve kondansatör empedanslarının dirence oranıdır. KET sistemlerinde alıcı ve verici bobinler arasındaki manyetik bağlantı karşıt endüktans ile sağlanmaktadır. Manyetik bağlantının oranı karşıt endüktans ile alıcı ve verici bobinlerin endüktanslarının geometrik ortalaması oranlanarak belirlenir. Bu bağlantı oranı yada diğer adıyla bağlantı faktörü, k ile gösterilmektedir. Bağlantı faktörü ve karşıt endüktans arasındaki ilişki denklem (3)'te verilmiştir.

$$L_m = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (3)$$

Sistemin optimum verimini belirlemek için yararlılık katsayısı kullanılır ve U ile gösterilir. Optimum verim sistemin ulaşabileceği en yüksek verim olup, η_{opt} ile gösterilir. Yararlılık katsayısı denklem (4)'te ve U fonksiyonuna bağlı optimum verim denklem (5)'te verilmiştir.

$$U = k\sqrt{Q_1 Q_2} = \frac{\omega L_m}{\sqrt{R_1 R_2}} \quad (4)$$

$$\eta_{opt} = \frac{U^2}{(1 + \sqrt{1 + U^2})^2} \quad (5)$$

Q_1 verici kalite faktörünü, Q_2 ise, alıcı kalite faktörünü ifade etmektedir. Şekil 1'de SS devre topolojisi kullanılan KET sistemi için eşdeğer empedans denklem (6)'da ve verim denklem (7)'de verilmiştir.

$$Z_{E_s} = Z_1 + \left(\frac{1}{j\omega C_1} \right) + \left(\frac{L_m^2 \omega^2}{Z_2 + \frac{1}{j\omega C_2} + R_L} \right) \quad (6)$$

$$\eta = \left(\frac{jL_m \omega}{Z_2 + \left(\frac{1}{j\omega C_2} \right) + R_L} \right)^2 \times \frac{R_L}{Z_{E_s}} \quad (7)$$

Kritik karşıt endüktans değeri denklem (8) ile hesaplanır. L_m kritik karşıt endüktansın altında ise KET sisteminin verimi düşer. Denklem L_m kritik karşıt endüktansın üstünde ise yüksek verimle KET sağlanır ancak; rezonans frekansında çatalanma meydana gelir.

$$L_{m_{kritik}}^2 = \frac{Z_0^2 - R^2}{\omega^2} \quad (8)$$

3. KET Sistemi Tasarımı (WPT System Design)

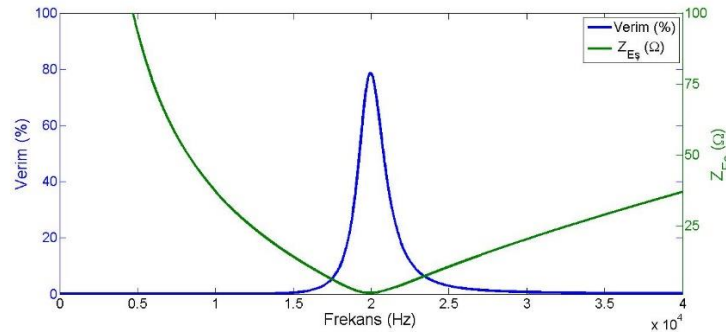
Yapılan devre tasarımında çalışma frekansı 20 kHz, çalışma boyutu 50 cm-50 cm olarak belirlenmiştir. Devrenin analitik çözümü MATLAB programında yapılmıştır. Kalite faktörü (Q) 100, R iç direnç 0,25 Ω alınmıştır. Denklem (2)'den yararlanılarak rezonatörün kalite faktörünü, doğal rezonans frekansını ve iç dirence bağlı endüktans değerini bulabilmek için denklem (9) kullanılmıştır.

$$L = Q \times \frac{R}{2\pi f} \quad (9)$$

L değeri denklem (10) kullanılarak L = 198,94 μ H olarak bulunmuştur. Endüktans değeri ve açısal frekansa bağlı kondansatör denklemi, denklem (1) kullanılarak denklem (10)'da elde edilmiştir.

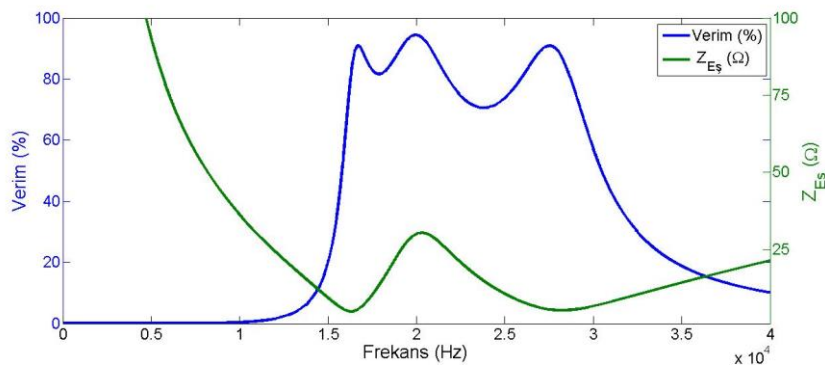
$$C = \frac{1}{L} \times \omega^2 \quad (10)$$

C = 319,85 nF olarak bulunmuştur. Yük direnci $R_L = 5 \Omega$ alınmıştır. $k = 0,1$ ve $k = 0,5$ için iki farklı devre oluşturularak hesaplamalar yapılmıştır. Devrelerin rezonans frekansı, kalite faktörü, yararlılık katsayısı, karşıt endüktansı ve maksimum verimi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bağlantı faktörü 0,1 ($L_m = 19,894 \mu$ H) için verimin ve eşdeğer empedansın frekansa göre değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. $k = 0,1$ için verim-frekans ve eşdeğer empedans-frekans grafiği (Efficiency-frequency and equivalent impedance-frequency graph for $k=0.1$)

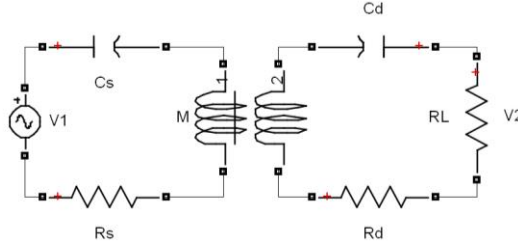
Bağlantı faktörü 0,1 için rezonans frekansı 20035 Hz ve rezonans frekansındaki eşdeğer empedans 1,43 Ω olarak bulunmuştur. Rezonans frekansında eşdeğer empedans minimum, verim maksimumdur. Şekil 2'de bağlantı faktörü $k=0,1$ için denklem (8)'in sağlandığı görülmekte ve tek rezonanslı durum oluşmaktadır. Bağlantı faktörü 0,5 ($L_m = 99,47 \mu$ H) için verimin ve eşdeğer empedansın frekansa göre değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. $k = 0,5$ için verim-frekans ve eşdeğer empedans-frekans grafiği (Efficiency-frequency and equivalent impedance-frequency graph for $k=0.5$)

Bağlantı faktörü 0,5 için Şekil 3'te denklem (9)'un sağlandığı ve üç rezonanslı durumun olduğu görülmektedir. Çalışmalarda frekansı en düşük frekansla sahip birinci rezonans frekansı, deri etkisi ve yakınlık etkisine bağlı AC

dirençlerin artmaması için tercih edilmektedir. Birinci rezonans frekansı 16700 Hz ve bu rezonans frekansındaki eşdeğer empedans 4,94 Ω olarak bulunmuştur. Rezonans frekansında eşdeğer empedans minimum, verim maksimumdur. Ancak ikinci rezonans frekansında eşdeğer empedans birinci rezonans ve üçüncü rezonans frekansından daha yüksektir. Çatallanmanın doğası gereği hava aralığı azaldıkça ikinci rezonans frekansındaki $Z_{E\delta}$ değeri büyüdüğü için girişten çekilen güç azalır. Bu yüzden SS topolojili KET sistemlerinde ikinci rezonans frekansında çalışmak tercih edilmez. Sistemin analitik çözümü tamamlandıktan sonra devre Şekil 4'teki gibi Simulink'te kurulmuştur.



Şekil 4. MATLAB/Simulink devresi (MATLAB/Simulink circuit)

$k=0,1$ ve $k=0,5$ için; V_1 giriş gerilimi P_2 çıkış gücü 1 kW olacak şekilde ayarlanmıştır. $k=0,1$ ve $k=0,5$ için benzetimden alınan değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. MATLAB/Simulink sonuçları (MATLAB/ Simulink results)

k = 0,1		k = 0,5	
$L_m = 19,894 \mu\text{H}$	$f_r = 20035 \text{ Hz}$	$L_m = 99,47 \mu\text{H}$	$f_r = 16700 \text{ Hz}$
$Z_{E\delta} = 1,43 \Omega$	$\eta = \%78$	$Z_{E\delta} = 4,94 \Omega$	$\eta = \%90$
$V_1 = 42,85 \text{ V}$	$V_2 = 70,7 \text{ V}$	$V_1 = 77,78 \text{ V}$	$V_2 = 71,09 \text{ V}$
$I_1 = 29,65 \text{ A}$	$I_2 = 14,14 \text{ A}$	$I_1 = 14,31 \text{ A}$	$I_2 = 14,22 \text{ A}$
$P_1 = 1270 \text{ W}$	$P_2 = 999,8 \text{ W}$	$P_1 = 1112 \text{ W}$	$P_2 = 1011 \text{ W}$
$V_{C1} = 738,5 \text{ V}$	$V_{C2} = 352,1 \text{ V}$	$V_{C1} = 427,6 \text{ V}$	$V_{C2} = 424,8 \text{ V}$

f_r rezonans frekansı, V_2 çıkış gerilimi, P_1 girişten çekilen güç, η verim, V_{C1} verici devredeki kondansatörün gerilimi, V_{C2} alıcı devredeki kondansatörün gerilimidir. Bobin tasarımı denklem (11) ve denklem (12) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L = \frac{N^2 A^2}{30A - 11D_i} \quad (11)$$

$$A = \frac{D_i + N(W + S)}{2} \quad (12)$$

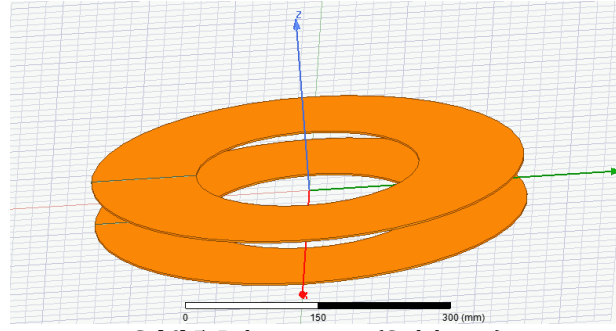
N sarım sayısı, A kesit alanı, D_i bobin iç çapı, D_o bobin dış çapı, S dönüşler arası boşluk, W kablo yarıçapıdır. $N = 20$, $D_i = 258 \text{ mm}$, $W = 3 \text{ mm}$, $S = 3 \text{ mm}$, $D_o = 498 \text{ mm}$, $L = 198,94 \mu\text{H}$ ve kablo uzunluğu 23,75 m olarak bulunmuştur

4. Sonlu Elemanlar Yöntemi Tabanlı Analizler (Finite Elements Method Based Analyses)

KET sistemi bobin tasarımı, manyetik alan, elektriksel alan dağılımı, frekans analizleri ve birçok sonuç gerçeğe en yakın sonuç veren SEY tabanlı programı ANSYS® programının çeşitli toolboxları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

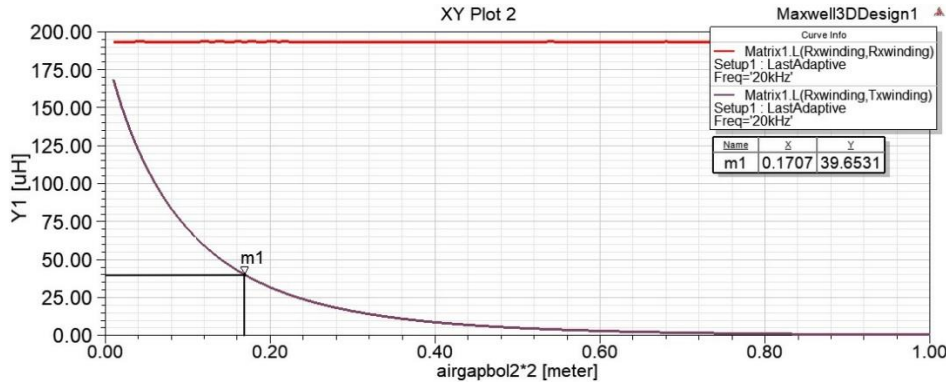
4.1 Bobin Tasarımı (Coil Design)

KET sisteminin bobin tasarımı ANSYS® Maxwell 3D programı ile gerçekleştirilmiştir. Dış çapları 50 cm - 50 cm iç çapları 25,8 cm - 25,8 cm olan alıcı ve verici bobin tasarlanmış ve Şekil 5'te gösterilmiştir.



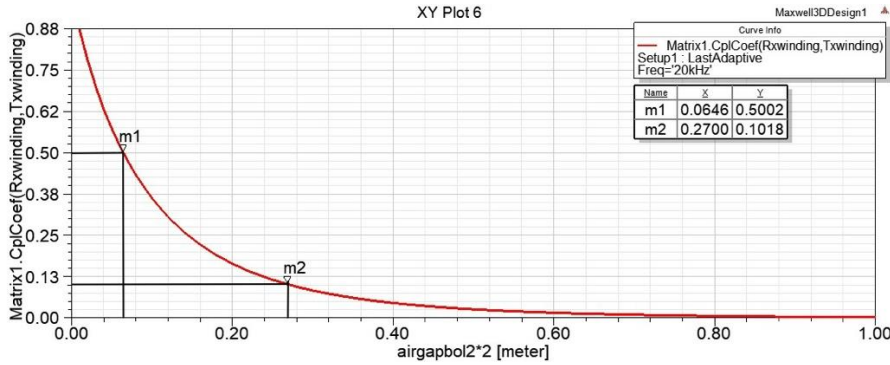
Şekil 5. Bobin tasarımı (Coil design)

Alıcı ve verici arasındaki hava aralığı değiştirilerek, hava aralığına bağlı verici bobin ile alıcı verici arasındaki karşit endüktansın değeri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Hava aralığına göre verici endüktans ve karşit endüktans (Transmitter inductance and mutual inductance according to air gap)

Denklem (7) kullanılarak $L_{mkritik}=39,73 \mu\text{H}$ olarak bulunmuş ve Şekil 6'da kritik hava aralığının 17 cm olduğu gösterilmiştir. Hava aralığının bağlantı faktörüne bağlı değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir.

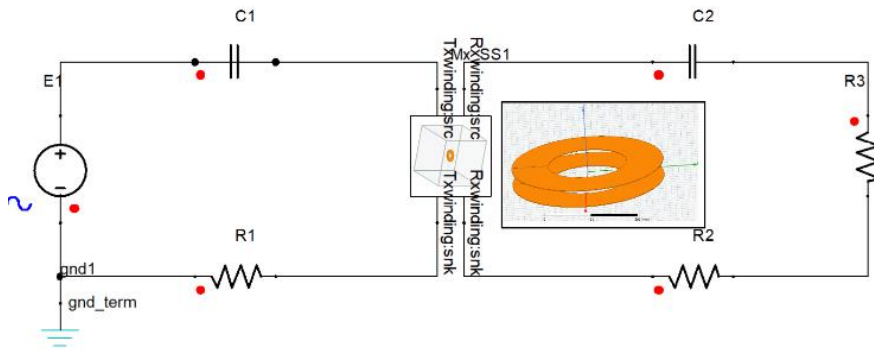


Şekil 7. Hava aralığına göre bağlantı faktörü (Coupling coefficient according to air gap)

$k=0,1$ için hava aralığı 27 cm ve $k=0,5$ için hava aralığı 6,46 cm olarak bulunmuştur. Şekil 7'de k arttıkça hava aralığının azaldığı gösterilmiştir.

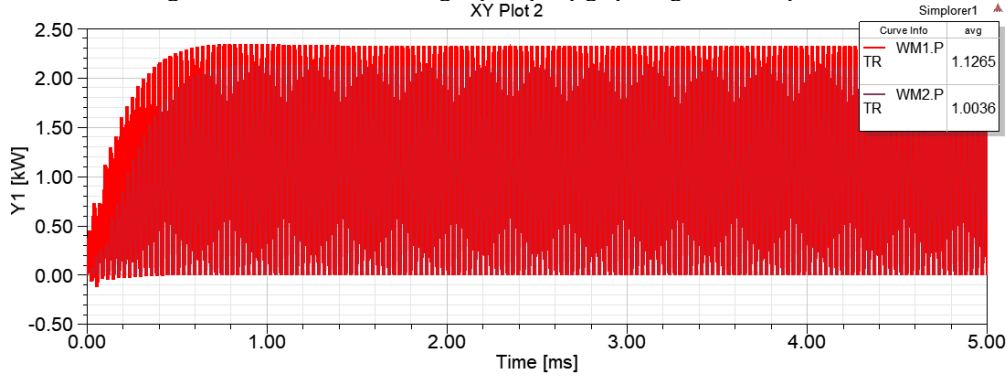
4.2 Eş Benzetim Analizi (Co-Simulation)

Sistemin devresi Ansys Simplorer ara yüzünde, bobinler Maxwell 3D ara yüzünde kurulmuş ve iki programın eş benzetimi ile KET sisteminin analizi yapılmıştır. Sistemin giriş, çıkış gücü ve verimi gözlemlenmiştir. Şekil 8'de KET sisteminin eş benzetim devresi gösterilmiştir.



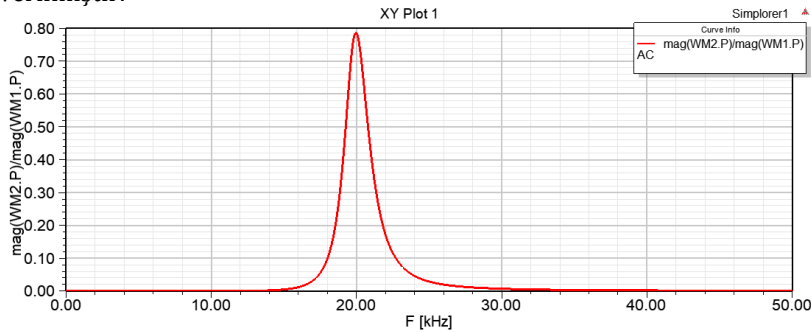
Şekil 8. KET eş benzetim devresi (WPT Co-simulation circuit)

Şekil 9'da 17 cm hava aralığındaki KET devresinin giriş ve çıkış güçleri gösterilmiştir.

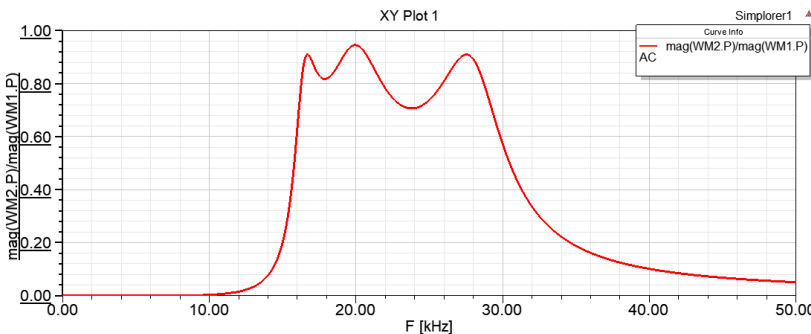


Şekil 9. KET sisteminin giriş ve çıkış gücü (Input and output power of the WPT system)

KET devresinin eş benzetimi sonucunda; sistemin giriş ve çıkışlarındaki ortalama güç bulunmuş; buna bağlı olarak 17 cm kritik hava aralığında verim %89,4 elde edilmiştir. Simplorer'da yapılan AC analiz sonucunda bağlantı faktörü 0,1 için Şekil 10'da ve bağlantı faktörü 0,5 için Şekil 11'de çıkış gücünün giriş gücüne oranının frekansa göre değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 10. $k = 0,1$ için verim-frekans grafiği (Efficiency-frequency graph for $k = 0,1$)



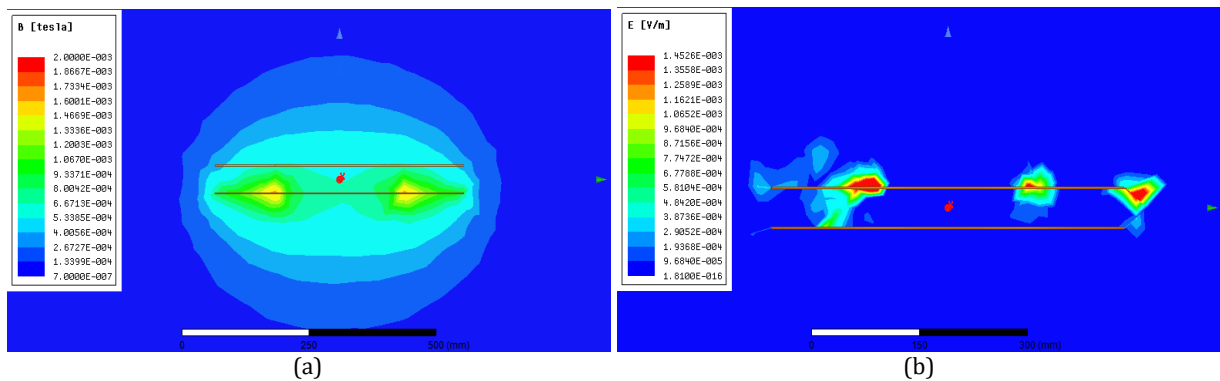
Şekil 11. $k = 0,5$ için verim frekans grafiği (Efficiency-frequency graph for $k = 0,5$)

Şekil 2 ve Şekil 3'teki MATLAB/Simulink üzerinden analitik hesaplamalarla alınan verim-frekans sonuçları ile Ansys üzerinden alınan Şekil 10 ve Şekil 11'deki sonuçların tutarlı olduğu gösterilmiştir.

5. İnsan Sağlığına Etkileri (Human Health Effects)

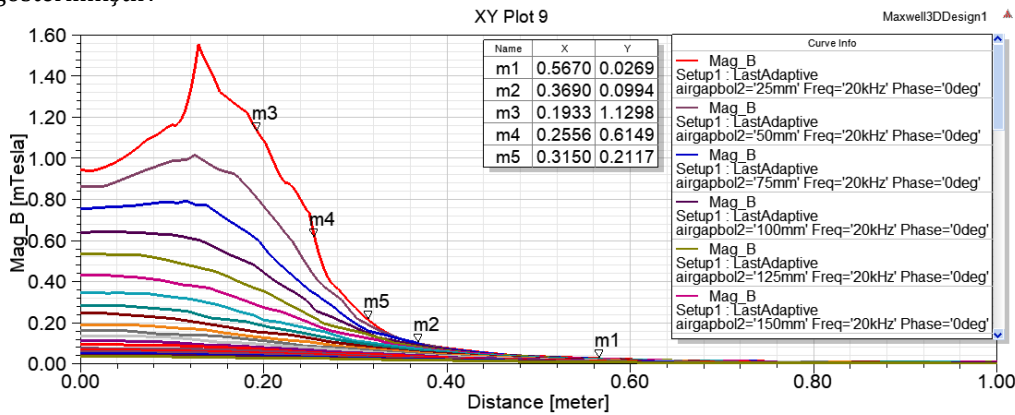
KET sistemleri tüm elektronik cihazlar gibi çevrelerinde elektrik alanı ve manyetik alan oluştururlar. Elektriğin kablosuz olarak manyetik bağlantıyla aktarımının yapıldığı endüktif kuplaj ve manyetik rezonanslı kuplaj devrelerinde alıcı ve verici arasındaki manyetik akı yoğunluğu oldukça yüksektir. Ancak alıcı ve verici bobinden uzaklaşıldığında bu değerler çok hızlı düşmektedir. KET sisteminin insan sağlığına zararlarını incelemek için ICNIRP (ICNIRP, 2010) ve IEEE (IEEE, 2019) standartları referans alınmıştır. ICNIRP'e göre, 20 kHz frekanslı bir KET sisteminde mesleki maruziyet için 5,4 V/m ve genel halk için ise 2,7 V/m elektrik alanı geçmemelidir. Zamanla değişen manyetik alanın mesleki maruziyet için referans seviyesi 80 A/m'yi, genel halk için ise 21 A/m'yi geçmemelidir. Mesleki maruziyet için manyetik akı yoğunluğu 100 μ T'yi, genel halk için ise 27 μ T'yi geçmemelidir. IEEE standardına göre kısıtlı alan için elektrik alan 1842 V/m'yi, kısıtlanmamış alan için ise 614 V/m'yi geçmemelidir. Kısıtlı alanın insan uzuvları için manyetik akı yoğunluğu 1,13 mT'yi, baş ve gövde için ise 0,615 mT'yi geçmemelidir. Kısıtlanmamış alan için manyetik akı yoğunluğu insan uzuvları için 1,13 mT'yi, baş ve gövde için ise 0,205 mT'yi geçmemelidir. Kısıtlı alan için manyetik alan 490 A/m'yi, kısıtlanmamış alan için ise 163 A/m'yi geçmemelidir.

Alıcı ve verici bobinin oluşturduğu manyetik akı yoğunluğu Şekil 12 (a)'da, alıcı ve verici bobinde oluşan elektrik alanı ise Şekil 12 (b)'de verilmiştir.



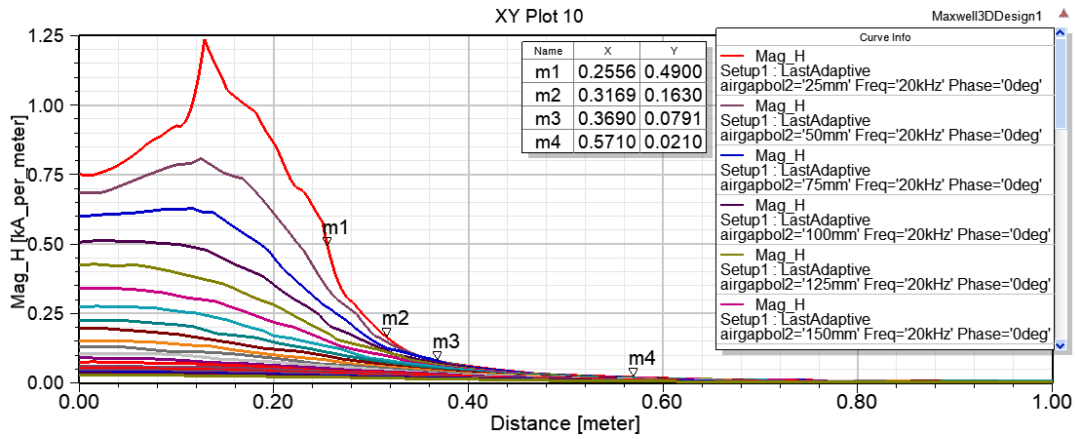
Şekil 12. KET sistemi (a) manyetik akı yoğunluğu ve (b) elektrik alan grafiği (WPT system (a) magnetic flux density and (b) electric field graph)

Farklı hava aralıkları için bobin merkezinden bobin dışına doğru (yatay eksen) manyetik akı yoğunluğu değişimi Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Farklı hava aralıkları için bobinin merkezinden bobin dışına doğru (yatay eksen) manyetik akı yoğunluğu grafiği (Magnetic flux density from the coil center to the outside of the coil (on the horizontal axis) for different air gaps)

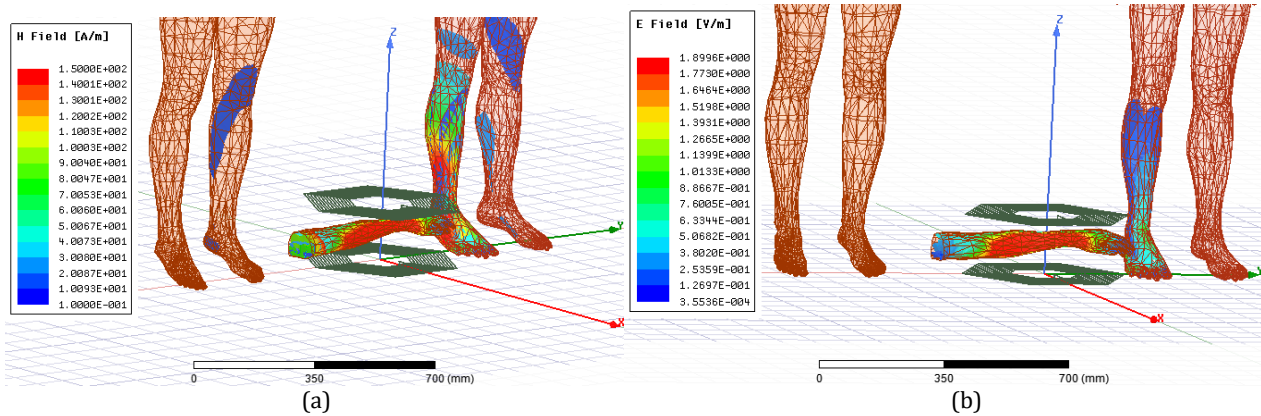
Bobin dış çapı 50 cm olduğu için 25 cm'den sonra bobin bitmekte ve bobini geçtikten sonra manyetik akı yoğunluğu keskin bir şekilde düşmektedir. Ayrıca alıcı ve verici bobin arasındaki hava aralığı arttıkça manyetik akının azaldığı görülmüştür. Farklı hava aralıkları için bobin merkezinden bobin dışına doğru (yatay eksen) manyetik alan değişimi Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Farklı hava aralıkları için bobin merkezinden bobin dışına doğru (yatay eksen) manyetik alan grafiği. (Magnetic field from the coil center to the outside of the coil (on the horizontal axis) for different air gaps)

Şekil 14'te hava aralığı arttıkça manyetik alanın azaldığı ve 25 cm'de bobini geçildikten sonra manyetik alan değerinin daha hızlı düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada, manyetik akı yoğunluğu aynı zamanda manyetik alana göre insan sağlığını olumsuz etkilemeyen minimum yaklaşım aralığı belirlenmiştir. IEEE'ye göre kısıtlı ve kısıtlanmamış alanda insan uzuvları için 19,3 cm, kısıtlı alanda baş ve gövde için 25,6 cm ve kısıtlanmamış alanda baş ve gövde için 31,7 cm'den fazla olması gerekir. ICNIRP'ye göre ise çalışan için 36,9 cm ve genel halk sağlığı için ise 56,7cm'den fazla olması gerekir.

KET sisteminin insan uzuvları üzerindeki etkisini inceleyebilmek için bir kadın vücudu, bir erkek vücudu ve bir erkek kolu kullanılarak yapılan benzetimde maruz kalınan elektrik alana ve manyetik alana bakılmıştır. Kadın vücudu KET sistemine 25 cm uzaklıkta, erkek vücudu KET sisteminin hemen yanına, erkek kolu ise alıcı ve verici bobinin arasına yerleştirilmiştir. İnsan uzuvlarının maruz kaldığı manyetik alan Şekil 15 (a)'da, insan uzuvlarının maruz kaldığı elektrik alan ise Şekil 15 (b)'de verilmiştir.



Şekil 15. İnsan uzuvlarının maruz kaldığı (a) manyetik alan ve (b) elektrik alan grafiği ((a)Magnetic field and (b) electric field graph to which human limbs are exposed)

Alıcı ve verici arasına yerleştirilen erkek kolunda oluşan elektrik ve manyetik alanın ICNIRP ve IEEE standartlarının üzerinde olduğu görülmüştür. KET sisteminin hemen yanına yerleştirilen erkek vücudunun sağ bacağına maruz kaldığı elektrik alan ve manyetik alan değerleri ICNIRP ve IEEE standartlarına göre yüksek iken; sol bacağına maruz kaldığı elektrik alan ve manyetik alan değerleri düşüktür. KET sisteminden 25 cm uzakta olan kadın vücudu ise ICNIRP ve IEEE standartlarına göre güvenli alandadır.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Enerjinin kablolu olarak iletildiği sistemlerde alıcı ve verici arasında fiziksel bir bağlantı yoktur. Bu durum kablo kirliliğini ve kablolardan kaynaklı oluşabilecek sorunları ortadan kaldırır. Bu çalışmada 1 kW gücünde seri-seri kompanzasyon topolojisine sahip bir KET sistemi tasarlanmıştır. Devre için gerekli olan elemanların değeri belirli denklem ve eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Devre ilk olarak MATLAB/Simulink üzerinde kurulmuştur. Buradan çıkış gücü 1 kW olacak şekilde giriş gerilimi ayarlanmıştır. $k = 0,1$ ve $k = 0,5$ bağlantı faktörleri için verim ve devre parametreleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bobinin tasarımı ise ANSYS® Maxwell 3D programı yardımıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Alıcı ve verici bobinlerin endüktans değerleri ve bağlantı

faktörünün hava aralığına göre değişimi gözlemlenmiştir. Hava aralığı arttıkça bağlantı faktörünün azaldığı görülmüştür. Bağlantı faktörünün azalmasıyla verimin kritik hava aralığına kadar sabit kaldığı kritik hava aralığı geçildikten sonra bağlantı faktörü ile verim arasında doğru orantı olduğu ve bağlantı faktörünün azalmasıyla verimin de azaldığı gözlemlenmiştir. Sistemin Ansys Maxwell 3D ile haberleşen eş benzetim devresi Simplorer üzerinde kurulmuştur. Simplorer programı ile devrenin verimi ve rezonans frekansı bulunmuştur. Bobinlerin yaydığı manyetik alanın etrafa manyetik saçılmalar meydana getirdiği gözlemlenmiş ve bu durumun insan sağlığına olan etkisi ANSYS® Maxwell 3D ve HFSS kullanılarak IEEE ve ICNIRP standartlarına göre incelenmiştir. Bu devrede saçılmanın alıcı ve verici bobin arasına girildiğinde veya çok yakınında bulunulduğunda insan sağlığı için tehlike oluşturabileceği ve en az yarıçap kadar alıcı ve vericiden uzaklaşıldığında sınır değerlerin altına düşüldüğü görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda bu saçılmayı daha da azaltacak yöntemlerin (nüve ile alan yönlendirme ve/veya kalkanlama) kullanılarak manyetik devrenin geliştirilmesi 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)

- Pashei, A., Aydın, E., Polat, M., Yıldırım, E., Aydemir, M.T., 2016. Elektrikli araçlar için temassız güç aktarım sistemleri," EMO Bilimsel Dergi, 6(11), 1-12.
- Ağcal, A., 2014. Kablosuz enerji transferinde farklı hava aralıkları ve karakteristik empedanslara göre verim analizi, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Ağcal, A., Bekiroğlu, N., ve Özçira, S., 2018. Manyetik rezonanslı kuplaj ile kablosuz enerji transferinde hizalanmış ve hizalanmamış durumların limitlerinin incelenmesi. Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi, 3(30), 67-73.
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J.D., Fisher, P., Soljacic M., 2007. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances, Science, 317, 83-86.
- Brown W.C., 1969. Experiments involving a microwave beam to power and position a helicopter, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 5, 692-702.
- Covic G.A., Boys, J.T., 2013. Modern trends in inductive power transfer for transportation applications. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 1(1), 28-41.
- Doğan Z., Özsoy M., İskender İ., 2019. Manyetik rezonansa dayalı kablosuz güç transferi için yeni bir nüve geometrisi, Fen Bilimleri Dergisi, 7(4), 1012-1024.
- IEEE, 2019. Standard for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic, and electromagnetic fields (0 Hz to 100 kHz).
- Imura T. ve Hori Y., 2011. 'maximizing air gap and efficiency of magnetic resonant coupling for wireless power transfer using equivalent circuit and Neumann formula. IEEE Trans. Ind. Electron., 58(10), 4746-4752.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP), 2010. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields for low frequencies (1 Hz-100 kHz). Health Phys., 99, 818-836.
- Karakaya, U., 2007. Motor control via wireless energy and information transfer. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Narayanamoorthi, R., 2020. Cross interference free dual frequency wireless power transfer using frequency bifurcation for dynamic biomedical implants. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 63(1), 286-293.
- Rafiei, M., Boudjadar, J., Griffiths M.P., Khooban M.H., 2021. Deep learning-based energy management of an all-electric city bus with wireless power transfer." IEEE Access 9, 43981-43990.
- Tesla, N., 1900. Apparatus for transmission of electrical energy, U.S. Patent No. 649,621.
- Xiao, C., Bin C., Chunmao L., 2021 A fast construction method of resonance compensation network for electric vehicle wireless charging system. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 70, 1-9.



ANALYSIS OF SOCCER LEAGUE COMPETITION ALGORITHM FOR LOAD FREQUENCY CONTROL IN NONLINEAR INTERCONNECTED POWER SYSTEM

Ahmet DOĞAN*

Nuh Naci Yazgan University, Engineering Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, Kayseri, Turkey

Keywords

Optimization,
Load Frequency Control,
PID,
Heuristic Algorithms.

Abstract

Load Frequency Control (LFC) is a significant tool that provides an equilibrium between generated and consumed real power for efficient operation of power system. In this paper, design and performance analysis of Soccer League Competition (SLC) algorithm is provided for optimal solution of LFC in nonlinear interconnected power systems. SLC algorithm has ability of escaping from local minimum while increasing searching capability accuracy with their operators. SLC is employed for 50, 100 and 200 iteration numbers to decide PID controller parameters for minimizing Integral of Time multiplied Absolute Error (ITAE) as objective function. In order to demonstrate efficiency of SLC, two different nonlinear test systems are employed as case studies. At the first instant of study, two area nonlinear thermal power plants with proper value of Generation Rate Constraints is considered as test system. Then, the simulations are employed for three-area unequal power system consist of important system limitations such as generation rate constraints, time delay and governor dead band. Performance of SLC is compared to different heuristic algorithms such as Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BFOA), hybrid Firefly Algorithm and Pattern Search (hFA-PS), Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC). Simulation results reveal that better dynamic performances of different test systems are obtained using SLC among the considered algorithms.

FUTBOL LİĞİ MÜSABAKASI ALGORİTMASININ DOĞRUSAL OLMAYAN VE BİRBİRİNE BAĞLI GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜK FREKANS KONTROLÜ İÇİN ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

Yük Frekans Kontrolü,
Optimizasyon,
PID,
Sezgisel Algoritmalar.

Öz

Yük Frekans Kontrolü (YFK), güç sistemlerinin verimli çalışması için üretilen ve tüketilen aktif güç arasındaki dengeyi sağlayan önemli bir araçtır. Bu çalışmada, doğrusal olmayan ve birbirine bağlı alanların bulunduğu güç sistemlerinde YFK'nın optimum çözümü için Futbol Ligi Müsabakası (FLM) algoritmasının tasarım ve performans analizi gerçekleştirilmiştir. FLM algoritması, operatörleri sayesinde arama kabiliyetinin doğruluğunu artırırken yerel minimumlardan kaçabilmektedir. FLM algoritması, zamanla çoğaltılmış mutlak hatanın integralini en aza indirmek için PID denetleyicisinin parametre değerlerine karar vermek için kullanılmıştır. FLM algoritmasının etkinliğinin göstermek için, benzetim çalışması olarak iki farklı doğrusal olmayan test sisteminin benzetimi gerçekleştirilmiştir. İlk çalışmada, uygun değerde üretim oranı kısıtlamaları olan iki bölge doğrusal olmayan termik santral test sistemi göz önünde bulundurulmuştur. Daha sonra, üretim oranı kısıtlamaları yanında governor etkisiz bölgesi ve zaman gecikmesi gibi önemli fiziksel kısıtlamalardan oluşan eşit olmayan üç bölge güç sistemi üzerinde araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Bakteri Yiyecek Arama Optimizasyon, hibrit Ateş Böceği-Örnek Arama, Yapay Arı Kolonisi ve Parçacık Sürü Optimizasyon algoritmaları sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçları, dikkate alınan algoritmalar arasında FLM algoritması kullanılarak gerçekleştirilen benzetimlerde test sistemlerinin daha iyi dinamik performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

* İlgili yazar / Corresponding author: adogan@nny.edu.tr

Alıntı / Cite

Doğan, A., (2021). Analysis of Soccer League Competition Algorithm for Load Frequency Control of Nonlinear Interconnected Power System, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 9(3), 866-879.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Doğan, 0000-0002-9552-1997

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.11.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Introduction

Electrical power systems may involve numerous control areas with a variety of power sources that produce power to meet load demand. Besides, electricity companies have to supply uninterrupted, reliable, and efficient power to customers within acceptable quality due to importance of electrical power. The stable operation of interconnected power system is based on the equilibrium between load demand and generated power. Disparity between generation and consumption leads the distortion of the nominal frequency and output voltage. It can be said that the generation amount of the source is important in terms of stability and frequency deviation for power systems. Less power generation than power consumption causes a decrease in system frequency or vice versa. Namely, active power equilibrium is essential to keep the steady-state frequency error within acceptable values for proper operation of interconnected power systems. On the other hand, load frequency control (LFC) is defined as adjusting the active power output of the generation sources to keep deviations in system frequency and tie line power within the specified limits (Dogan, 2019). Today, LFC is becoming more important issue for power systems due to fast increase in number of integrated renewable and distributed energy sources which causes new physical constraints, complexity and uncertainties (Hasanien, 2018). Various classical control structures are used like Integral, Proportional-Integral and Proportional-Integral-Derivative (PID) to achieve control structure. PID controllers are generally preferred when fast response and stability is needed (Borase et al., 2020).

Another key point is that constant controller parameters cannot efficiently perform with respect to dynamic operating conditions and load variations. Thereby, it is necessary to be optimized gain coefficient of controllers based on load variation and system condition. Although fuzzy based methods are previously carried out to improve performance of stability, they require dataset, have complex operations and extensive computation times (Guha et al., 2018). Recently, heuristic optimization techniques are proposed for solving LFC problems due to their simplicity and they do not require dataset. In order to optimize controller parameters, some heuristic algorithms have been proposed in the literature. In (Guha et al., 2018), Backtracking Search Algorithm is employed to optimize PI/PID controller and it is compared to other algorithms in the literature. In (Guha et al., 2016), Grey Wolf Optimization is applied for different test systems. However, performances of the algorithms are not compared to any other algorithm for PID controller structure. In (Sahu et al., 2015a), a hybrid Firefly Algorithm-Pattern Search (hFA-PS) technique is proposed to select PI and PID controllers' parameters at solution of LFC of interconnected power systems with their nonlinearities. Nevertheless, hybridization process requires more detailed classification. In (Guha et al., 2020), the whale optimization algorithm is individually applied to a two area thermal power plant and multi-source power plant with AC- DC tie-line. Time-delay, governor dead-band and generation rate constraint are also considered. Phase-locked loop, which increased the computational burden, is used for power system stability. In (Mahendran & Vijayan, 2021), multi area and multi-source frequency controller is provided based on the dual-mode switch, which depends on threshold value. Combination of dragonfly algorithm and particle swarm optimization control algorithm optimized threshold of switch and PI controller parameters. In (Vedik et al., 2021) optimum frequency control of interconnected system is provided with various heuristic algorithms in presence of wind turbines and photovoltaic system. In (Wang et al., 2020), wind turbine fatigue load is considered for LFC problem. Two-areas LFC model including thermal power and hydropower models is created with fatigue load at low-speed shaft torque of the wind turbine. Differential evolution algorithm is employed for PID controller optimization. In (Hasanien, 2018), whale optimization algorithm is employed for optimally design the PID controllers in interconnected system including wind turbine, photovoltaic systems and wave energy sources. All the RES components are modelled under maximum power point tracking conditions. Integral square error (ISE) criterion is considered as objective function. In (Hasanien & El-Fergany, 2019), salp swarm algorithm is used to decide the coefficients of PID controllers of LFC of a multi-area hybrid renewable nonlinear power system. Dead-band and generation rate constraint are implemented with the governor model and the turbine model, respectively. However, only two area power system is considered for investigation.

In the light of literature search, some system limitations such as time delay, generation rate constraints and generation dead band negatively affect the dynamic response of power system by increasing oscillation, settling time and overshoots (Hasanien & El-Fergany, 2019). Linear approach of power system ignores real system constraints. Also, as the number of interconnected systems increase, frequency control becomes more difficult. In

In addition to all, the optimization algorithm is one of the most important factors in terms of frequency control performance. SLC can converge to global optimum by dividing players into fixed and substitution and using different operators (Moosavian & Roodsari, 2014). Imitation and provocation operators are applied to fixed and substitute player of winner team, separately. The imitation operator enlarges the searching capability of the algorithm while the provocation operator increases the accuracy of the solutions in complex optimizations problems. The mutation and substitution operators provide escaping from local minimums. One of the most important features of SLC is that it can perform coarse and fine searches together. The fine scale search is employed between individual players while coarse scale search is performed between teams. In the fine scale, players of the each team try to enhance their performance to be the star player of the team and to be superstar player of the league, respectively. Other players moves to direction of the star player of each team which means try to reach better solution. Moreover, SLC conducts other teams to the optimum solution.

SLC algorithm has been successfully applied to different areas. In (Moosavian & Kasaei Roodsari, 2014), SLC is employed for optimum design of water distribution networks. Best component size and settings are decided in order to obtain minimum cost. The results compared to algorithms such as PSO, GA, DE. The results indicates that SLC has cost value with lower number of function evaluations. In (Moosavian, 2015), SLC is used to solve high dimensional knapsack problem. It provides better results than ABC and HS in terms of finding global optimums with high degree of reliability. In (Fujita et al., 2016), SLC has been applied to set covering problem to test the convergence capability. It has good convergence performance up to 2000 decision-variables and 200 constraints. In (Ebrahimi & Tabatabaei, 2020), SLC is applied as optimization method for clustering sensor networks. It performs better than NODIC protocol. In (Qiao et al., 2020), deployment wireless sensor network problems are optimized using SLC and it provides better results in compare to firefly algorithm, genetic algorithm, and adaptive differential evolution are obtained. On the other side, a power system application of SLC is presented in (Dogan, 2021). Optimum sitting and sizing of renewable energy sources, energy storage system and electric vehicle charging station are provided for various power systems. Best value of objective function in repetitive simulation are better than grey wolf optimization algorithm. Although SLC is applied to various areas, there is not much application for power systems in the literature.

Considering all the abovementioned facts, contributions of the paper are expressed as follows;

- SLC algorithm, which have the ability of performing local and global research, is employed for the first time in order to optimize LFC. The obtained results of SLC are compared to other optimization as Bacterial Foraging Optimization Algorithm (BFOA), hybrid Firefly Algorithm and Pattern Search (hFA-PS), Particle Swarm Optimization (PSO) and Artificial Bee Colony (ABC).
- Interconnected power systems in presence of significant physical constraints and nonlinearities such as Time Delay (TD), Generation Rate Constraints (GRC) and dead band of governor (GDB) are taken account for examinations.
- Integrated time absolute error is considered as objective function. ITAE based adjusting makes the system to reach the steady state much faster than the other tuning methods. In addition, ITAE also minimizes peak overshoot.
- Firstly, Performance of the SLC algorithm is tested for two area multi source interconnected network and then unequal three area multi source interconnected power systems with nonlinearities is optimized for LFC problem.

The remaining part of this paper is organized as follows; Section 2 characterizes an explanation of LFC in interconnected power system and PID controller structure. Section 3 describe objective function and Section 4 explanations of SLC, PSO and ABC algorithms, respectively. Section 5 presents comparative analysis of SLC algorithm based on LFC in nonlinear power systems. Finally, conclusions are outlined in Section 6.

2. Load Frequency Control and Controller Structure

Load frequency control is required for keeping the frequency and tie line power variation in acceptable boundaries in normal operation and small disturbances, as well. Mathematical model of single area linear model is presented for LFC in Figure 1. Single area of interconnected system includes governor, speed governing system, turbine, generator and load (Sahu et al., 2015b).

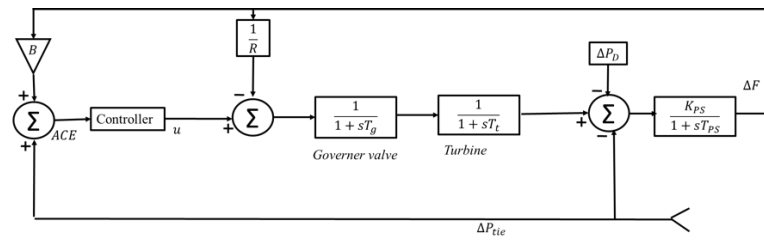


Figure 1. Single-area of interconnected power system.

Area Control Error (ACE) which represents the active power imbalance between generation and consumption. The required ACE in each area is used as reference for deciding controller parameters in order to approach ACE to zero. The signal is employed to adjust the generator production as fast as possible based on the power system load demand when the interconnected areas are disturbed by any sudden load variation. ACE is defined for n th area as follows;

$$ACE_n = B_n \Delta f_n - \Delta P_{Tie} \quad (1)$$

where B , Δf_n and ΔP_{Tie} are the frequency bias parameter, frequency deviation and tie line power change of the respective areas. Each components of the system are indicated by transfer functions for frequency domain analyses. Turbine transfer function is given by (2);

$$G_T(s) = \frac{\Delta P_T(s)}{\Delta P_V(s)} = \frac{1}{1 + sT_T} \quad (2)$$

where T_T is turbine time constant. Governor the transfer function is given by (3);

$$G_G(s) = \frac{\Delta P_V(s)}{\Delta P_G(s)} = \frac{1}{1 + sT_G} \quad (3)$$

where T_G is governor time constant. Reference power settings ($\Delta P_{ref}(s)$) and frequency deviations ($\Delta F(s)$) settle governor inputs and ($\Delta P_G(s)$) indicates the governor output as follows;

$$\Delta P_G(s) = \Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta f(s) \quad (4)$$

where R is speed regulation parameter. Generator and load transfer functions are given by (5);

$$G_P(s) = \frac{K_p}{1 + sT_p} \quad (5)$$

Generator and load system has turbine power change ($\Delta P_T(s)$), load disturbances ($\Delta P_D(s)$) and tie line power changes ($\Delta P_{Tie}(s)$) as input and frequency deviation ($\Delta f(s)$) as output.

$$\Delta f(s) = G_P(s) [\Delta P_T(s) - \Delta P_D(s)] \quad (6)$$

The turbine power changes depends on valve power variation ($\Delta P_V(s)$) which depend on governor output signal ($\Delta P_G(s)$). In normal steady state, turbine power and total power demands are on equilibrium with constant frequency.

LFC is provided using PID controller in this study. PID controllers are used in case of requirement of stability and fast response. Derivative controller increases performance of the power system and increases controller response speed. (7) represents the PID controller transfer function where K_p , K_i and K_d denote proportional, integral and

derivative controller parameters, respectively.

$$TF_{pid} = K_p + K_i \left(\frac{1}{s} \right) + K_d s \quad (7)$$

u_n is outputs of the control area n as follows;

$$u_n = ACE_n \left(K_{p,n} + \frac{K_{i,n}}{s} + K_{d,n} s \right) \quad (8)$$

3. Objective Function

It is evident from previous studies that the efficient operation of the power system relies on the artificial intelligence method and controller structure in the meantime. Besides, objective function is also one of the important tools for LFC. Objective function is designed based on dynamic response that depends on desired system constraints and specifications. The considered essential qualifications are steady-state error, overshoot, settling time. Standard performance criteria are Integral of Time multiplied Absolute Error (ITAE), Integral of Squared Error (ISE), Integral of Absolute Error (IAE) and Integral of Time multiplied Squared Error (ITSE). It has been reported that ITAE tuning produces systems, which settle in a lesser time than the ISE tuning methods and ITAE is a most effective objective function in LFC studies (Sahu et al., 2015a). In a power system, it is desired that all output variables to be steady state and all fluctuations to be in specified limit as fast as possible. Long time later occurred errors are punished heavily than earlier occurred error of the response with multiplying error by the time applying ITAE criteria. Considered objective function is based on minimization of ITAE in order to increase dynamic performance of the system as below;

$$J = ITAE = \int_0^{tsim} \left(\sum_{n=1}^{ntot} |\Delta f_n| + \sum_{m=1}^{mtot} |\Delta P_{tie,m}| \right) t \cdot dt \quad (9)$$

In the above equations, Δf_n indicates frequency deviations of n th area. $\Delta P_{tie,m}$ is the incremental change power of in m th tie-line and $tsim$ is the time range of simulation. n defines number of area and $ntot$ is total number of areas. Similarly, m and $mtot$ denote number of tie line and total number of tie lines, respectively. Measurement points of Δf_n and $\Delta P_{tie,m}$ are shown in the illustration of test system in Appendix. Objective function aims to settle down fast and minimize fluctuation in frequency deviation and tie line power. Hence disturbance of the overall system can be diminished.

4. Definition of Algorithms

4.1. Soccer League Competition Algorithm

Soccer League Competition (SLC) algorithm is proposed in 2014 (Moosavian & Kasaei Roodsari, 2014;). In a soccer league, teams are in competition with each other to be the champion team at the end of the season. Each team has fixed player (FP) and reserve players (RP), as well. Match winning probability of teams increase proportional to performance of their players. Hence, all players try to achieve their best performance. Although the player performance is the main factor for victory, winner of the match cannot be known for certain before match played. Highest number of match winner team becomes champion at the end of the season.

Each players and teams effort to improve their performance for next match and every season. Power of player (PP) defined as follows;

$$PP(i, j) = 1 / J(i, j), i \in team, j \in player, J = objective\ function \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, nTeams, j = 1, 2, \dots, (nFP + nRP)$$

$nTeam$ denotes number of team in league, nFP indicates number of fixed player in a team and nRP denotes number of reserve player in a team. The total number of players in the league corresponds to number of solution vectors. The team power (TP) is calculated as average of the power of the fixed players as follows;

$$TP(i) = (1/nFP) \sum_{j=1}^{nFP} PP(i, j) \quad (11)$$

The match winning probability for team i in a match is given by;

$$Pv(i) = TP(i) / (TP(i) + TP(k)) \quad (12)$$

$Pv(i)$ indicates winning probability of team i . It must be remembered that sum of winning probability of two teams must equal 1. After each match, some players will be modified to improve the team performance for winner and loser team, as well. These changes are made through the so-called imitation and provocation operators for winner team, while substitution and mutation operators are provided for the loser team players. Flowchart of SLC is given as follows in Figure 2 (Dogan, 2021).

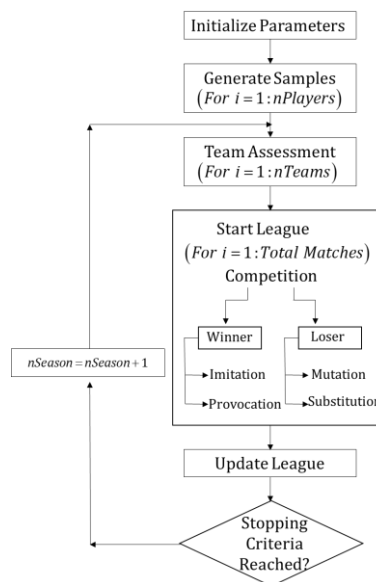


Figure 2. Flowchart of SLC

Each steps and operator of SLC algorithm are given as follows;

1. *Samples generation*: Initially, players and teams are randomly generated as given;

$$x(i, j, k) = \text{rand}[x^{\min}(i, j, k), x^{\max}(i, j, k)], \quad (13)$$

$i \in \text{team}, j \in \text{player}, k \in \text{variable}$

2. *Teams assessment*: If winning probability of i th team is higher than random generated number, i th team is winner of the match, otherwise it is loser team of the game.

$$\text{team}_i \text{ is winner, if } Pv(i) > \text{rand}[0,1] \quad (14)$$

$$\text{team}_k \text{ is winner, if } Pv(i) < \text{rand}[0,1] \quad (15)$$

Each team makes revision by the operators to enhance their power. Winner team applies the imitation and provocation to FP and RP , respectively. On the other side, Loser team applies the mutation and substitution operators to FP and RP , respectively. Operators are formulated as follows;

a. *Imitation*: FP of the winner team, try to be like SP and SSP by improving their player power in the league to reach to status of SP and SSP . Namely, fixed player of winner team tries to be best in the team and in the league, as well. Imitation is performed for i th team j th fixed player by the following formulas;

$$FP(i, j) = \mu_1 FP(i, j) + \tau_1 (SSP(i) - FP(i)) + \tau_1 (SP(i) - FP(i)) \quad (16)$$

$$FP(i, j) = \mu_2 FP(i, j) + \tau_1 (SSP(i) - FP(i)) + \tau_1 (SP(i) - FP(i)) \quad (17)$$

First, the solution vectors of the winner team FP perform a radical movement in the direction of the resulting vector of the SSP as in (16). If generated vector is presents a better results, it is changed with old one. Else, solution vector performs a smaller movement as in (17). If this movement does not give a better result, the old vectors are preserved.

b. Provocation: Weakest reserve players of winner team try to reach team power in order to turn into FP as follows;

$$R(i, j) = TP(i) + \chi_1 * (TP(i) - R(i, j)) \quad (18)$$

$$R(i, j) = TP(i) + \chi_2 * (R(i) - TP(i, j)) \quad (19)$$

First, the solution vectors of the weakest RP in the winning team perform a forward movement in the direction of the gravity center of FP as in (18). If generated vector is presents a better results, it is replaced with old one. Otherwise, weakest RP in the winning team perform a backward movement in the direction of the gravity center of FP as in (19). If the weakest reserve success to improve its performance, they are kept in the team. Else, it is replaced with a new random players.

c. Mutation: Position changes also should be applied on FP of the loser team to improve player and team performances for next matches. This mechanism is similar mutation process of GA. Randomly selected decision variable of randomly selected FP of loser team are replaced with mutation by (20);

$$x(i, j, k) = x(i, j, k) + \sigma * rand[0, (nFP + nRP)] \quad (20)$$

d. Substitution: New combination of RP is tested for next match. If tested vector is presents a successful solution then exist vector is accepted to team by substitution operator as follows;

$$RP_{new}(i, j) = \alpha * RP(i, j) + (1 - \alpha) * RP(i, k) \quad (21)$$

$$RP_{new}(i, k) = \alpha * RP(i, k) + (1 - \alpha) * RP(i, j) \quad (22)$$

3. League update: Teams are rearranged at the end of the seasons. Powerful player are send to best teams and weak players are sent to worst teams.

4.2. Artificial Bee Colony

ABC algorithm was proposed for solving optimization problems (Karaboga & Basturk, 2007). In a colony, bees are divided in three groups such as employed bees, onlookers and scouts. Each of employed bees locate in a food source within the principles of neighborhood. Employed bees release the quality of food source in the hive and onlooker bees decide the food source to collect the nectar within neighborhood. Other other side, scout bees are dispersed to discover more quality food sources. Employed bees turn into scout bee when the its' food sorces is finished. Each food source indicates vector which contains D control variables and food sources donates candidate solutions. Steps of ABC can be defined as follows;

1. Initialization: Food sources are randomly generated within boundaries.

$$x_{ij} = x_j^{\min} + rand(0,1) * (x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (23)$$

2. Producing new food sources: New food sources v_i is decided with neighborhood principle

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij} * (x_{ij} - x_{kj}) \quad (24)$$

3. Defining the quality of new source: Greedy selction is applied for decide ne sourced. If the new source is more quality, food source is updated. Otherwise old food source is continued to be kept.

$$fitness_i = \begin{cases} 1 / (1 + f_i) & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (25)$$

Determining the new source: More quality source have more probability to be selected.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (26)$$

4.3. Particle Swarm Optimization

PSO is developed by inspiration from food searching of birds (Kennedy, 1995). Particles represents solution vectors in the space is similar to searching solution for a problem. The velocity and position of the particle are used for food searching. In D-dimensional search space position and velocity vector of the i th particle is defined as $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ and $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$, respectively. PSO is initialized randomly and best solutions are searched by updating position and velocity. Previous and best solutions are represented as $p_{best,i} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ and $g_{best,i}$ respectively.

Velocity of the i th particle is updated as follows;

$$v_i^{(t+1)} = wv_i^{(t)} + c_1r_1(p_{best,i} - x_i^{(t)}) + c_2r_2(g_{best,i} - x_i^{(t)}) \quad (27)$$

Position of the i th particle is updated as follow;

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)} \quad (28)$$

t is the number of current generation, r_1, r_2 are uniform random value in the range[0,1], w is inertia weight factor, c_1, c_2 are acceleration constant of $p_{best,i}$ and $g_{best,i}$

5. Results and Discussion

Two different nonlinear power systems are separately considered as case studies to prove the superiority and efficiency of SLC algorithm for solution of LFC. Test system models including transfer functions and coding process of algorithms are performed in Matlab/Simulink software. ITAE of the system is minimized using SLC algorithm to determine best values of controller parameters. For implementation of SLC algorithm, $nTeams = 3$ $nFP = 5$, $nRP = 5$ are selected. Simulations are carried out for as 50, 100 and 200 iteration numbers. Note that, increasing iteration number and population size may improve the results but the computation time will be significantly increased. Since, SLC algorithms reach the optimum or near optimum values at the end of 50 iterations, frequency and tie line deviations are illustrated for 50 iteration number. Simulations were run for 50 times and best results are provided. The settling times of frequency are evaluated within 2% tolerance band. Firstly, two area nonlinear thermal power plants with ± 0.05 value of GRC is considered as test system and algorithm is evaluated in comparison with some presented optimization algorithms such as BFOA (Ali & Abd-Elazim, 2013) and hFA-PS(Sahu et al., 2015a). Later, the examinations are made on three nonlinear unequal area power system that considers significant physical constraints, which highly increase the instability of the power system in order to examine the proposed SLC on a realistic test system. Besides, PSO and ABC are also simulated for three nonlinear unequal area power system and obtained results are compared to each other.

Test System-1: Two area power system with GRC

In the case, the simulation is employed with nonlinear system which considers GRC of turbine. The system is demonstrated in Figure A1 in Appendix. Steam and hydro turbines power generation can vary within an indicated maximum generation limit and maximum rate of valve speed is controlled by the regulator. The reheat unit generation rate generally varies between of 3–10% p.u. MW/min. GRC defines a limitation for ability of compensating large transient disturbances that causes the controller to damage. Hence, linear problem solution technique may be unsuitable for LFC of a nonlinear power system. In case of GRC is considered in a system, a linear system transforms into nonlinear system. GRC values of ± 0.05 are considered and dynamic response of the given system is examined with 5% SLP in area-1.

Optimum parameters and results of performance indices are given in Table 1. SLC presents 0.2397, 0.2390 and 0.2390 after 50, 100 and 200 iteration, respectively. It should be noted that, differences of the results after 50th and 200th iterations are very small. However, simulation time is extremely increased for 200 iterations. Simulation times are 2929, 5995 and 9673 sec. for 50, 100 and 200 iteration numbers. Therefore, comparison will be evaluated for 50 iteration results of SLC. ITAE values of 0.4788, 0.2782 are obtained using BFOA, hFA-PS, respectively. It is clearly observed that minimum ITAE value is attained with SLC along the compared algorithms even after 50 iteration. The ITAE value with proposed SLC is improved by 49.93% and 13.83% regarding BFOA and hFA-PS, respectively.

Table 1. Controller parameters and ITAE values of test system-1.

	BFOA (Ali & Abd- Elazim, 2013)	hFA-PS (Sahu et al., 2015a)	SLC	
			Iteration number=50	Iteration number=100 & 200
Kp1	0.1317	0.3834	1.5579	1.9308
Ki1	0.4873	0.6127	0.6596	0.6629
Kd1	0.2506	0.4021	1.0757	1.3545
Kp2	0.1317	0.3834	-0.1684	-0.6909
Ki2	0.4873	0.6127	0.1047	-1.6646*10 ⁻⁵
Kd2	0.2506	0.4021	1.4573	1.11427
ITAE	0.4788	0.2782	0.2397	0.2390

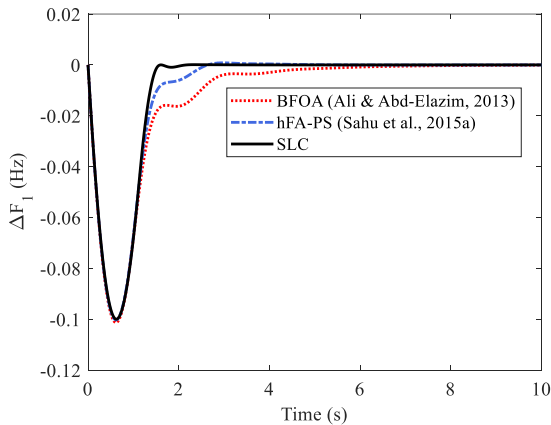


Figure 3. Frequency deviation in area-1 of test system-1

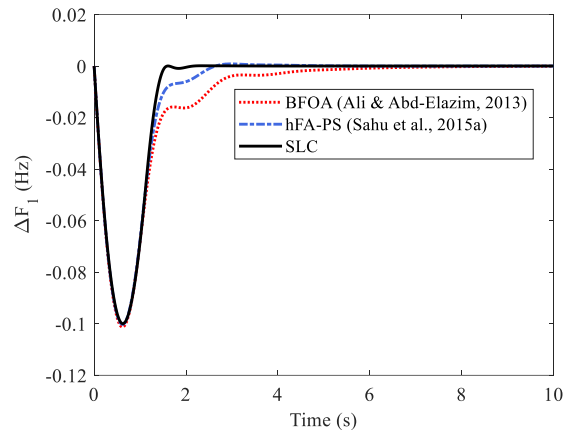


Figure 4. Frequency deviation in area-2 of test system-1

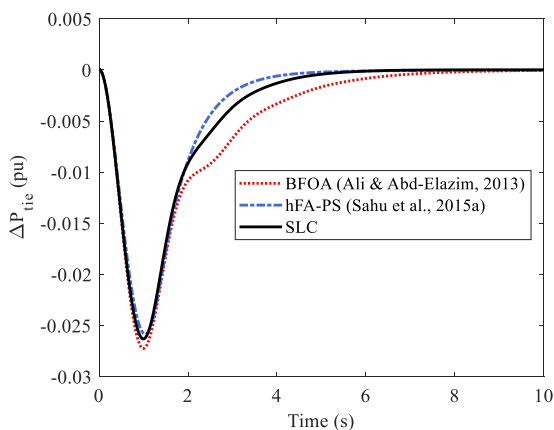


Figure 5. Tie line power change of test system-1

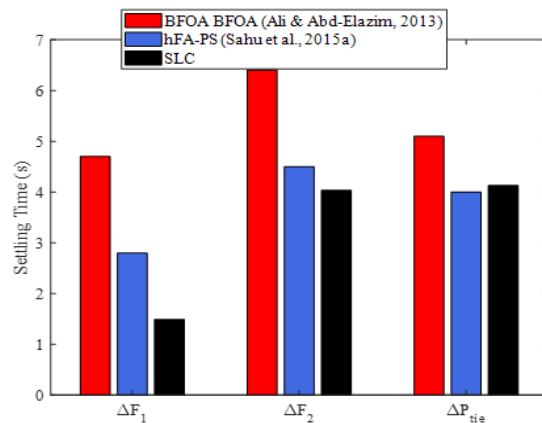


Figure 6. Settling time comparison for test system-1

The dynamic performance of test system is optimized considering PID controller and ITAE performance indices using SLC for given load perturbation. System results for 50 iterations are shown in Figure 3 – Figure 5. Also, comparative illustration of settling times of frequency deviations and tie line power changes are provided in Figure

6. Settling times of Δf_1 are 4.70, 2.80 and 1.50 sec. using BFOA, hF-PS, and SLC, respectively. Similarly, settling times of Δf_2 are 6.40, 4.50 and 4.03 sec. using BFOA, hFA-PS and SLC, respectively. Besides, settling times of ΔP_{tie} are 5.10, 4.00 and 4.13 sec. for BFOA, hFA-PS and SLC, respectively. Settling times of Δf_1 is improved by 68.08%, 46.42% respecting BFOA, hFA-PS, respectively. In addition, settling times of Δf_2 is improved by 37.03%, 10.44% using BFOA, hFA-PS, respectively. Settling times of ΔP_{tie} for SLC is 21.56% lower regarding BFOA and it is 3.25% higher than hFA-PS. Very limited overshoots occur for each area and the tie line. Best performance for undershoots are obtained using SLC. They are 0.1000, 0.0625 and 0.0259 for area-1, area-2 and tie-line, respectively. Iteration times of BFOA and hFA-PS are non-available in the literature. In summary, minimum values of objective function is obtained while settling time of the frequencies are significantly improved using SLC.

Test System-2: Three-area nonlinear unequal power system

GDB and TD are significant physical boundaries with GRC that increase the nonlinearity and disrupt the regular operation of power systems. In smart power systems, communication is most important tool in terms of coordinating whole power system. Therefore, time delays of communication signal negatively affects the system output and increase the system instability, as well. GDB is defined as the total values of a continued speed change while no change is observed in valve position. GDB occurs as a result of the backlash in the linkage between servo piston and the camshaft. In case of existing GDB even for a small load disturbances, the system becomes highly nonlinear and fluctuatory.

To obtain accurate simulation of LFC problem and illustrate effectiveness of the SLC, the study is more extended to complicate, highly nonlinear and realistic power system that is illustrated in Figure A2 in Appendix. Test system-2 is a three area nonlinear unequal system model considers the important constraints such GRC, GDB, TD which affect the overall performance of power system. The dynamic performance of test system-2 is analyzed with 1% step load perturbation (SLP) in area-1 on highly nonlinear and complex test systems. For the analysis, GDB of governor and GRC are considered as 0.06% and 3% for thermal system. Additionally, Time delay is assumed 50 ms. SLC, ABC and PSO are repetitively run for 50, 100 and 200 iterations and best results are provided. PSO parameters are as follows; $c_1 = 1.2$, $c_2 = 1.2$, $r_1 = 0.5$, *epoch number* = 30, ABC parameters are selected as; *limit* = 200, *Colony size* = 30 and SLC parameters are as given; *nteams* = 3, *nFP* = 5, *nRP* = 5. Searching space of SLC is calculated with $(nteams \times (nFP + nRP))$. Searching space of each algorithms are decided as 30 for fair comparison.

Table 2. Controller parameters and ITAE values of test system-2.

	iteration number=50			iteration number=100			iteration number=200		
	PSO	ABC	SLC	PSO	ABC	SLC	PSO	ABC	SLC
Kp1	-0.4096	0.2761	0.3671	0.5001	0.5001	0.3671	0.3684	0.3680	0.3657
Ki1	-1.4999	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000
Kd1	0.1633	0.0570	0.1632	0.1435	0.4153	0.1645	0.1589	0.1700	0.1645
Kp2	-0.8292	-1.5000	-1.5000	-1.3839	-1.3839	-1.4997	-1.4985	-1.5000	-1.4997
Ki2	-1.2496	0.8538	-1.5000	-1.3883	-1.3883	-1.5000	-1.4834	-1.5000	-1.5000
Kd2	-1.4983	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.4998	-1.4965	-1.5000	-1.4998
Kp3	-1.4506	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.4961	-1.5000	-1.5000
Ki3	-1.4807	-1.5000	-1.4995	-1.5000	-1.5000	-1.4998	-1.5000	-1.4918	-1.4998
Kd3	-1.4631	-1.2662	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.5000	-1.4971	-1.5000	-1.5000
ITAE	0.1747	0.1796	0.1717	0.1720	0.1765	0.1717	0.1718	0.1718	0.1717

ITAE results and optimum values of controller parameters for PSO, ABC and SLC are given in Table 2. ITAE values are 0.1747 and 0.1796 and 0.1717 for 50th iteration number with PSO, ABC and SLC, respectively. The ITAE values of SLC algorithms are 0.1717 for 100 and 200 iteration, as well. PSO improved the results with increased iteration number. They are 0.1720 and 0.1718 for 100 and 200 iteration number, respectively. Similarly, ABC provides 0.1765 and 0.1718 as ITAE values for 100 and 200 iterations, respectively. As the result show that SLC reach the best result with 0.1717 at the end of the 50 iteration. However, best results of PSO and ABC are obtained as 0.1718 at the end of 200 iteration. Although PSO and ABC improved the results with increased iteration number, SLC presents better ITAE values than both ABC and PSO even for 50th iteration. It is obvious that, SLC algorithm

outperform as minimum ITAE value in comparison to PSO and ABC.

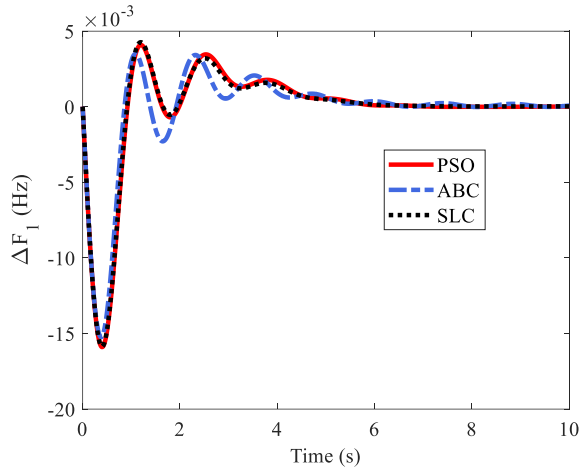


Figure 7. Frequency deviation in area-1 of test system-2

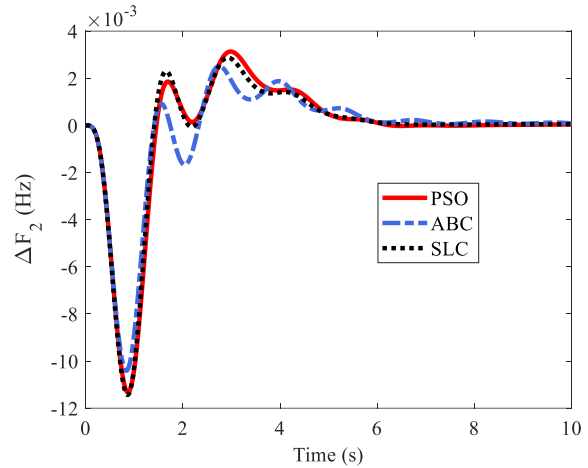


Figure 8. Frequency deviation in area-2 of test system-2

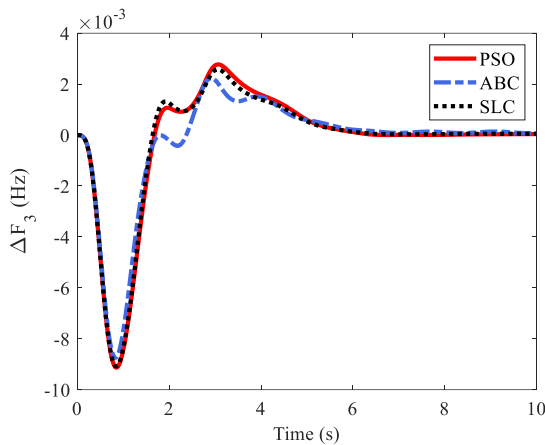


Figure 9. Frequency deviation in area-3 of test system-2

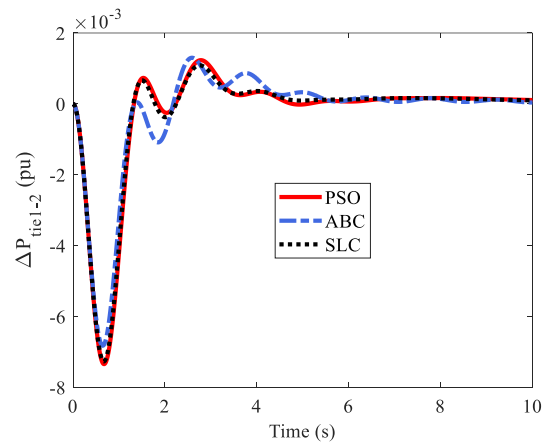


Figure 10. Tie line 1-2 power change of test system-2

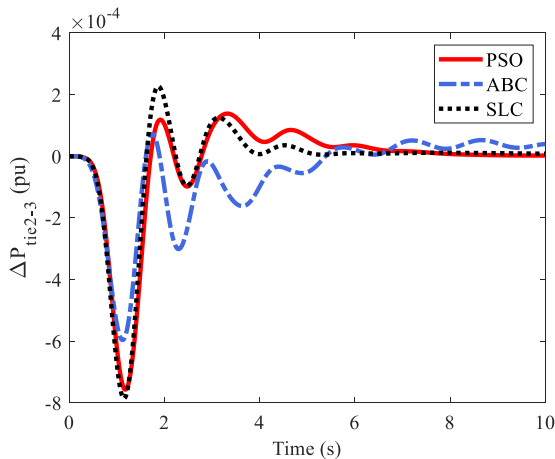


Figure 11. Tie line 2-3 power change of test system-2

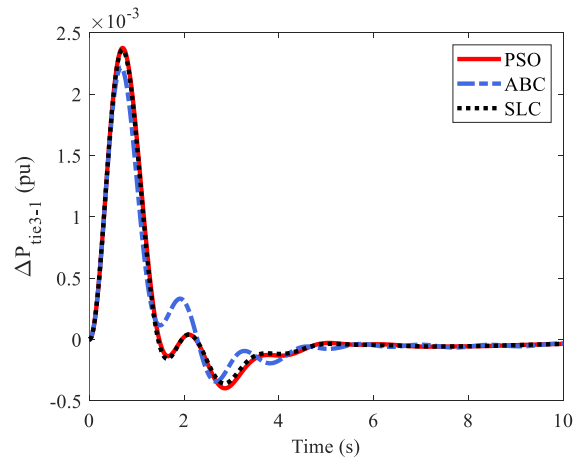


Figure 12. Tie line 3-1 power change of test system-2

Transient response of test system regarding SLP are demonstrated in Figure 7 – Figure 12 and comparative settling time results are illustrated in Figure 13. Settling time of frequency and tie-line power variations are noted as follows; settling times of Δf_1 are 5.53, 6.17 and 5.47 sec. for PSO, ABC and SLC, respectively. Similarly, settling times of Δf_2 are 5.75, 6.87 and 5.68 sec. using PSO, ABC and SLC, respectively. Settling times of Δf_3 are 5.79, 6.31 and 5.79 sec. using PSO, ABC and SLC, respectively. Settling times of ΔP_{tie1-2} are 8.80, 8.02 and 8.45 sec. for PSO, ABC and SLC, respectively. Similarly, settling times for ΔP_{tie2-3} are 7.25, 14.57 and 4.94 sec. using PSO, ABC and SLC, respectively. Settling times for ΔP_{tie1-3} are 8.83, 9.50 and 8.84 sec. for PSO, ABC and SLC, respectively. SLC algorithm

presents the minimum settling times along the considered algorithms for each areas and tie lines except for ΔP_{tie1-2} . SLC improved the settling times regarding PSO and ABC up to 66.09%. Only settling time with ABC is 5.08% less than SLC in ΔP_{tie1-2} . On the other hand, ABC has lesser overshoots rates for most of areas and tie lines. SLC only has less overshoot rate for ΔP_{tie1-2} . They are 0.001233 p.u., 0.001302 p.u. and 0.001089 p.u. using PSO, ABC and SLC, respectively. Also, ABC provides minimum undershoot rates for each areas and tie lines. It is clearly noted from the results that significant improvement of settling time of frequency deviation and power change in most of area is provided. Simulation times of PSO, ABC and SLC are 1187.4, 1368.1 and 2261 sec. SLC provides minimum settling times for frequency of each areas. Moreover, SLC has minimum settling time for ΔP_{tie1-2} and ΔP_{tie2-3} . Although SLC has the minimum result at 50th iteration, PSO and ABC continued to improve the results. Even after 200 iterations, PSO and ABC could not reach the value that obtained by SLC at the end of 50 iterations. On the other side, PSO has better performance than ABC.

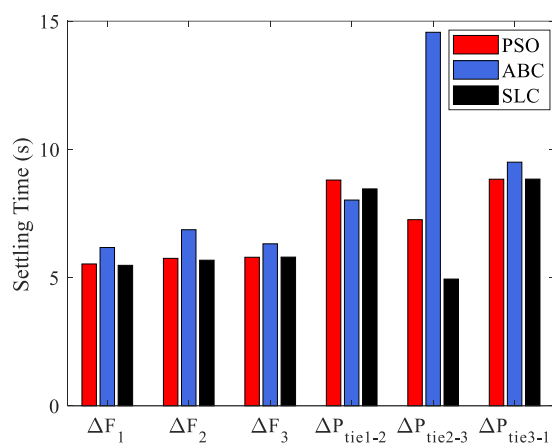


Figure 13. Settling time comparison of test system-2.

In both cases, multi source multi area with nonlinearities are considered for simulations and PID controller parameters are decided using SLC algorithm. Results are compared with literature results in Case-I while PSO and ABC algorithms are also employed for three area unequal test system in Case-II. According to simulation results SLC algorithm provides best results with minimum iteration number. SLC stands out among other algorithms due to its simultaneous global and local searching capability.

6. Conclusion

Frequency control has vital importance for stable operation of the power systems. If the power systems is combination of the interconnected areas, disturbances of the system extremely affect the all areas. Therefore, controller parameters of the systems should be carefully selected. The paper analysis application of SLC algorithm for the first time to optimize PID controller parameters of LFC problem in nonlinear multi-area interconnected power systems. Performance of the algorithm is investigated for 50, 100 and 200 iteration numbers for each cases. Initially, nonlinear two area test system with generation rate constraint is carried out. SLC algorithm reached the minimum ITEA value and settling times regarding BFOA and hFA-PS. Then, the study is extended to three area highly nonlinear unequal interconnected power system that includes significant physical constraints such as Governor Dead Band, Time Delay and Generation Rate Constraint nonlinearities. Dynamic responses analyses clearly reveal that minimum ITAE values and better dynamic performances are obtained with proposed SLC in comparison to PSO and ABC. While the best result is reached at the end of 50th iterations with SLC, PSO and ABC were not able to present better results even after 200th iterations. It is observed that SLC provides satisfactory performance in different interconnected power systems in presence of nonlinearities. However, SLC has slower simulation times. To sum it up, SLC algorithm has local search capability as much as global search capability, it is regarded as a suitable method for load frequency control problems in power system. As future work, different controller structure can be adopted to multi area power systems considering transfer functions of electric vehicle load and renewable generators.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

Appendix

Test System-1(Ali & Abd-Elazim, 2013):

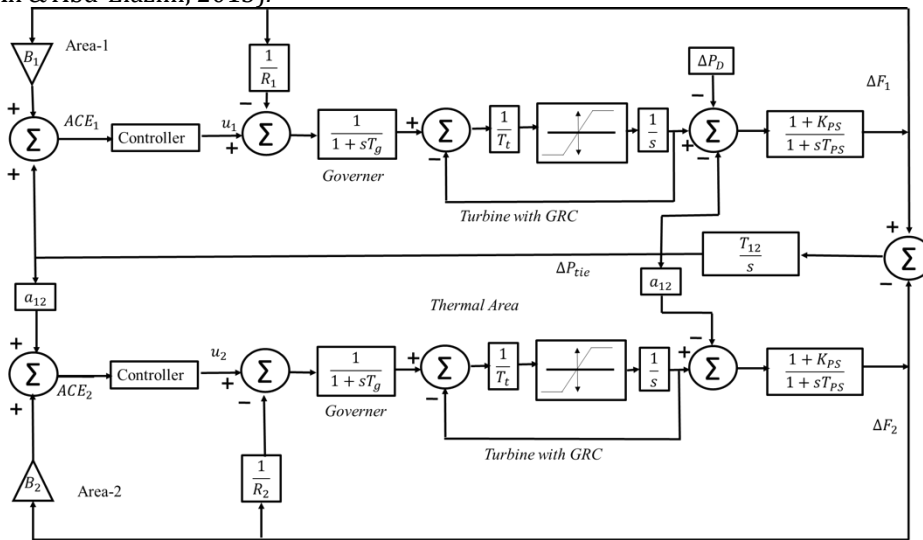


Figure A1. Two area interconnected power system with GRC

Test System-2(Golpîra et al., 2011):

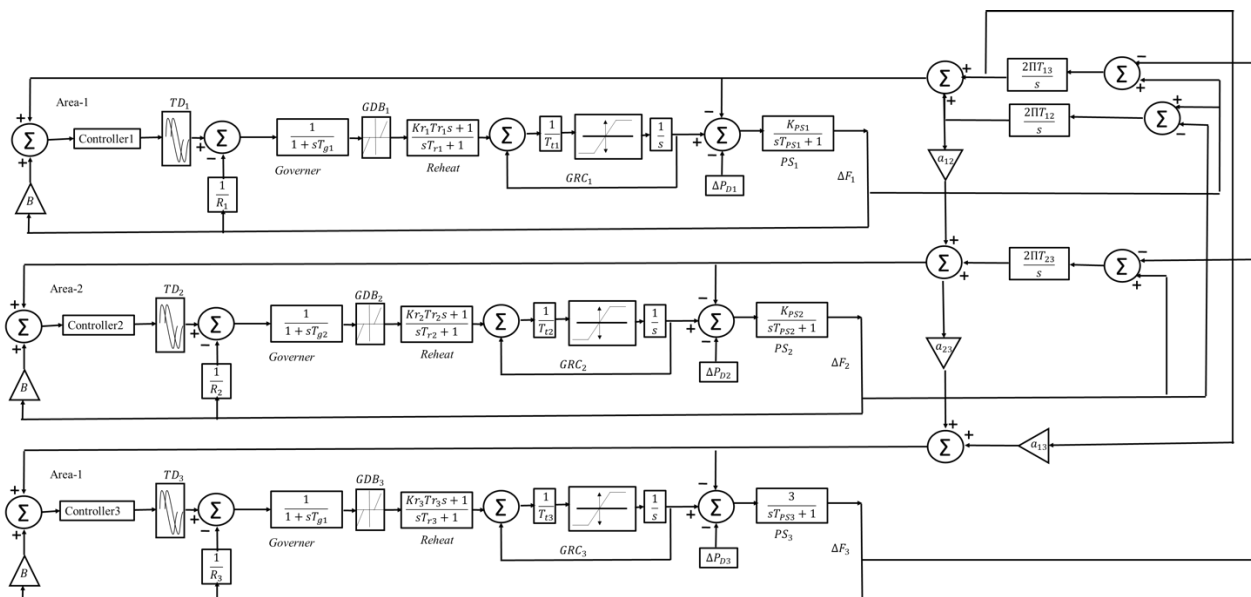


Figure A2. Three unequal area interconnected power system with RH, TD, GRC and GDB

References

- Ali, E. S., & Abd-Elazim, S. M. (2013). BFOA based design of PID controller for two area Load Frequency Control with nonlinearities. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 51, 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.jepes.2013.02.030>
- Borase, R. P., Maghade, D. K., Sondkar, S. Y., & Pawar, S. N. (2020). A review of PID control, tuning methods and applications. *International Journal of Dynamics and Control*, June. <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00665-4>
- Dogan, A. (2019). Load Frequency Control of Two Area and Multi Source Power System Using Grey Wolf Optimization Algorithm. *ELECO 2019 - 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 81–84. <https://doi.org/10.23919/ELECO47770.2019.8990643>
- Dogan, A. (2021). Optimum sitting and sizing of WTs, PVs, ESSs and EVCSs using hybrid soccer league competition-pattern search algorithm. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, In press. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.12.007>
- Ebrahimi, S., & Tabatabaei, S. (2020). Using Clustering via Soccer League Competition Algorithm for Optimizing Power Consumption in WSNs (Wireless Sensor Networks). *Wireless Personal Communications*, 113(4), 2387–2402. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07332-z>

- Fujita, H., Ali, M., Selamat, A., Sasaki, J., & Goebel, R. (2016). *Trends in Applied Knowledge-Based Systems*. 884-891.
- Golpîra, H., Bevrani, H., & Golpîra, H. (2011). Application of GA optimization for automatic generation control design in an interconnected power system. *Energy Conversion and Management*, 52(5), 2247-2255. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.01.010>
- Guha, D., Roy, P. K., & Banerjee, S. (2016). Load frequency control of interconnected power system using grey Wolf optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 27, 97-115. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2015.10.004>
- Guha, D., Roy, P. K., & Banerjee, S. (2018). Application of backtracking search algorithm in load frequency control of multi-area interconnected power system. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 257-276. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.01.004>
- Guha, D., Roy, P. K., & Banerjee, S. (2020). Whale optimization algorithm applied to load frequency control of a mixed power system considering nonlinearities and PLL dynamics. *Energy Systems*, 11(3), 699-728. <https://doi.org/10.1007/s12667-019-00326-2>
- Hasanien, H. M. (2018). Whale optimisation algorithm for automatic generation control of interconnected modern power systems including renewable energy sources. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 12(3), 607-614. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.1005>
- Hasanien, H. M., & El-Fergany, A. A. (2019). Salp swarm algorithm-based optimal load frequency control of hybrid renewable power systems with communication delay and excitation cross-coupling effect. *Electric Power Systems Research*, 176, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105938>
- Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39(3), 459-471. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>
- Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization, in Proc. IEEE Int. Conf Neural Networks, 1942-1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Mahendran, M. V., & Vijayan, V. (2021). Model-predictive control-based hybrid optimized load frequency control of multi-area power systems. *IET Generation, Transmission and Distribution*, October 2020, 1-17. <https://doi.org/10.1049/gtd2.12119>
- Moosavian, N. (2015). Soccer league competition algorithm for solving knapsack problems. *Swarm and Evolutionary Computation*, 20, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2014.10.002>
- Moosavian, N., & Kasaei Roodsari, B. (2014). Soccer league competition algorithm: A novel meta-heuristic algorithm for optimal design of water distribution networks. *Swarm and Evolutionary Computation*, 17, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2014.02.002>
- Moosavian, N., & Roodsari, B. K. (2014). Soccer League Competition Algorithm, a New Method for Solving Systems of Nonlinear Equations. *International Journal of Intelligence Science*, 04(01), 7-16. <https://doi.org/10.4236/ijis.2014.41002>
- Qiao, Y., Dao, T. K., Pan, J. S., Chu, S. C., & Nguyen, T. T. (2020). Diversity teams in soccer league competition algorithm for wireless sensor network deployment problem. *Symmetry*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/sym12030445>
- Sahu, R. K., Panda, S., & Padhan, S. (2015a). A hybrid firefly algorithm and pattern search technique for automatic generation control of multi area power systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 64, 9-23. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.07.013>
- Sahu, R. K., Panda, S., & Padhan, S. (2015b). A novel hybrid gravitational search and pattern search algorithm for load frequency control of nonlinear power system. *Applied Soft Computing Journal*, 29, 310-327. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.01.020>
- Vedik, B., Kumar, R., Deshmukh, R., Verma, S., & Shiva, C. K. (2021). Renewable Energy-Based Load Frequency Stabilization of Interconnected Power Systems Using Quasi-Oppositional Dragonfly Algorithm. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 32(1), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s40313-020-00643-3>
- Wang, X., Wang, Y., & Liu, Y. (2020). Dynamic load frequency control for high-penetration wind power considering wind turbine fatigue load. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 117(November 2019), 105696. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105696>



SİSMİK KIRILMA VERİLERİNDE JEOFON MERKEZ FREKANSININ İLK VARİŞ ZAMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ŞENKAYA*, Hakan KARSLI

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Jeofon, Merkez Frekans, İlk Varış Zamanı, Sismik Kırılma.</i>	Ülkemizde, arazide gerçekleştirilen ya da kamu kurumlarınca kontrol edilen Jeofizik çalışmalarda çok kanallı yüzey dalgası ölçümü için genellikle 4.5Hz' lik düşey bileşen jeofonlar kullanılmaktadır. Ancak, bazı kamu kurumları 4.5Hz düşey jeofonlarla, ilk varışların belirlenmesi amacıyla sismik kırılma çalışmaları yapılmasına izin vermemekte ve ilk varışların bu jeofonlarla elde edilen sismik kırılma verilerinden güvenilir şekilde okunamayacağını düşünmektedir. Bu çalışma kapsamında, sismik kırılma verilerinde jeofon merkez frekansının ilk varışlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, 4.5, 14 ve 40 Hz merkez frekanslı üç farklı düşey bileşen jeofon için hesaplanan sentetik sismik izler ve iki farklı sahada, farklı üreticilere ait sırasıyla 4.5-14 Hz, 4.5-40 Hz jeofon çiftleri ile toplanan gerçek sismik kırılma verileri kullanılmıştır. Sentetik ve tüm saha verileri üzerinde yapılan ilk varış analizleri açık şekilde göstermiştir ki, sismik kırılma verilerinden elde edilecek ilk varışlar, kullanılan jeofonların merkez frekanslarından bağımsızdır. Dolayısıyla, aynı saha parametreleri ile farklı merkez frekanslı jeofonlarla toplanan sismik kırılma verilerinin ilk varış zamanları değişiklik göstermemektedir. Bu tip veri setlerinde görülebilecek tek fark, kayıt edilen verinin genlik spektrumunda merkez frekans etrafındaki genliğin artması olacaktır, ancak bu durum ilk varış zamanlarını etkilememektedir. Sonuç olarak, sismik kırılma arazi çalışmalarında hem çok kanallı yüzey dalgası hem de geleneksel sismik kırılma verilerinin toplanmasında, farklı jeofon setlerinin lojistiğine ihtiyaç olmayıp, tek bir jeofon setinin (örneğin 4.5 Hz) yeterli olacağı bu çalışmayla gösterilmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOPHONE CENTER FREQUENCY ON THE FIRST ARRIVAL TIMES IN SEISMIC REFRACTION DATA

Keywords	Abstract
<i>Geophone, Center Frequency, First Arrival Time, Seismic Refraction.</i>	In our country, 4.5Hz vertical geophones are generally used for multi-channel surface wave measurement in geophysical studies or field studies controlled by public institutions. However, some public institutions do not allow using 4.5Hz vertical geophones in seismic refraction studies to identify the first arrivals and believed that the first arrivals could not be reliably picked from the seismic refraction data obtained with these geophones. Within the scope of this study, the effect of geophone center frequency on first arrivals of seismic refraction data was investigated. In study, synthetic seismic traces calculated for three different vertical component geophones with 4.5, 14 and 40 Hz center frequencies and real seismic refraction data collected in two different areas with 4.5-14 Hz, 4.5-40 Hz geophone pairs produced by different companies were used. The first arrival time analysis on synthetic and both real data significantly indicated that the first arrival times are independent of the center frequencies of the used geophones. Therefore, the first arrival times of seismic refraction data collected with same field parameters but with different center frequency geophones do not demonstrate changing. The only difference seen for these data is increasing of amplitudes in spectrum around center frequency of geophone, however it could not affect the first arrivals. Consequently, it has been shown in the proposed study that a single geophone set (e.g., 4.5 Hz) will

* İlgili yazar / Corresponding author: msenkaya@ktu.edu.tr

be adequate in acquisition of both multi-channel surface wave and traditional seismic refraction data, and logistics of different geophone sets are not needed.

Alıntı / Cite

Şenkaya, M., Karşlı, H., (2021), Sismik Kırılma Verilerinde İlk Varış Zamanlarının Jeofon Merkez Frekansına Göre Değişimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 880-893.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Şenkaya, 0000-0003-2152-3479
H. Karşlı, 0000-0002-7758-1363

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.07.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

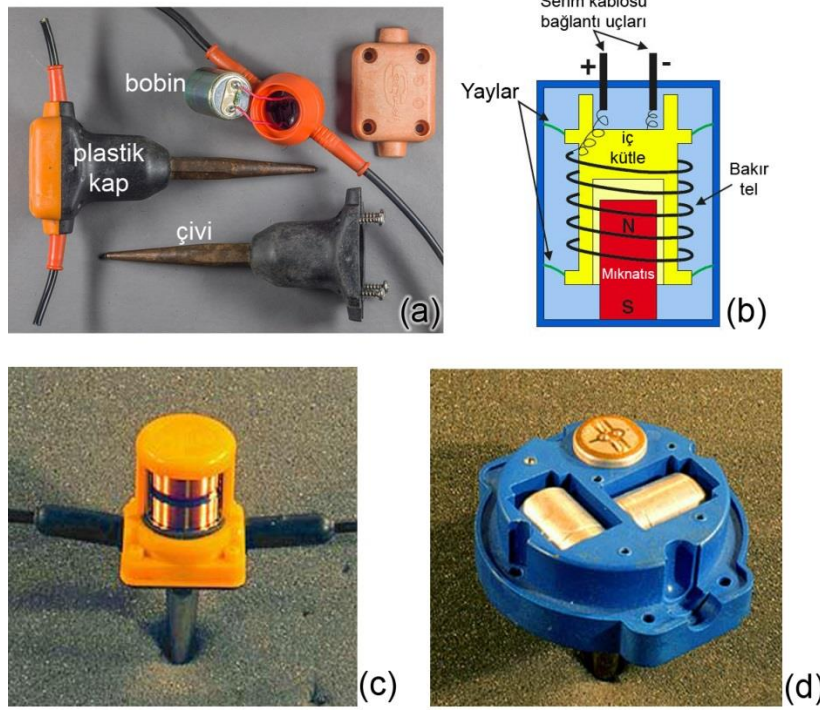
Sismik kırılma yöntemi Jeofizik mühendisliğinin en temel yöntemlerinden biridir. Sağladığı akustik ve/veya elastik parametreler nedeniyle ülkemizde geoteknik ve mikro-bölgeleme çalışmaları (Çimen vd., 2014; Kurtuluş ve Bozkurt, 2016; Zorluer ve Gücek, 2019), heyelan ve yamaç duraylılığı problemleri (Vanlı Senkaya vd., 2015; Bayram ve Alpaslan, 2021), sıvılaşma analizleri (Uyanık vd., 2013; Işık vd., 2016; Ateş, 2017) gibi zemin ve çevre problemleri başta olmak üzere neredeyse tüm mühendislik-tasarım çalışmalarında en sık başvurulan yöntemdir (Babacan vd., 2014; Grit ve Kanlı, 2016; Yalcinkaya vd., 2016). Sismik yöntemlerle elde edilen temel yer parametresi sismik dalgaların jeolojik birimler içindeki yayılım hızları yani birimlerin sismik hızlarıdır. Sismik hızlar bir kaynak noktasında üretilen dalga türlerine göre boyuna ya da sıkışma-genleşme (P-dalgası) ve enine ya da kesme-kayma (S-dalgası) dalgası hızları olarak bilinirler. Bu dalga hızlarından yararlanarak zeminlere ait gözeneklilik (Uyanık, 2011, 2019), yoğunluk (Uyanık ve Çatlıoğlu, 2015), geçirgenlik (Osazuwa ve Chinedu, 2008; Harmoko vd., 2019) v.b. fiziksel özellikler; zemin taşıma gücü (Keçeli, 2016), elastisite, kayma ve hacim modülleri gibi elastik parametreler (Keçeli, 2012); sıvılaşma (Andrus vd., 2004; Uyanık vd., 2013; Uyanık, 2020; Babacan ve Ceylan, 2021), zemin hakim frekansı (Kramer, 1996; Gaytan vd., 2020) ve zemin büyütmesi (Vanlı Senkaya vd., 2016; Vanlı Senkaya vd., 2020) gibi dinamik özellikler belirlenmektedir. Tüm bu bilgilerin doğru ve güvenilir elde edilebilmesi ancak sismik hızların doğru belirlenebilmesi ile gerçekleşir. Dolayısıyla, saha çalışmalarda kayıt edilen sismik verilerin kalitesi doğrudan çıktıların güvenilirliğini etkiler.

Bir sismik kırılma ölçüm çalışmasını gerçekleştirmek için gerekli olan genel ekipmanlar; kayıtçı (türüne göre ihtiyaç duyulması halinde harici bir bilgisayarla beraber), jeofonlar, serim kablosu, tetikleme jeofonu ya da sensörü ve sismik dalga oluşturabilecek bir kaynaktır (balyoz, patlayıcı v.b.). Bu ekipmanlardan jeofon ve kaynak dışındaki tüm ekipmanlar, her bir üretici için özel tasarımlar olup, satın alınması halinde paket şeklinde teslim edilmektedir. 2000'li yıllar öncesinde Amerika Birleşik Devletleri tekelinde olan sismik ekipman üretimi, özellikle 2000'li yılları takip eden dönemde, İtalya ve Çin'deki alternatif üreticilerle çeşitlenmiştir. Dolayısıyla, kullanıcılar için özellikle jeofon açısından birçok seçenek ortaya çıkmıştır (Veen ve Green, 1998; Pugin vd., 2004; Tsoflias vd., 2006; Sudarshan vd., 2016; Yalcinkaya vd., 2018)

Jeofonlar, en basit anlamıyla tüm sismik çalışmalarda kullanıcının yeri dinlemesini sağlayan, yerin mekanik hareketlerini elektrik sinyallerine döndürerek kayıt edilmesine olanak veren özel ve hassas ekipmanlardır (Hall, 1975; Ernest, 1979; Woo ve Woodall, 1992; Smith vd., 2004). Bir jeofon; bobin, plastik kap ve metalik çivi' den oluşur (Şekil 1a). Bobin; mıknatıs, bakır tel ve yaydan oluşan bir sistem olup, jeofonun en önemli parçasıdır (Şekil 1b). Bobinin sahip olduğu mıknatıs ve bakır tel sargıları, jeofonun merkez frekansı ve dolayısıyla teorik olarak jeofonun en duyarlı olduğu frekansı belirlerken, bobinin plastik kap içerisinde XYZ düzlemindeki yerleşimi jeofonun kayıt edeceği sinyallerin doğrultusunu belirler. Örneğin, 4.5 Hz' lik düşey jeofon, 4.5 Hz lik olaylara duyarlı bir bobinin, plastik kap içerisine Z ekseninde yani dik olarak yerleştirilmesiyle üretilir (Şekil 1c ve d). Yaygın merkez frekansları 4.5, 10, 14 ve 40 Hz' tir.

Son yıllarda ülkemizde farklı merkez frekanslı jeofonların kullanılması nedeniyle, sismik kırılma ilk varışlarının kimi jeofonlarda diğerlerinden daha iyi kayıt edildiği anlayışı yerleşmiştir. Özellikle çeşitli kamu kurumlarında, çok kanallı yüzey dalgası çalışmalarında sıkça kullanılan 4.5Hz lik düşey bileşen jeofonlarla, klasik sismik kırılma çalışmaları yapılmaması istenmekte ve ilk varışların bu jeofonlarla elde edilen sismik kırılma verilerinden güvenilir şekilde okunamayacağı düşünülmektedir.

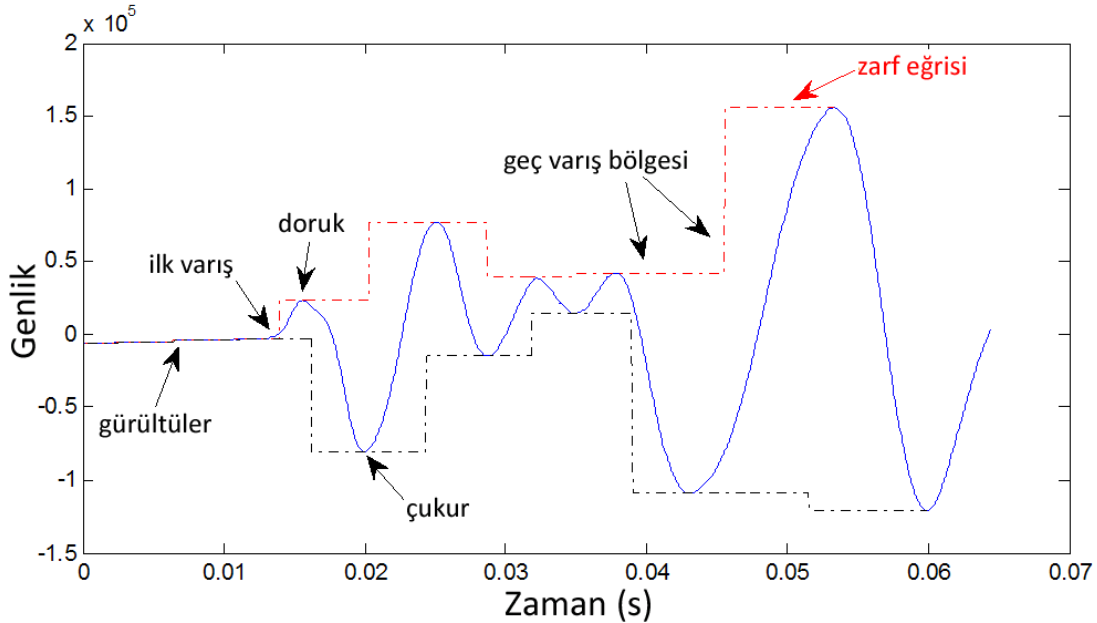
Bu çalışmada, farklı merkez frekanslı düşey bileşen jeofonlarla kayıt edilen sismik kırılma verilerinden okunan ilk varış zamanlarının değişip değişmediğinin incelenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak sentetik testler sunulurken, daha sonra farklı sahalardan elde edilen gerçek sismik kırılma verileri üzerinden karşılaştırmalar yapılacaktır. Çalışmanın sağlayacağı bilgi ve görsellerin, bu soruya açık şekilde cevap vereceği düşünülmektedir.



Şekil 1. (a) Bir jeofonun kapalı ve açık gösterimi (URL-1, n.d.), (b) bir bobinin şematik gösterimi (URL-2, n.d.), (c) bobini Z eksenini boyunca dik yerleştirilen dikey jeofon (URL-3, n.d.), (d) her bir bobini X,Y ve Z eksenleri boyunca yerleştirilen 3 bileşenli jeofon (URL-3, n.d.).((a) Covered and uncovered demonstration of a geophone (URL-1, n.d.), (b) a schematic representation of a coil (URL-2, n.d.), (c) the vertical geophone with placed vertically coil (URL-3, n.d.), (d) a three-dimensional geophone with placed each coil along the X, Y and Z axes (URL-3, n.d.)).

2. Sentetik Testler (Synthetic Tests)

İlk varış (ilk kırılma, ilk yer değiştirme), bir sismogramda arka plan (background) gürültüden sonra açık olarak değişimin görüldüğü ilk olay olarak tanımlanır (Douglas vd., 1997) (Şekil 2). Sismik izlerde ilk varış polaritesi yukarı yönlü (pozitif ya da doruk) genlik olarak gözlenebileceği gibi aşağı yönlü (negatif ya da çukur) genliklerle de görülebilirler. İlk varışın polaritesi, bir ilk varışın güvenilirliğini etkilemeyecek bir parametredir (Senkaya ve Karşı, 2014).



Şekil 2. Bir sismik kırılma sinyali içerisindeki ilk varış ve diğer olaylar (Douglas vd., 1997' den değiştirilerek).(The first refraction and other events in a seismic refraction signal (modified from Douglas et. al. 1997)).

Sismik kırılma çalışmalarında ana hedef, doğrudan ve/veya kritik kırılarak gelen sismik cisim dalgalarını (P ve S-dalgaları) kayıt etmek ve bu kayıtlardan ilk varış zamanı okuması yapmaktır. Yatay n tabakalı bir ortamda doğrudan gelen ve kritik kırılarak seyahat eden cisim dalgası seyahat zamanları yani ilk varış zamanları;

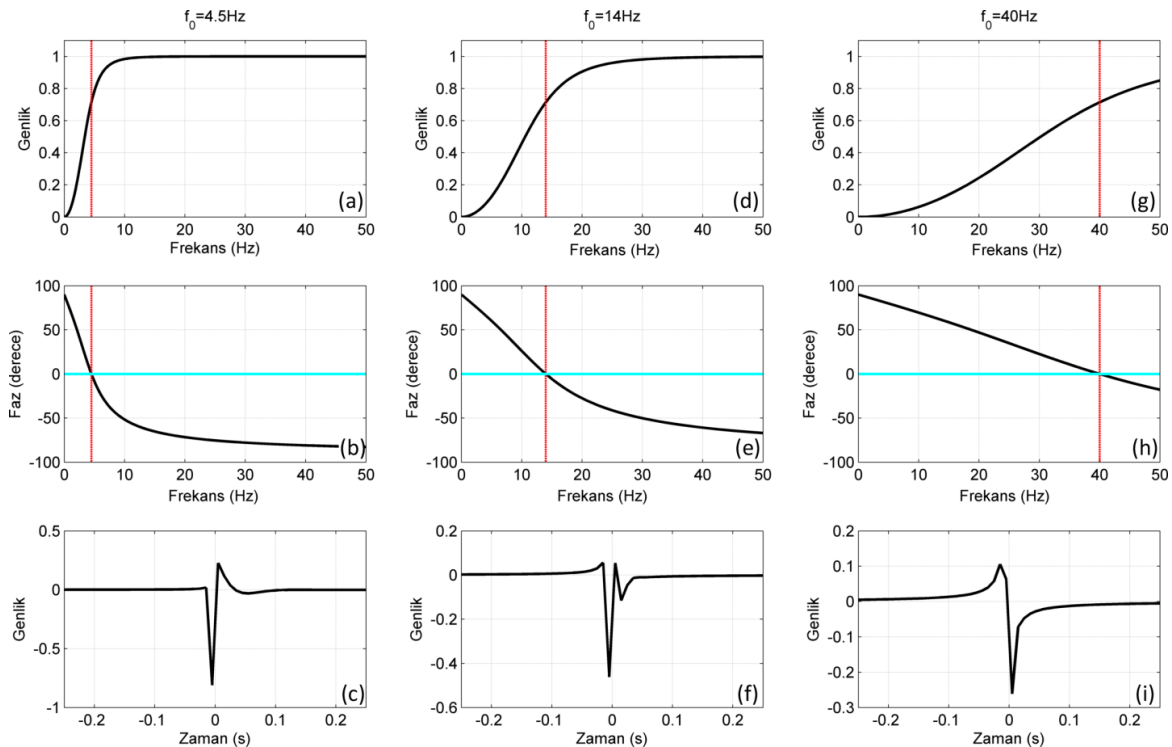
$$T_{T,i} = \frac{x}{V_i} + 2 \left(\sum_{k=1}^{i-1} \frac{h_k \sqrt{V_i^2 - V_k^2}}{V_i V_k} \right), \quad i = 1:n \quad (1)$$

denklemlerle hesaplanabilir. Denklem (1) de, n ; toplam tabaka sayısı, $T_{T,i}$; i . tabaka için dalga seyahat zamanı, x ; alıcı uzaklığı, h ; tabaka kalınlığı, V ; ilgili tabakaya ait dalga hızını göstermektedir. Denklem (1)' de açık şekilde görüldüğü gibi cisim dalgası dalga seyahat zamanı; dalga hızları, tabaka kalınlığı ve alıcı uzaklığının bir fonksiyonudur ve frekanstan bağımsızdır.

Bir T_T zamanında jeofona varan sismik enerji, jeofondaki kütle-yay sistemini harekete geçirir. Sismik enerjinin, kayıt edilebilir bir sayısal sinyale dönüşmesi; jeofon içindeki kütle, boyutu ve yayın sertliğine bağlı olarak belirli bir frekansta titreşmesiyle gerçekleşir ve bu frekans "jeofon merkez frekansı (Hz)" olarak isimlendirilir. Jeofon içerisindeki yayın sertliği ise "sönüm sabiti" ni kontrol eder. Dolayısıyla bir jeofon, sismik enerjiye merkez frekansı ve sönüm sabitine göre tepki verir. Bu tepki fonksiyonu Hons (2008) tarafından;

$$H(f) = \frac{f^2}{-f^2 + 2j\lambda f_0 f + f_0^2} \quad (2)$$

ile tanımlanmıştır. Burada; f frekans örnekleri, f_0 jeofon merkez frekansı, λ sönüm sabiti ve j karmaşık niceliktir ($\sqrt{-1}$). Denklem (2) karmaşık bir fonksiyon olduğundan, bir jeofonun tepki fonksiyonu; genlik ve faz spektrumları olarak incelenebilir. Elde edilen bu karmaşık tepki spektrumunun ters Fourier dönüşümü alınarak jeofon tepki fonksiyonunun zaman ortamı görüntüsü elde edilebilir. Buna göre, 4.5, 14 ve 40 Hz merkez frekanslı jeofonlar için genlik, faz spektrumları ve tepki fonksiyonlarının zaman ortamı görüntüleri hesaplanarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Hesaplamalarda frekans örnekleme aralığı $\Delta f=0.01$ Hz ve jeofon sönüm sabiti $\lambda =0.7$ olarak kullanılmıştır.



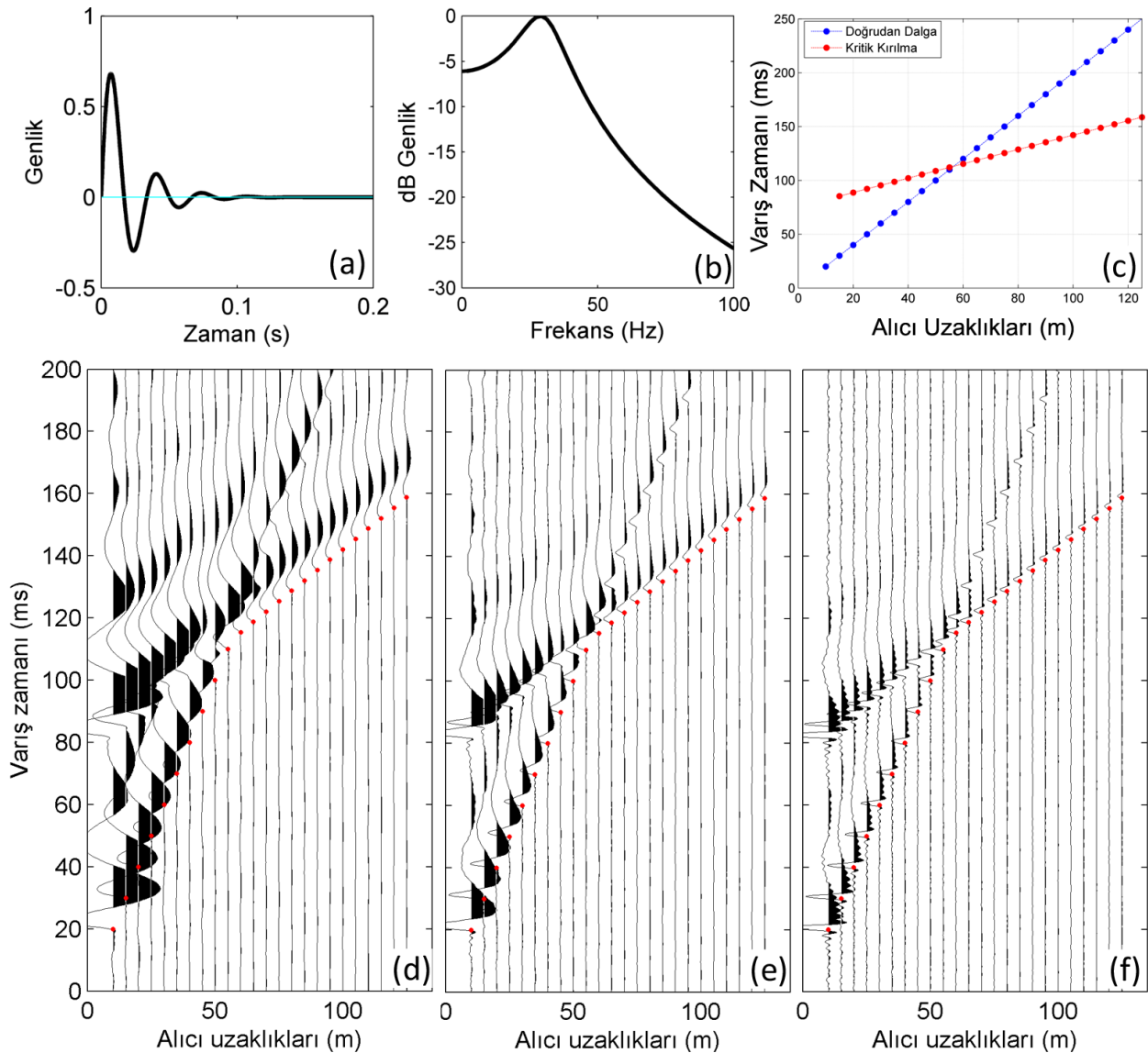
Şekil 3. (a-c) 4.5, (d-f) 14 ve (g-i) 40 Hz merkez frekanslı jeofonlar için sırasıyla tepki fonksiyonu genlik spektrum, faz spektrumu ve tepki fonksiyonu zaman ortamı görüntüsü. Jeofonların doğal frekanslarına karşılık genlik ve faz bilgileri kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. (The amplitude and phase spectrum of response function and response function in the time domain for the center frequency of (a-c) 4.5, (d-f) 14, and (g-i) 40 Hz, respectively. The natural frequency of each geophone is demonstrated by a red line).

Şekil 3' te görüldüğü üzere farklı merkez frekansa sahip jeofonların, tepki fonksiyonları dolayısıyla sismik sinyale verecekleri tepkiler de değişiklik göstermektedir. Bu farklılıkların sentetik bir sismik kırılma verisi üzerindeki etkilerinin modellenmesi adına, basit iki tabakalı bir yer modeli kullanılarak spektral ortamda yapay sismik kırılma izleri hesaplanmıştır. Buna göre, spektral ortamda bir sismik iz $S(f)$;

$$S(f) = W(f) \cdot R(f) \cdot G(f) \cdot A(f) \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Denklem (3)' de; kaynak fonksiyonu $W(f)$, yerin tepkisi $R(f)$, jeofon (veya alıcı) tepkisi $G(f)$ ve kayıtçı tepkisinin $A(f)$ ile tanımlanmıştır.

Sismik kırılma çalışmalarında sıklıkla kullanılan balyoz kaynakların ürettikleri kaynak fonksiyonları minimum fazlı (nedensel) dalgacıklar ile temsil edilir. Balyoz kaynağın ürettiği sinyallerin spektral aralığı, ağırlığına, vuruş gücüne ve kullanılan tablanın boyutlarına göre değişmekle birlikte genel olarak 20-40 Hz arasında değişmektedir (Miller vd., 1992). Bu nedenle modelleme sırasında kaynak fonksiyonu olarak, tepe frekansı 30 Hz olan minimum fazlı Berlage dalgacığı kullanılmıştır. Berlage dalgacığı modüle olmuş bir sinüs sinyalidir (Jeffreys, 1932; Aldridge, 1990). Kullanılan Berlage dalgacığı zaman fonksiyonu ve Fourier genlik spektrumu Şekil 4a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Maksimum genlik frekansı 30 Hz, örnekleme zamanı 0.25 ms, sönüm değeri 50 olan Berlage dalgacığı (a) zaman fonksiyonu, (b) genlik spektrumu, (c) İki tabakalı bir yer modeli için doğrudan ve kritik kırılma ilk varış zamanlarını gösteren uzaklık-zaman (X-T) grafiği. ((a)The time function and (b) amplitude spectrum of the Berlage wavelet with maximum amplitude frequency 30 Hz, time sampling 0.25 ms, damping value 50, (c) the distance-time (X-T) graphic of the first arrivals for direct and head waves for a two-layered sub-surface model.)

Sentetik model için kullanılacak uzaklık ve zaman parametreleri; kaynak-ilk alıcı mesafesi (offset) 10 m, alıcı aralığı 5 m, alıcı sayısı 24, birinci ve ikinci tabaka hızları sırasıyla 500 m/s ve 1500 m/s, tabaka kalınlığı 20 m olarak kabul

edilmiştir. Yer tepkisi $R(f)$ ' nin elde edilmesi amacıyla ilk olarak, doğrudan ve kritik kırılarak gelen dalgalar için ilk varış zamanları Denklem (1) yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 4c). Daha sonra ilk varış zamanlarına karşılık gelen genlik ve kayıtcının tepki spektrum değerleri $A(f)$ ise 1.0 olarak kabul edilmiştir. Jeofon tepki spektrumu, $G(f)$, ise sırasıyla 4.5 Hz, 14 Hz ve 40 Hz merkez frekansları için Denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir jeofonda sentetik olarak kayıt edilen sismik izler ise Denklem (3) ile hesaplanmıştır. Hesaplama gerçek dünyayı temsil etmek için maksimum sinyal genliğinin %0.5'i kadar arka plan gürültüsü eklenmiş, ayrıca uzaklıkla genlik azalımının karakterize edilmesi için tüm izler uzaklığın tersi, $g(x)=1/x$ fonksiyonu ile çarpılmıştır. Her bir jeofon için elde edilen sismik izler ve sentetik yeraltı modelinden hesaplanan ilk varış zamanları Şekil 4d-f de gösterilmiştir. Tüm sentetik modellerde, her bir jeofon için hesaplanan ilk varış zamanları ile sismik izlerdeki ilk varışların üst üste geldiği açıkça görülmektedir. Bununla beraber, 40 Hz merkez frekanslı jeofon kaydında, ilk varış genliği öncesinde göreceli yüksek frekanslı ve düşük genlikli yan salınımlar göze çarpmaktadır.

3. Saha Testleri (Field Tests)

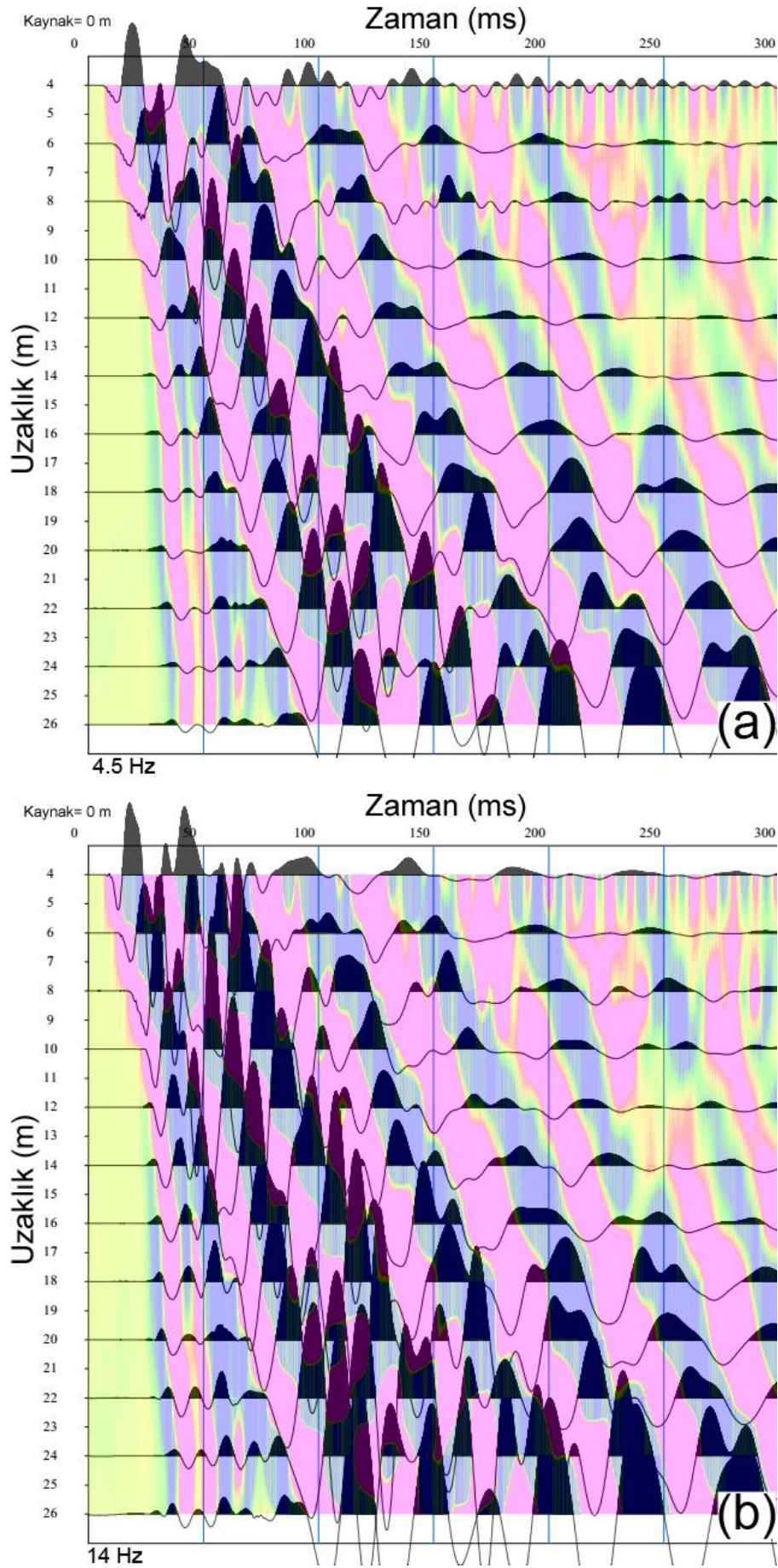
Saha testlerinde kullanılacak sismik kırılma verileri Trabzon ilinde iki farklı arazide, farklı üreticilere ait sismograf ve her arazide iki farklı merkez frekanslı düşey bileşenli jeofonlarla toplanmıştır. Toplanan veri setlerine ait tüm parametreler Tablo 1' de verilmiştir.

Trabzon ili Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Yerleşkesi (Saha 1) ve Yomra ilçesi Kaşüstü Mahallesi (Saha 2) için toplanan veri setleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6' da gösterilmiştir. Her iki sahada da veri kalitesi yüksek olup, ilk varışları net şekilde okunabilmektedir.

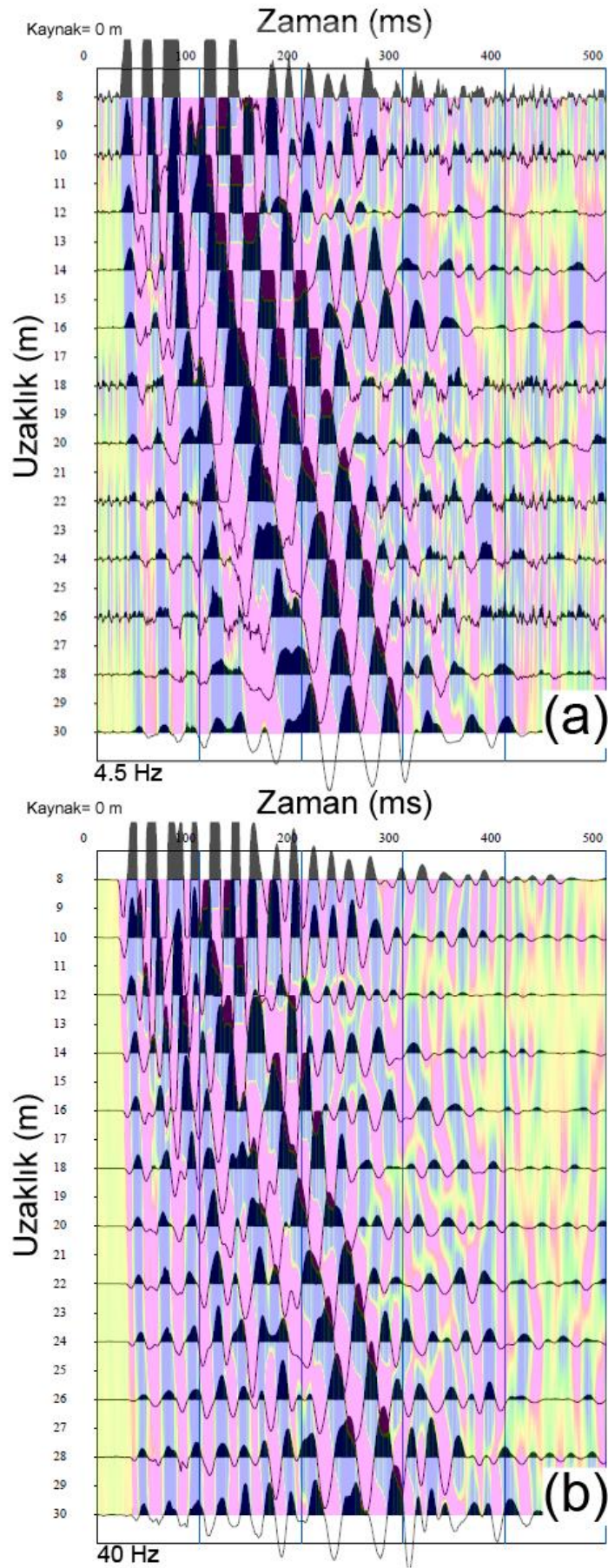
Tablo 1. Saha ve veri toplama parametreleri. (The parameters for field and data acquisition)

Saha no	1	2
Saha konumu	KTÜ Kampüs (Trabzon)	Kaşüstü (Trabzon)
Kayıtçı	Geometrics ES3000	PASI 16S24-U
Kullanılan kanal sayısı	12	12
Jeofonlar	4,5Hz PASI	4,5Hz PASI
	14Hz OYO	40Hz PASI
Jeofon bağlantı çeşidi	çift klips	tek klips
Alıcı aralık (m)	2	2
İlk ofset (m)	4	8
Zaman örnekleme (ms)	0,25	1
Kayıt süresi (ms)	500	1024
Balyoz (kg)*	10	10
Düşey yığma	3	3

* Tüm atışlar aynı kişi tarafından yapılmıştır



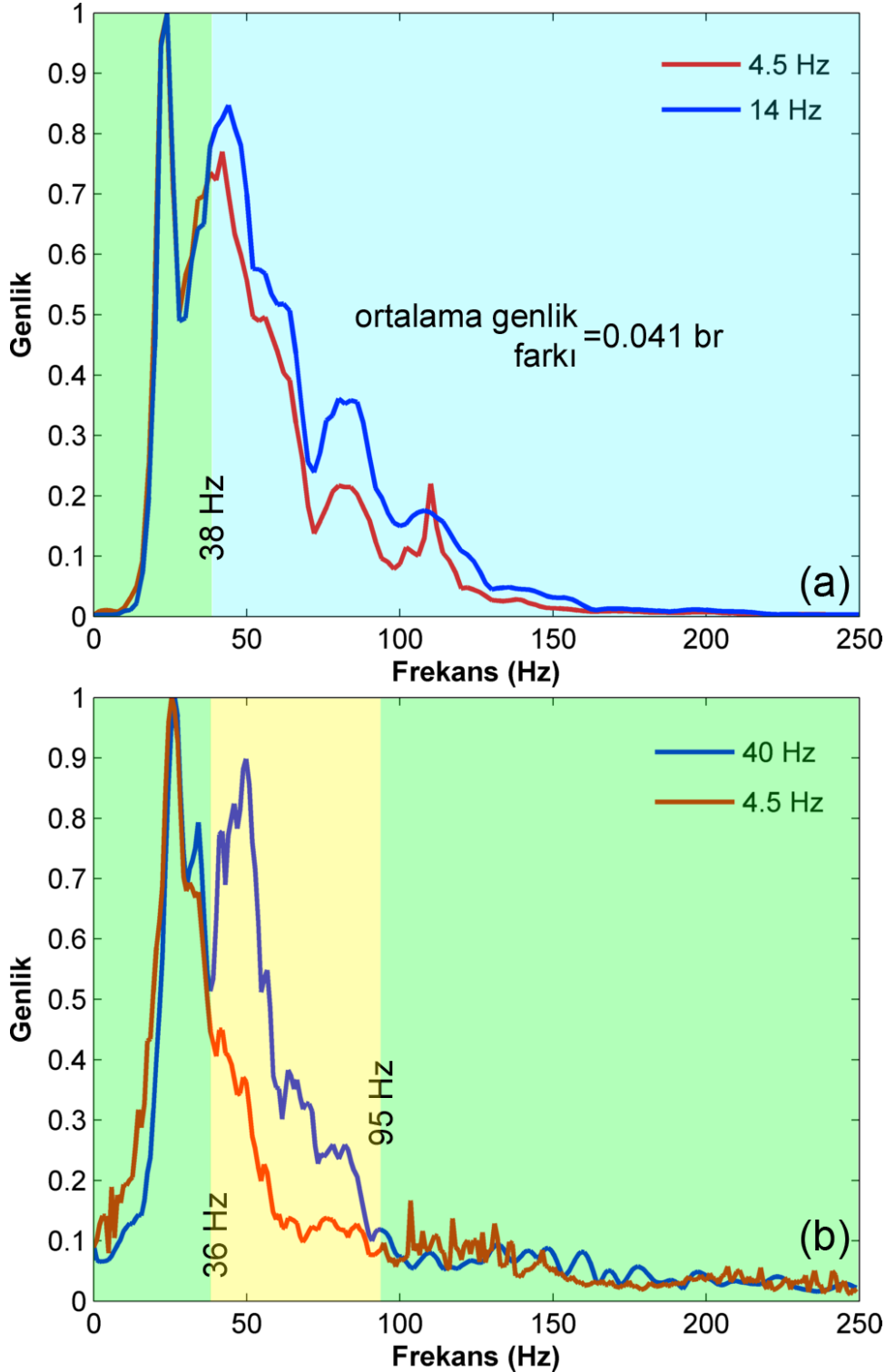
Şekil 5. Saha 1' de (a) 4.5Hz ve (b) 14Hz jeofonla toplanan sismik kırılma verilerinin wiggle ve renkli gösterimi (İlk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 300 ms' te sınırlandırılmıştır). (The seismic refraction data in a wiggle and colored scale obtained by (a) 4.5 Hz and (b) 14 Hz in Field 1 (the time axis limited by 300 ms for better first arrival resolution)).



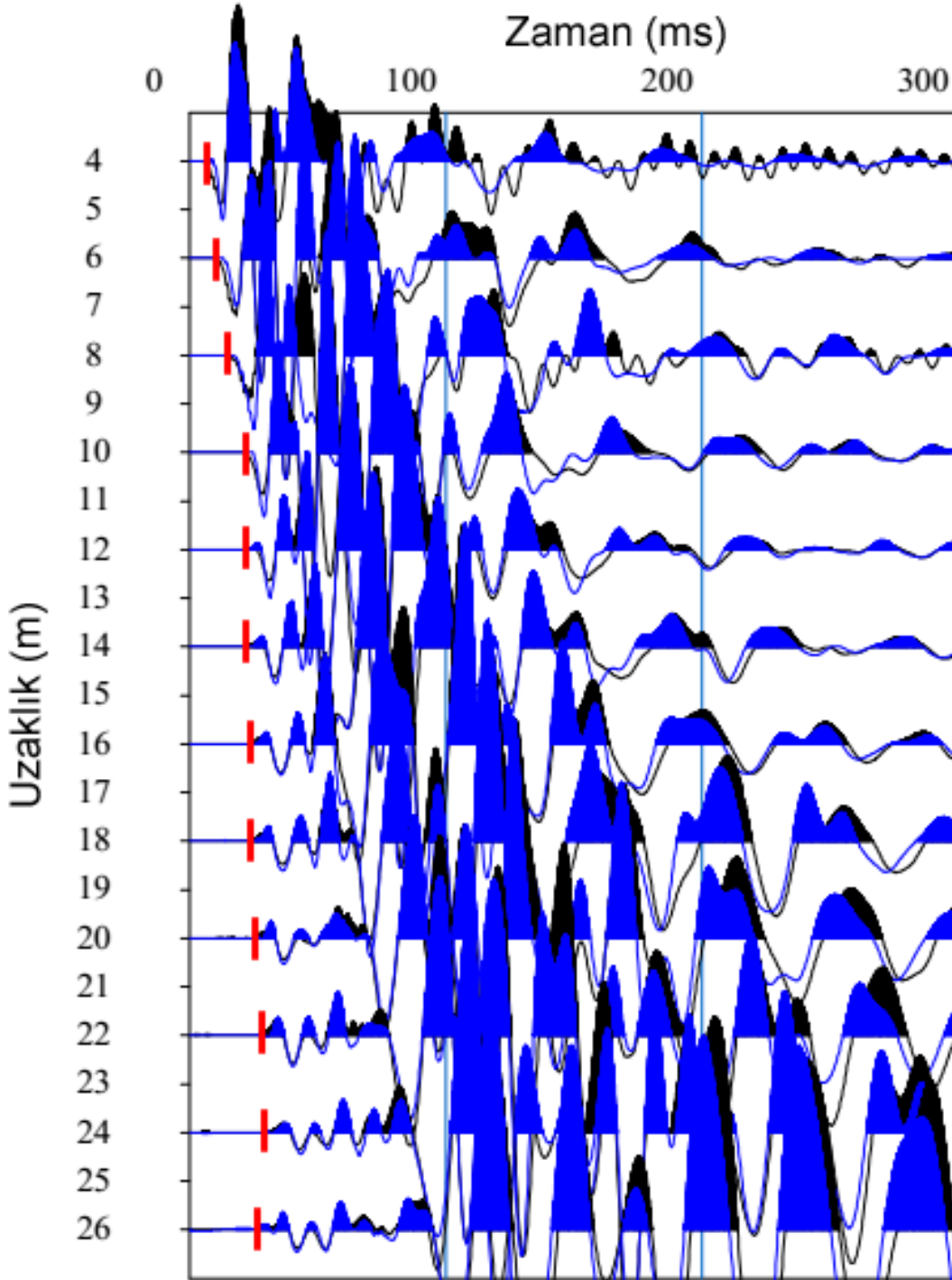
Şekil 6. Saha 2' de (a) 4.5Hz ve (b) 40Hz jeofonla toplanan sismik kırılma verilerinin wiggle ve renkli gösterimi (İlk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 500 ms' te sınırlandırılmıştır). (The seismic refraction data in a wiggle and colored scale obtained by (a) 4.5 Hz and (b) 40 Hz in Field 2 (the time axis limited by 500 ms for better first arrival resolution)).

Saha 1' de toplanan sismik kırılma verilerinin ortalama genlik spektrumuna bakıldığında (Şekil 7a), her iki verinin 0-38 Hz aralığında neredeyse aynı genlik değerlerine ulaştığını, 38 Hz sonrasında ise ortalama genlik farkının sadece 0.041 birim (br) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, 4.5 ve 14 Hz merkez frekanslı jeofonla toplanan iki veri setinin aynı karaktere sahip, benzer veriler olduğu söylenebilir.

Saha 2' de merkez frekansları 4.5 Hz ve 40 Hz olan düşey jeofonlarla veri toplanmıştır. Şekil 7b' de iki veri setinin 0-36 Hz ve 95-250 Hz aralıklarında aynı karakterde olduğu gözlenirken; 40 Hz verisi 36-95 Hz bandında, 4.5 Hz verisine göre daha yüksek genlikler kayıt etmiştir. Bunun nedeni, 40Hz jeofonların göreceli olarak yüksek frekanslara 4.5 Hz'li jeofonlardan daha duyarlı olmasıdır. Dolayısıyla Saha 2 veri setleri arasındaki karakter farkı göreceli olarak daha fazladır.



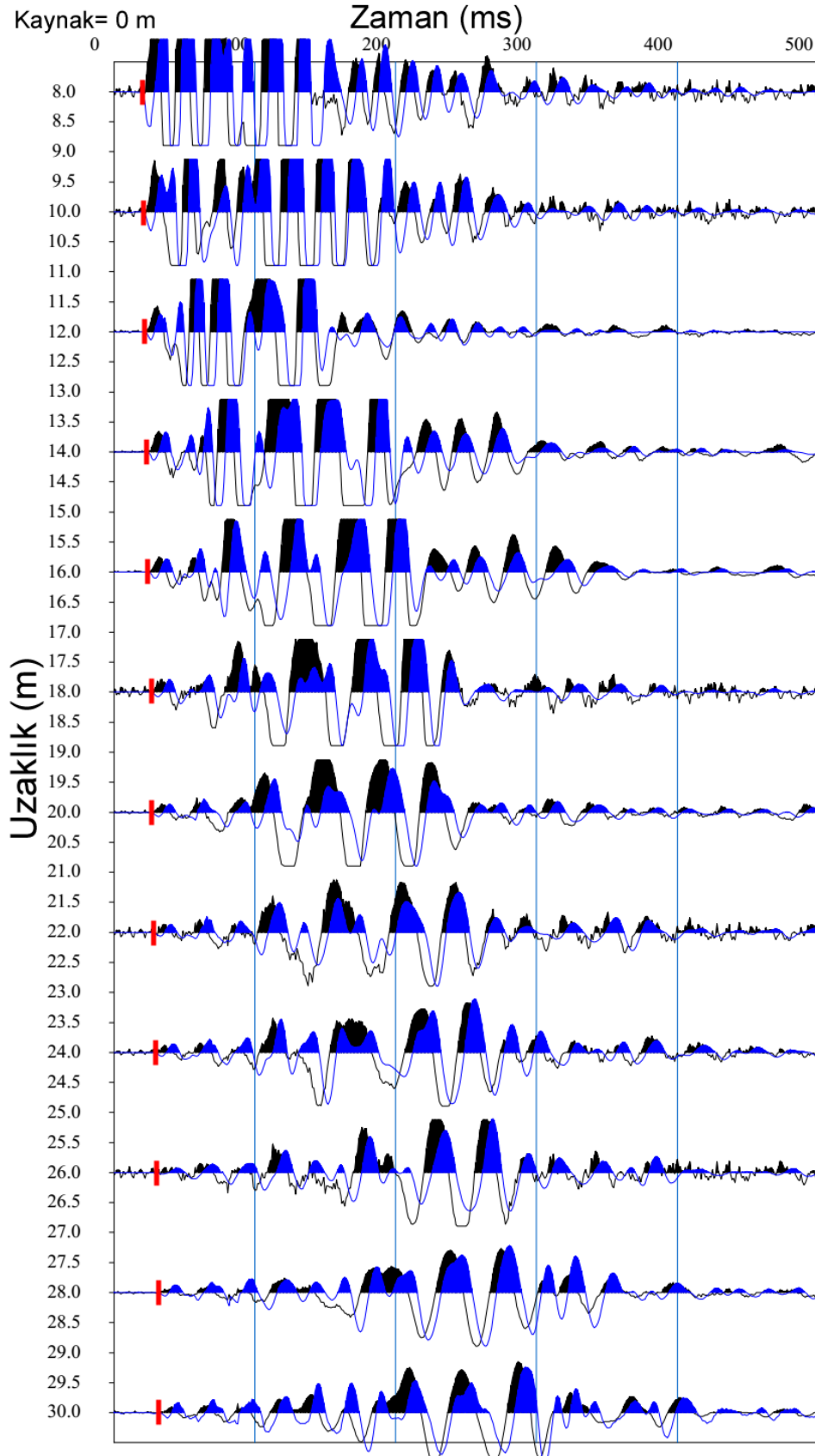
Şekil 7. (a) Saha 1 ve (b) Saha 2' de toplanan sismik verilerin genlik spektrumları ve karşılaştırmaları. (The amplitude spectrums and comparisons of seismic refraction data obtained in (a) Field 1 and (b) Field 2).



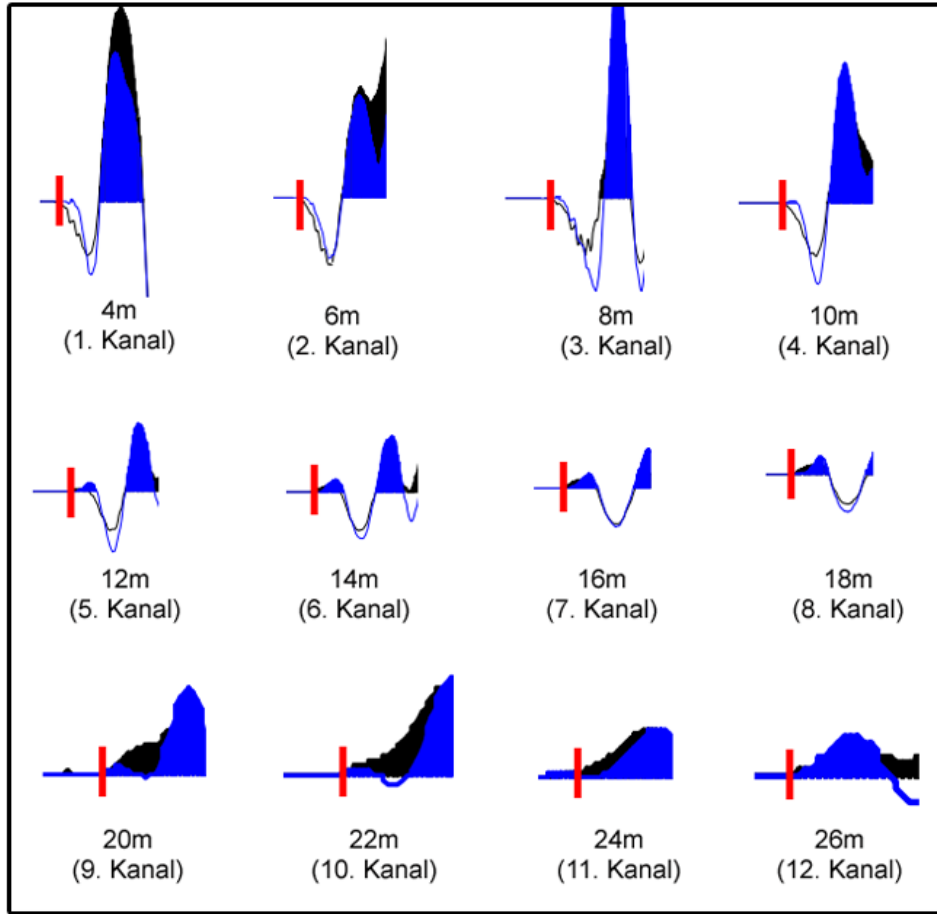
Şekil 8. Saha 1 için toplanan 4.5 Hz (siyah wiggle) ve 14 Hz (mavi wiggle) verilerinin her bir kanalda üst üste çizdirilmesi ve işaretlenen ilk varışlar (İlk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 300 ms' te sınırlandırılmıştır). (The overlapped demonstration of seismic refraction data obtained by 4.5 Hz (black wiggle) and 14 Hz (blue wiggle) in Field 1, and the first arrivals (the time axis limited by 300 ms for better first arrival resolution)).

Her iki sahada veri setlerindeki ilk varış zamanı değişimlerin izlenmesi için, her bir sahada toplanan veri çifti üst üste çizdirilmiş ve ilk varış zamanları işaretlenmiştir. Saha 1 için Şekil 8' de, Saha 2 için Şekil 9' da gözlenen ilk varışlar açıkça göstermektedir ki, her iki sahada da ilk varışlar zamanları tüm kanallarda üst üste gelmekte ve işaretlenen ilk varışlar her farklı merkez frekanslı iki veriyi de temsil etmektedir. Bu örtüşme, geometrik faktör nedeniyle genliklerin zayıfladığı ve rastgele gürültülerin gözlemediği uzak alıcılarda dahi tutarlılığını kaybetmemektedir. Herhangi bir kuşkuya izin vermemek adına için, Saha 1 ve Saha 2' deki her bir jeofonda gözlenen ilk varış dalgası paketi ve işaretlenen ilk varışların yakınlştırılmış görüntüleri Şekil 10' de sunulmuştur. Yakınlştırılmış görüntülerde, ilk varış dalgacıklarının dalga formlarında (örneğin Şekil10a' da ilk beş kanal) ya da ilk varışların polaritesinde (örneğin Şekil10b' de ilk dört kanal) farklılıklar görünse de, karşılaştırılan her bir alıcı çifti için ilk varış zamanları açık şekilde ayındır. Bu tip genlik ve polarite farklılıkları kaynak yakın alan etkisi, kontrolsüz kaynak kullanımına bağlı kaynak dalgacığındaki rastgelelikler, üreticinin kullandığı bobin, bobin tel

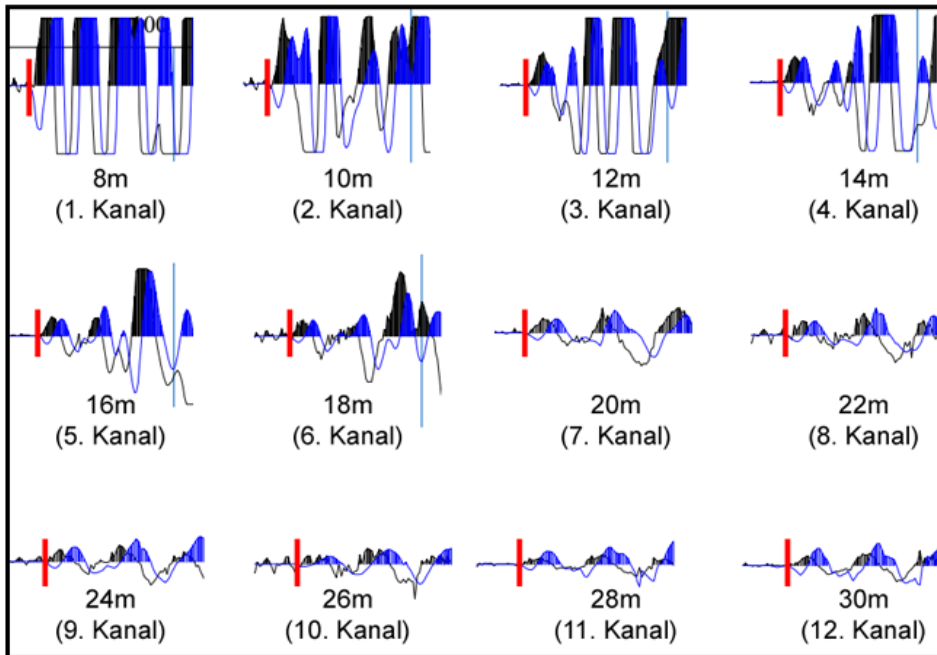
sarım yönü vb. nedenlerle oluşabilmektedir. Ancak, bu farklılıklar görsel ya da formsal farklılıklar yaratmanın ötesine geçmemektedir.



Şekil 9. Saha 2 için toplanan 4.5 Hz (siyah wiggle) ve 40 Hz (mavi wiggle) verilerinin her bir kanalda üst üste çizdirilmesi ve işaretlenen ilk varışlar (ilk varış ayrımlılığı adına zaman eksenini 500 ms' te sınırlandırılmıştır). (The overlapped demonstration of seismic refraction data obtained by 4.5 Hz (black wiggle) and 40 Hz (blue wiggle) in Field 2, and the first arrivals (the time axis limited by 500 ms for better first arrival resolution)).



(a)



(b)

Şekil 10. (a) Saha 1, (b) Saha 2' de tüm kanallardaki ilk varış paketleri ve işaretlenen ilk varışların yakınlaştırılmış görüntüsü.
(The focus visions on the first arrival regions and the picked first arrivals for (a) Field 1 and (b) Field 2).

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışma, ülkemizde mühendislik ve çevre problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan Jeofizik yöntemlerden olan sismik kırılma yönteminin, saha uygulanmasında önemli bir sorun olan ancak şimdiye kadar cevaplanmamış “farklı merkez frekanslı jeofonlarla kayıt edilen sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanları değişir mi” sorusuna sentetik ve saha verileri analizleri ile yanıt aramıştır. Sentetik testlerde, 4.5, 14 ve 40 Hz alıcılar için hesaplanan sentetik izler ile teorik olarak hesaplanan ilk varış zamanlarının tüm jeofonlarda eşleştiği, bununla beraber yüksek merkez frekanslı jeofonlarda artan yanılmalara, özellikle rasgele gürültülü ortamlarda, dikkat edilmesi gerektiği görülmektedir. İki farklı sahada (Saha 1 ve Saha 2), farklı merkez frekansa sahip jeofon setleriyle (4.5-14 Hz ve 4.5 -40 Hz), her bir sahada tek bir serim üzerinde, aynı ekipman, kaynak-alıcı dizilimi ve zaman parametreleri ile toplanan sismik kırılma verileri göstermiştir ki; jeofonların merkez frekansları ilk varış zamanlarını etkilememekte ve farklı jeofonlarla toplanan sismik kırılma verilerinde aynı ilk varışlar işaretlenebilmektedir. Dolayısıyla, sismik kırılma arazi çalışmalarında farklı sismik uygulamalar için, örneğin çok kanallı yüzey dalgası ve geleneksel sismik kırılma, farklı jeofon setlerinin lojistiğine ihtiyaç olmayıp, tek bir jeofon setinin yeterli olacağı anlaşılmaktadır. Böylece, bu çalışmanın yanlış bir anlayışı gidererek, özellikle 4.5 Hz'li jeofonlar kullanarak, aynı profil üzerinde hem sismik kırılma hem de yüzey dalgası verisi toplayacak uygulamalara önemli katkı sağlayacağı 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)

- Aldridge, D.F., 1990. The Berlage wavelet. *GEOPHYSICS* 55, 1508–1511. <https://doi.org/10.1190/1.1442799>
- Andrus, R.D., Stokoe, K.H., Hsein Juang, C., 2004. Guide for Shear-Wave-Based Liquefaction Potential Evaluation. *Earthquake Spectra* 20, 285–308. <https://doi.org/10.1193/1.1715106>
- Ateş, A., 2017. Gölyaka (Düzce) İmara Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sivilaşma Riskinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi* 20, 753–763. <https://doi.org/10.2339/politeknik.368977>
- Babacan, A.E., Ceylan, S., 2021. Evaluation of soil liquefaction potential with a holistic approach: a case study from Araklı (Trabzon, Turkey). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 62.
- Babacan, A.E., Gelisli, K., Ersoy, H., 2014. Seismic tomography and surface wave analysis based methodologies on evaluation of geotechnical properties of volcanic rocks: A case study. *J. Earth Sci.* 25, 348–356. <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0417-7>
- Bayram, M., Alpaslan, N., 2021. JEOFİZİK VE JEOTEKNİK YAKLAŞIMLAR ile YAMAÇ DURAYSIZLIĞI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ-TÜRKİYEDEN BİR ÖRNEK. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi* 2021, 21–41.
- Çimen, Ö., Uyanık, O., Elmasdere, E., Korkmaz, K., Keskin, S., 2014. Mavikent-Isparta Örneğinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışmaları için Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 14, 46–54. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.50974>
- Douglas, A., Bowers, D., Young, J.B., 1997. On the onset of P seismograms. *Geophysical Journal International* 129, 681–690. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb04503.x>
- Ernest, M.H., 1979. Geophone with damping coil. US4159464A.
- Gaytan, A.R., Estrella, H.F., Preciado, A., Bandy, W.L., Lazcano, S., Nolasco, L.A., González, J.A., Korn, M., 2020. Subsoil classification and geotechnical zonation for Guadalajara City, México: Vs30, soil fundamental periods, 3D structure and profiles. *Near Surface Geophysics* 18, 175–188. <https://doi.org/10.1002/nsg.12085>
- Grit, M., Kanlı, A.I., 2016. Integrated Seismic Survey for Detecting Landslide Effects on High Speed Rail Line at Istanbul–Turkey. *Open Geosciences* 8, 161–173. <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0017>
- Hall, J.E.M., 1975. Geophone casings. US3930218A.
- Harmoko, U., Yulianto, G., Indriana, R.D., 2019. The possibility of geothermal permeability detection by using seismic refraction method. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1217, 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012041>
- Hons, M.S., 2008. Seismic sensing: comparison of geophones and accelerometers using laboratory and field data. *Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada, Ottawa.*
- Işık, A., Ünsal, N., Gürbüz, A., Şişman, E., 2016. FETHİYE YERLEŞİM ALANINDAKİ ZEMİNLERİN SPT VE KAYMA DALGA HIZI VERİLERİYLE SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 31, 0–0. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278458>
- Jeffreys, H., 1932. *Handbuch der Geophysik.* *Nature* 129, 487–488. <https://doi.org/10.1038/129487a0>
- Keçeli, A., 2016. Sismik Yöntem İle Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi* 9, 23–41.
- Keçeli, A., 2012. Sismik Hızlar İle Saptanabilen Zemin Parametreleri. *Jeofizik Dergisi* 26, 17–29.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, 1st edition. ed. Pearson, Upper Saddle River, N.J.
- Kurtuluş, C., Bozkurt, A., 2016. Çayırhan İlçesi'nin, Ankara, Zemin Özelliklerinin Jeofizik ve Geoteknik Yöntemlerle Araştırılması. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi* 8, 15–27.
- Miller, R.D., Pullan, S.E., Steeples, D.W., Hunter, J.A., 1992. Field comparison of shallow seismic sources near Chino, California. *GEOPHYSICS* 57, 693–709. <https://doi.org/10.1190/1.1443283>

- Osazuwa, I.B., Chinedu, A.D., 2008. Seismic refraction tomography imaging of high-permeability zones beneath an earthen dam, in Zaria area, Nigeria. *Journal of Applied Geophysics* 66, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.08.006>
- Pugin, A.J.M., Larson, T.H., Sargent, S.L., McBride, J.H., Bexfield, C.E., 2004. Near-surface mapping using SH-wave and P-wave seismic land-streamer data acquisition in Illinois, U.S. *The Leading Edge* 23, 677–682. <https://doi.org/10.1190/1.1776740>
- Senkaya, M., Karsli, H., 2014. A semi-automatic approach to identify first arrival time: the Cross-Correlation Technique. *Earth Sciences Research Journal* 18.
- Smith, D., Evancich, N., McLoughlin, M., Wenstrand, D., 2004. Digital geophone system. US20040252585A1.
- Sudarshan, S.K.V., Huang, L., Li, C., Stewart, R.R., Becker, A., 2016. Seismic surveying with drone-mounted geophones. 2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) 1354–1359. <https://doi.org/10.1109/COASE.2016.7743566>
- Tsoflias, G.P., Steeples, D.W., Czarnecki, G.P., Sloan, S.D., Eslick, R.C., 2006. Automatic deployment of a 2-D geophone array for efficient ultra-shallow seismic imaging. *Geophysical Research Letters* 33. <https://doi.org/10.1029/2006GL025902>
- URL-1, H., n.d. English: Geophone by SERCEL [WWW Document]. URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geophone_hg.jpg (accessed 9.28.20).
- URL-2, n.d. Geophones [WWW Document]. URL <https://vibration.desy.de/equipment/geophones/> (accessed 2.17.21).
- URL-3, n.d. URL https://www.crewes.org/ResearchLinks/Converted_Waves/Page2.php (accessed 2.17.21).
- Uyanik, O., Çatlıoğlu, B., 2015. SİSMİK HIZLARDAN YOĞUNLUĞUN BELİRLENMESİ. *Jeofizik* 3–15.
- Uyanik, O., 2020. Soil liquefaction analysis based on soil and earthquake parameters. *Journal of Applied Geophysics* 176, 104004. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104004>
- Uyanik, O., 2019. Estimation of the porosity of clay soils using seismic P- and S-wave velocities. *Journal of Applied Geophysics* 170, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103832>
- Uyanik, O., 2011. The porosity of saturated shallow sediments from seismic compressional and shear wave velocities. *Journal of Applied Geophysics* 73, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2010.11.001>
- Uyanik, O., Ekinci, B., Uyanik, N.A., 2013. Liquefaction analysis from seismic velocities and determination of lagoon limits Kumluca/Antalya example. *Journal of Applied Geophysics* 95, 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.05.008>
- Vanli Senkaya, G., Karsli, H., Senkaya, M., 2016. Comparison of soil amplification calculations using Vs30 and impedance ratio, in: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016, SEG Technical Program Expanded Abstracts. Society of Exploration Geophysicists, pp. 5001–5005.
- Vanli Senkaya, G., Karsli, H., Senkaya, M., Güney, R., 2015. Imaging of Landslide Deposits around Uzungöl Lake (Trabzon-Turkey) by Refraction Tomography and MASW, in: International Conference on Engineering Geophysics, Al Ain, United Arab Emirates, 15-18 November 2015, SEG Global Meeting Abstracts. Society of Exploration Geophysicists, pp. 27–30.
- Vanlı Senkaya, G., Senkaya, M., Karsli, H., Güney, R., 2020. Integrated shallow seismic imaging of a settlement located in a historical landslide area. *Bull Eng Geol Environ* 79, 1781–1796. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01612-0>
- Veen, M. van der, Green, A.G., 1998. Land streamer for shallow seismic data acquisition; evaluation of gimbal-mounted geophones. *Geophysics* 63, 1408–1413. <https://doi.org/10.1190/1.1444442>
- Woo, D.M., Woodall, J.C., 1992. Geophone. US5119345A.
- Yalcinkaya, E., Alp, H., Ozel, O., Gorgun, E., Martino, S., Lenti, L., Bourdeau, C., Bigarre, P., Coccia, S., 2016. Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey. *Journal of Applied Geophysics* 134, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.08.012>
- Yalcinkaya, E., Tekebaş, S., Arslan, M.S., 2018. Spac Analizlerinde Kırılma Jeofonlarının Kullanımı. Presented at the Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, İzmir.
- Zorluer, İ., Gücek, S., 2019. Afyonkarahisar Uydükent Bölgesinin Sismik Kırılma Yöntemi Sonuçlarının Mikrobölgeleme Esasına Göre Değerlendirilmesi. Presented at the International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, Afyonkarahisar, p. 311.



NİKEL OKSİT KATKI MADDESİNİN ASFALT BAĞLAYICININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE VE KARIŞIMIN STABİLİTESİNE ETKİLERİ

Mustafa ÇALIŞICI*

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

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>NMAB, NiO, Asfalt Bağlayıcının Fiziksel Özellikleri, Marshall Stabilitesi.</i>	Bu çalışmada etkin maddesi Nikel Oksit (NiO) olan metalik özellikli yeni bir katkı maddesi ile asfalt bağlayıcı çeşitli oranlarda modifiye edilerek Nikel Modifiye Asfalt Bağlayıcı (NMAB) elde edilmiştir. Elde edilen NMAB üzerinde yapılan fiziksel ve performans deneyleri sonucunda asfalt bağlayıcının fiziksel özelliklerinde soğuk iklimlerde kullanımı daha uygun sayılabilecek değişiklikler olduğu görülmüştür. Katkı maddesinin asfalt bağlayıcının penetrasyon değerini ve duktilitesini artırdığı, viskozite ve yumuşama noktasını düşürdüğü tespit edilmiştir. Yapılan Marshall stabilite ve akma testlerinde, modifikasyonun stabilite değerini %4.21, akma değerini ise %5 artırdığı belirlenmiştir.

EFFECTS OF NICKEL OXIDE ADDITIVE ON PHYSICAL PROPERTIES OF ASPHALT BINDER AND STABILITY OF ASPHALT MIXTURE

Keywords	Abstract
<i>NMAB NiO, Physical Properties Of Asphalt Binder, Marshall Stability.</i>	In this study, nickel modified asphalt binder (NMAB) was obtained by modifying the asphalt binder at various rates with a new additive that has metallic properties, the active ingredient of which is nickel oxide. As a result of the physical and performance experiments performed on the NMAB, it was observed that there were changes in the physical properties of asphalt that could be considered more suitable for use in cold climates. It has been determined that the penetration and ductility of the asphalt binder were increased whereas the viscosity and softening point decreased by the addition of the additive. In the Marshall stability test, it was calculated that the stability value increased by 4.21% and Marshall flow value was found to have increased by 5%.

Alıntı / Cite

Çalışıcı, M., (2021). Nikel Oksit Katkı Maddesinin Asfalt Bağlayıcının Fiziksel Özelliklerine Ve Karışımın Stabilitesine Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 894-899.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Çalışıcı, 0000-0003-1408-1123

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.04.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Nüfus artışına paralel olarak artan yük ve yolcu taşımacılığı gereksinimleri, ağır vasıtaların yollarda artan oranları ve teknolojik gelişmeler ile yük taşıyabilme kabiliyetlerinin artmış olması, daha dayanıklı yollara ihtiyacı doğurmaktadır. Yolların dayanımı ise bağlayıcı madde ile doğrudan alakalıdır. Ülkemizde beton yol kullanımının olmadığı ya da çok sınırlı düzeyde olduğu dikkate alınır, asfalt bağlayıcı malzeme oldukça önem kazanmaktadır. Günümüzde katkısız asfalt bağlayıcılar artık yollarda neredeyse kullanılamamaktadır. Asfalt bağlayıcıların ise soğuk ve sıcak iklimlerde mevcut ihtiyaçları karşılayabilecek özelliklere sahip olmaları istenmektedir. Bu nedenle, uzun yıllardır araştırmacılar asfalt bağlayıcıları modifiye etme ve çeşitli özelliklerini geliştirme üzerine çalışmalara yoğunlaşmaktadır. Yollarda bağlayıcı olarak kullanılan asfaltlar organik maddeler olduklarından elde edildikleri petrole ve daha sonra maruz kaldıkları üretim süreçlerine bağlı olarak farklı özellikler göstermekte (Paliukaitė vd.

* İlgili yazar / Corresponding author: mustafa.calisici@iste.edu.tr, +90-326-613-5600

2014), katkı olarak kullanılan maddeler ise genel olarak asfalt bağlayıcılar üzerindeki fiziksel ve reolojik etkiler ile karakterize edilmektedir (Holý ve Remišová 2019). Asfalt bağlayıcının reolojik değerlendirme kriterlerinden birisi akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanan viskozite değeridir. Bu bağlamda katkı maddelerini viskoziteyi düşüren ve arttıran olarak ikiye ayırmak mümkün olabilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan veya bilinen katkı maddeleri polimer kökenli maddelerdir. Bu tür katkıların en bilineni SBS (Stiren-Bütadien-Stiren) maddesidir (Yıldırım 2007). SBS katkısı asfalt bağlayıcıların viskozite değerini artırmakta düşük sıcaklıkta düktilite ve yüksek sıcaklıkta ısıya duyarlılık gibi özelliklerini iyileştirmektedir (Zhuang vd. 2017, Teltayev vd. 2019).

Bu çalışmada ağırlıkça çeşitli oranlarda NiO katkı maddesi asfalt bağlayıcıya karıştırılarak bağlayıcı modifiye edilmiş ve %1 - %2 - %3 katkılı NMAB elde edilmiştir. Katkı maddesinin asfalt bağlayıcıya olan etkilerinin anlaşılabilmesi için modifiye asfalt bağlayıcının fiziksel özellikleri geleneksel deneylerle incelenmiş, katkının stabilite üzerine etkileri ise Marshall stabilite ve akma testi ile değerlendirilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde asfalt bağlayıcıyı modifiye etme ile ilgili oldukça yoğun çalışmalar bulunmaktadır. Modifiye edilerek bazı özellikleri iyileştirilen bağlayıcılar sayesinde daha uzun ömürlü, dayanımı daha yüksek karayolları imalatı mümkün olacağından konunun cazibesini kaybetmeyeceği düşünülebilir. Yapılan çalışmaların bazılarında atık maddelerin yol malzemesi olarak değerlendirilmesi incelenirken, bazen de etkin olacağı düşünülen yeni maddeler ile yolların dayanımının artırılması araştırılmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada asfalt bağlayıcı içerisine çeşitli oranlarda endüstriyel çelik çürufu atığı eklenerek bağlayıcının fiziksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu atık maddenin eklendiği oranlarda bağlayıcının penetrasyonunu, yumuşama noktasını ve düktilitesini artırdığını tespit edilmiştir (Lakshmi Shruthi, Kalpana, ve Vijayan 2020). Bir çalışmada, asfalt bağlayıcıya ilave edilen Stiren - Butadien - Stiren polimer modifiye katkısı (SBS), atık lastik kauçuğu (GTR), ve polifosforik asit (PPA) gibi maddelerin asfalt bağlayıcının reolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen modifiye numunelere superpave testleri uygulanmış ve tüm katkıların asfalt bağlayıcının yüksek sıcaklık özelliklerine faydalı olduğu tespit edilmiştir. BBR test sonuçlarına göre ise polimer katkıların bağlayıcının rijitliğini arttırdığı, bunun ise deformasyonlara karşı etkili olacağı belirtilmiştir (Behnood ve Olek 2017). Başka bir çalışmada ise grafen'in asfalt bağlayıcının reolojik ve termal özelliklerine etkisini araştırmak için, bağlayıcı çeşitli oranlarda modifiye edilmiş, bunun için ise iki farklı viskozite dereceli bitümlü bağlayıcı (VG30 ve VG40) kullanılmıştır. Yapılan reolojik testler sonucunda katkı maddesinin %1 ve %1.5 oranlarında bulunduğu karışımlar için yüksek sıcaklıklarda asfalt bağlayıcının reolojik özelliklerinin geliştiği, bunun da tekerlek izi direncini artırdığı belirtilmiştir (Ahmad Nazki, Chopra, ve Chandrappa 2020). Nano ferrik oksit (Fe_2O_3) maddesinin asfalt bağlayıcının reolojik ve mekanik özelliklerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada ise Fe_2O_3 nano partiküllerinin bağlayıcının reolojik özelliklerini geliştirdiği, %1 oranında katkı kullanımının sıcak asfalt karışımlar için teker izi dayanımını artırdığı, bu katkı maddesinin genel olarak bağlayıcının yüksek sıcaklık performansını iyileştirdiği ve karışımın nem hasarına karşı ise daha dirençli hale geldiğini tespit edilmiştir (Karahancer vd. 2020). Yine bir çalışmada sasobit ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı, sıyrma önleyici madde, Kırıntı Kauçuğu (CR), Stiren-Bütadien-Stiren (SBS) ve Polifosforik Asit (PPA) FT - maddeleri ile bu katkıların sasobit ile uyumluluğunu değerlendirmek için tekrar modifiye edilmiştir. Modifiye edilmiş bağlayıcıların morfolojik, reolojik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, sıyrma önleyici maddenin bitümlü bağlayıcının viskozitesini düşürdüğünü ve sıcak asfalt karışımların karıştırma/sıkıştırma sıcaklıklarını düşürmesine rağmen, düşük sıcaklıklarda sasobit modifiye bitümlü bağlayıcının sertliğini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Bunların arasında, sasobit ve parça kauçuk kombinasyonu, özellikle düşük ve orta sıcaklıklarda en iyi performansı sergilediği tespit edilmiştir (Fazaeli vd. 2016). Ukrayna'da yapılan bir çalışmada ise coumarone-indene reçinesi (CIR) kullanılarak asfalt bağlayıcı çeşitli oranlarda modifiye edilmiştir. Bu katkı ile bağlayıcının adezyon özelliğinin arttığı, ancak katkı maddesinin bağlayıcının yumuşama noktasını da arttırdığı, yani bağlayıcıyı rijitleştirdiği tespit edilmiştir. Bu durumu dengelemek için ise reçinenin yine Ukrayna'da üretilen bir tür katran ile birlikte kullanılabileceği tavsiye edilmiştir (Pyshyev vd. 2017). Araştırmacıların büyük kısmı halihazırda en çok katkı maddesi olarak kullanılan SBS (Stiren-Bütadien-Stiren) üzerine yoğunlaşmışlardır (De Sá Araujo vd. 2013; Tayfur, Ozen, ve Aksoy 2007; Wang vd. 2016; Günay ve Ahmedzade 2020; tur Rasool vd. 2017; Ouyang vd. 2006; Larsen vd. 2009). Polimer SBS katkısının genel olarak asfalt bağlayıcının penetrasyon derecesini düşürdüğü, yumuşama noktasını arttırdığı, Marshall stabilitesini arttırdığı gibi sonuçlara ulaşılmıştır. SBS katkısı özellikle teker izi, oluşabilecek çatlak ve deformasyonlara kaplamanın dayanımını arttırmak için önerilmektedir (Zhang ve Hu 2013).

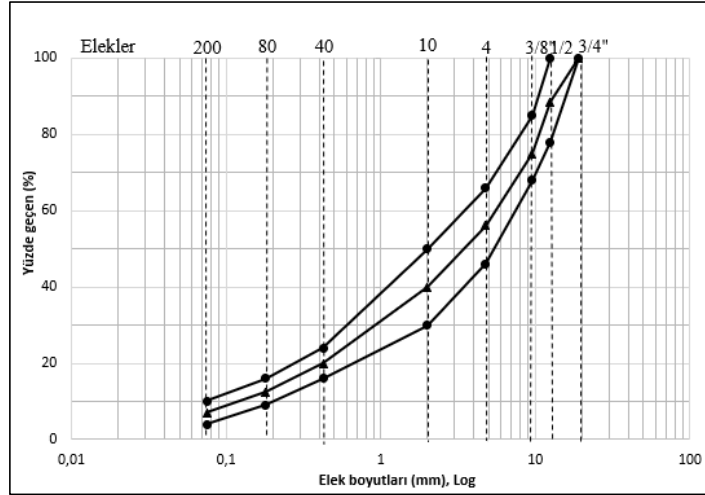
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma kapsamında bağlayıcı olarak 50/70 penetrasyon dereceli asfalt çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. 50/70 penetrasyon katkısız asfalt bağlayıcının özellikleri (Properties of 50/70 penetration original asphalt binder)

Özellik	Değer	Standart
Özgül ağırlık, 25 °C (gr/cm ³)	1.03	ASTM D-70
Penetrasyon, 25 °C (0.1 mm, 5 sn.)	62.70	ASTM D-5
Viskozite, 130 °C, (Pa.s)	0.310	ASTM D-4402
Yumuşama noktası, (°C)	50.8	ASTM D-36

Marshall stabilite ve akma testinde agrega olarak bazalt malzeme kullanılmıştır. Kullanılan agrega gradasyonu ise Şekil 1’de gösterildiği gibidir.

**Şekil 1.** Marshall testi agrega gradasyon eğrisi ve limitleri (Marshall test aggregate gradation limits)

Karışımında etkin katkı maddesi olarak kullanılan Nikel Oksit (NiO) (Merck) %99.8 saflıkta olup, partikül boyutu 50 nm altında ve yoğunluğu 25°C de 6.67 g/ml’dir. Nikel oksit, iyi bir yarı iletken özelliğe sahip metal oksit bazlı bir materyaldir. Yük transferi ve yük taşıma bazlı süreçler gerektiren uygulamalarda yüksek performans gösterir. Nikel oksit, Pil, elektrokromik kaplamalar, porselen ve seramik sektörü de dahil bir çok alanda kullanılmaktadır.

Çalışmada modifiyer olarak kullanılan NiO katkı maddesi, laboratuvarında yağlı ortamda reçine ile NiO maddesinin reaksiyona sokulmasıyla elde edilmiş, reaksiyonda katalizör olarak H₂SO₄ kullanılmıştır.

Katkı maddesinin asfalt bağlayıcı ile karışımı için bağlayıcı 120 °C ye kadar ısıtılmış daha sonra ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında asfalt bağlayıcıya 120°C sıcaklıktaki yağ banyosu ortamında ilave edilmiştir. Karıştırma 15 dk. boyunca 1300 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilerek modifiye asfalt bağlayıcılar elde edilmiştir. Elde edilen modifiye bağlayıcılar bir gün dinlendirilerek deneylere tabi tutulmuştur.

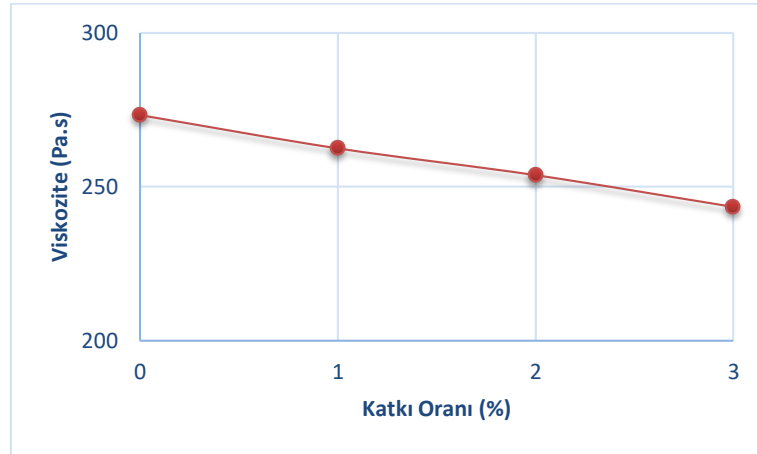
Elde edilen modifiye asfalt bağlayıcılara penetrasyon (ASTM D5), yumuşama noktası (ASTM D36), düktilite (15 °C ve 25°C) (ASTM D113), kütle kaybı (ASTM D6) ve dönel viskozite (ASTM D4402) deneyleri yapılmıştır. Nikel oksit temelli katkının karışım stabilitesine etkisinin anlaşılması için; Marshall stabilite testi (ASTM D6926) ilk olarak katkısız asfalt bağlayıcı ile karışım hazırlanarak gerçekleştirilmiş ve optimum bağlayıcı oranı elde edilmiştir. Daha sonra %2 NMAB ile aynı oranda Marshall briketleri hazırlanmıştır. Bir gün bekletilen briketlerin kırılmasıyla modifiye asfalt karışımının stabilite özellikleri tespit edilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Katkısız asfalt bağlayıcı ve modifiye asfalt bağlayıcılar için yapılan fiziksel deney sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Tablo 2 incelendiğinde, nikel oksit temelli metalik katkı maddesinin ilave edildiği orana göre bağlayıcının penetrasyon değerini artırmakta, yumuşama noktasını ise düşürmekte olduğu görülmektedir. Kütle kaybı açısından bakıldığında katkı maddesi ilavesi oranı arttıkça kütle kayıplarında artış olduğu görülse de katkının %3 oranında bile kütle kaybı değeri KGM şartname limiti olan %1’in altında kaldığı anlaşılmaktadır (KGM 2013). Nikel oksit temelli metalik katkının asfalt bağlayıcının viskozitesi üzerine etkisi Şekil 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Katkısız ve modifiye asfalt bağlayıcının fiziksel özellikleri (Physical properties of original and modified asphalt binder)

Bağlayıcı Madde	Penetrasyon (25 °C, 0,1 mm)	Yumuşama noktası (°C)	Düktilite (25 °C, cm)	Düktilite (15 °C, cm)	Kütle Kaybı (%)
Katkısız Asfalt	62.7	50.8	>100	77.6	0.25
%1 NMAB	66.8	48.7	>100	92.4	0.16
%2 NMAB	69.5	47.4	>100	>100	0.40
%3 NMAB	71.6	46.5	>100	>100	0.81

**Şekil 2.** Katkı oranı- viskozite ilişkisi (Variation of viscosity with the additive ratio)

Katkı maddesi oranının artması ile asfalt bağlayıcının viskozitesini düşürdüğü Şekil 2'den görülmektedir. Bazı metal oksitlerin daha önce de asfalt bağlayıcının viskozitesini düşürdüğü rapor edilmiştir (Liu vd. 2020; Calisici 2009). Asfalt bağlayıcıların ısıya duyarlılığı ile ilgili bir parametre de penetrasyon indeksidir (PI) (Kuloğlu, Yılmaz, ve Kök 2008). Tablo 3'de NMAB ve katkısız asfalt bağlayıcılara ait PI değerleri görülmektedir. Katkısız ve modifiye asfalt bağlayıcıların PI değerleri Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \log(\text{pen}) - 20YN}{50 \log(\text{pen}) - YN - 120} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de (pen), asfalt bağlayıcının 25°C deki penetrasyon değerini, YN ise yumuşama noktasını ifade etmektedir.

PI değerinin azalması ısıya duyarlılığın artışı olarak yorumlansa da, bu değer -2'nin altında olmaması ısıya duyarlılığın aşırı olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır (Geçkil ve Seloğlu 2019). Tablo 3 incelendiğinde katkı oranının artmasıyla asfalt bağlayıcıların PI değerinin düşmesi, modifiye bağlayıcıların ısıya duyarlılığında artış olarak görünse de, tüm oranların kabul edilebilir sınır içinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 3. Bağlayıcı türü - Penetrasyon indeksi (PI) (Binder type - Penetration index (PI))

Bağlayıcı türü	PI
Katkısız Asfalt	-0,46167
%1 NMAB	-0,84703
%2 NMAB	-1,10235
%3 NMAB	-1,28187

Tablo 2'den düktilite ve kütle kaybı değerleri birlikte dikkate alınarak, 15°C deki düktilitenin 100 cm'yi geçtiği ilk oran olan %2, ayrıca bu oranda kütle kaybının çok yüksek olmadığı da düşünülerek optimum katkı oranı olarak seçilmiştir. Daha sonra bu orandaki katkılı modifiye asfalt bağlayıcılar Marshall stabilite ve akma testine tabi tutulmuştur.

Marshall testi için öncelikle katkısız asfalt bağlayıcı ile karışım yapılmış, %4 ile %6 arası her %0.5 oranı için 3'er numune hazırlanmıştır. Karıştırılan numuneler her iki tarafına 75'er darbe vurularak sıkıştırılmış, bir gün bekletildikten sonra kırılarak stabilite değerleri ölçülmüş ve optimum bağlayıcı oranı hesaplanmıştır. Marshall testi sonucunda katkısız asfalt bağlayıcı ile hazırlanan numunelerin optimum bağlayıcı oranı %4.7 olarak elde edilmiştir. Daha sonra aynı bağlayıcı oranı, %2 NMAB için de hazırlanarak modifiye bağlayıcının stabilite ve akma değerine ulaşılmıştır. Marshall testi sonuçları Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Marshall Stabilite testi sonuçları (Marshall Stability test results)

Bağlayıcı	Marshall Stabilite (Kg)	Akma (mm)
Katkısız Asfalt	773,6	4.0
%2 NMAB	806,2	4.2

Stabilite değeri, trafik yükünün etkisiyle oluşacak deformasyonlara karşı kaplamanın gösterdiği direnci ifade etmektedir. Stabilite değerinin yükselmesi kalıcı deformasyona karşı direnç yeteneğinin artmasıdır. Tablo 4 incelendiğinde optimum bağlayıcı oranında yapılan Marshall testi sonucunda %2 NMAB ile yapılan karışımın stabilite değerinde %4.21 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Karayolları teknik şartnamesinde Binder tabakası için en az 750 kg stabilite gerekmektedir (KGM 2013). Akma değeri stabilite testinde numunenin kırılma anına kadar yaptığı deformasyondur. Tablo 4 'de katkı maddesinin sıcak asfalt karışım numunesinin akma değeri 0.2 mm artırmış olduğu görülmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada Nikel Oksit katkı maddesi ile çeşitli oranlarda modifiye edilen asfalt bağlayıcının (NMAB) fiziksel ve performans özellikleri değerlendirilmiştir.

Nikel oksit katkı asfalt bağlayıcıya katıldığı oranda bağlayıcının viskozitesini ve yumuşama noktasını düşürmektedir. Viskozite değerinin düşmesi sıcak asfalt karışımın işlenebilirliğinin artması anlamına gelmektedir.

Bağlayıcının daha düşük viskozite değerine sahip olması ve düktilitesinin artması teker izi deformasyonuna, yorulma çatlağına ve soyulmaya karşı daha dirençli bir karışım olabileceğinin göstergesidir (Caputo vd. 2020).

Tablo 2, Tablo 3 ve Şekil 2 birlikte değerlendirildiğinde bir metal oksit olan NiO katkısının asfalt bağlayıcının viskozitesini düşürmesi, düktilitesini artırması ve PI değerinin eksi değerlerde hesaplanması sonucunda, modifiye edilmiş bağlayıcının iklimsel olarak daha serin olan bölgelerde kullanımının uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Viskozite ve yumuşama noktasındaki düşüş, sıcak asfalt karışımın imalatı esnasında düşük sıkıştırma sıcaklığına ihtiyaç duyması veya daha az enerji tüketimi anlamına gelmektedir (Yang ve Tighe 2013).

Halihazırda en çok kullanılan polimer katkı maddelerinin yüksek karıştırma ısıları ve yüksek karışım süreleri dikkate alındığında (Robert, Self, ve John 2015; Babalghaith vd. 2019), NiO katkı maddesinin, kısa karıştırma süresine ve nispeten düşük karışım ısısına ihtiyaç duyması da bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Katkı oranı arttıkça kütle kaybı değeri artmakta, PI indeksi ise azaltılmaktadır. Ancak şartname limitleri ve kabul edilebilir seviyeler dikkate alındığında çalışmadaki tüm katkı oranları kullanım şartlarını sağlamaktadır.

%2 NMAB ile yapılan sıcak asfalt karışımın Marshall stabilite değeri katkısız bağlayıcı ile elde edilen değere göre %4.21 artmıştır. Akma değerinde ise 0,2mm'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Her ne kadar fiziksel özellikler bazı somut bilgiler sağlasa da modifiye bağlayıcıların superpave sisteminde reolojik testlere de tabi tutularak farklı sıcaklıklardaki davranışının belirlenmesi önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

Ahmad Nazki, M., Chopra, T., and Chandrappa, A.K. 2020. Rheological properties and thermal conductivity of bitumen binders

- modified with graphene. *Construction and Building Materials*, 238: 117693. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117693.
- Babalghaith, A.M., Koting, S., Ramli Sulong, N.H., and Karim, M.R. 2019. Optimization of mixing time for polymer modified asphalt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1). doi:10.1088/1757-899X/512/1/012030.
- Behnood, A., and Olek, J. 2017. Rheological properties of asphalt binders modified with styrene-butadiene-styrene (SBS), ground tire rubber (GTR), or polyphosphoric acid (PPA). *Construction and Building Materials*, 151: 464–478. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.06.115.
- Calisici, M. 2009. Bitümün Sentetik Metal ve Polimer Katkı Maddeleriyle Yaşlanma Direncinin Arttırılması”, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Caputo, P., Porto, M., Angelico, R., Loise, V., Calandra, P., and Oliviero Rossi, C. 2020. Bitumen and asphalt concrete modified by nanometer-sized particles: Basic concepts, the state of the art and future perspectives of the nanoscale approach. *Advances in Colloid and Interface Science*, 285: 102283. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.cis.2020.102283.
- Fazaeli, H., Amini, A.A., Nejad, F.M., and Behbahani, H. 2016. Rheological properties of bitumen modified with a combination of FT paraffin wax (sasobit®) and other additives. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(2): 135–145. doi:10.3846/13923730.2014.897977.
- Geçkil, T., and Seloğlu, M. 2019. Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi, The Effect of Reactive Terpolymer on The Stiffness and Temperature Susceptibility of Bitumen. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 31(1): 203–213.
- Günay, T., and Ahmedzade, P. 2020. Physical and rheological properties of nano-TiO₂ and nanocomposite modified bitumens. *Construction and Building Materials*, 243. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118208.
- Holý, M., and Remišová, E. 2019. Characterization of Bitumen Binders on the Basis of Their Thermo-Viscous Properties. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27(1): 25–31. doi:10.2478/sjce-2019-0004.
- Karahancer, S., Enieb, M., Saltan, M., Terzi, S., Eriskin, E., Cengizhan, A., and Akbas, M.Y. 2020. Evaluating mechanical properties of bitumen and hot mix asphalt modified with nano ferric oxide. *Construction and Building Materials*, 234: 117381. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117381.
- KGM. 2013. Karayolu teknik şartnamesi 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kuloğlu, N., Yılmaz, M., and Kök, B.V. 2008. Farklı penetrasyon derecelerine sahip asfalt çimentolarının kalıcı deformasyona karşı dayanımlarının ve işlenebilirliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(1): 81–91.
- Lakshmi Shruthi, V., Kalpana, M., and Vijayan, D.S. 2020. An experimental study on mechanical properties of bitumen added with industrial waste steel slag. *Materials Today: Proceedings*, 33: 48–51. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.matpr.2020.03.032.
- Larsen, D.O., Alessandrini, J.L., Bosch, A., and Cortizo, M.S. 2009. Micro-structural and rheological characteristics of SBS-asphalt blends during their manufacturing. *Construction and Building Materials*, 23(8): 2769–2774. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.03.008.
- Liu, Y., Qiu, Z., Zhao, C., Nie, Z., Zhong, H., Zhao, X., Liu, S., and Xing, X. 2020. Characterization of bitumen and a novel multiple synergistic method for reducing bitumen viscosity with nanoparticles and surfactants. *RSC Advances*, 10(18): 10471–10481. Royal Society of Chemistry. doi:10.1039/d0ra00335b.
- Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y., and Zhang, Y. 2006. Improving the aging resistance of styrene-butadiene-styrene tri-block copolymer modified asphalt by addition of antioxidants. *Polymer Degradation and Stability*, 91(4): 795–804. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2005.06.009.
- Paliukaitė, M., Vaitkus, A., and Zofka, A. 2014. Evaluation of bitumen fractional composition depending on the crude oil type and production technology. 9th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2014, (May 2016). doi:10.3846/enviro.2014.162.
- Pyshyev, S., Gunka, V., Grytsenko, Y., Shved, M., and Kochubei, V. 2017. Oil and gas processing products to obtain polymers modified bitumen. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(4): 289–296. Chinese Society of Pavement Engineering. doi:10.1016/j.ijprt.2017.05.001.
- Robert, N.H., Self, A., and John, R. 2015. The Shell bitumen handbook. *In Shell bitumen*.
- De Sá Araujo, M.D.F.A., Lins, V.D.F.C., Pasa, V.M.D., and Leite, L.F.M. 2013. Weathering aging of modified asphalt binders. *Fuel Processing Technology*, 115: 19–25. doi:10.1016/j.fuproc.2013.03.029.
- Tayfur, S., Ozen, H., and Aksoy, A. 2007. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. *Construction and Building Materials*, 21(2): 328–337. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.08.014.
- Teltayev, B.B., Rossi, C.O., Izmailova, G.G., Amirbayev, E.D., and Elshibayev, A.O. 2019. Evaluating the effect of asphalt binder modification on the low-temperature cracking resistance of hot mix asphalt. *Case Studies in Construction Materials*, 11. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.cscm.2019.e00238.
- tur Rasool, R., Wang, S., Zhang, Y., Li, Y., and Zhang, G. 2017. Improving the aging resistance of SBS modified asphalt with the addition of highly reclaimed rubber. *Construction and Building Materials*, 145: 126–134. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.03.242.
- Wang, Q., Li, S., Wu, X., Wang, S., and Ouyang, C. 2016. Weather aging resistance of different rubber modified asphalts. *Construction and Building Materials*, 106: 443–448. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.12.138.
- Yang, J., and Tighe, S. 2013. A Review of Advances of Nanotechnology in Asphalt Mixtures. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96(Cictp): 1269–1276. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.sbspro.2013.08.144.
- Yildirim, Y. 2007. Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 21(1): 66–72. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.07.007.
- Zhang, F., and Hu, C. 2013. The research for SBS and SBR compound modified asphalts with polyphosphoric acid and sulfur. *Construction and Building Materials*, 43: 461–468. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.03.001.
- Zhuang, C., Li, N., Zhao, W., and Cai, C. 2017. Effects of SBS Content on the Performance of Modified Asphalt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 216(1). doi:10.1088/1757-899X/216/1/012028.



SERA ZİRAİ TOPRAĞINDA TOPLAM PESTİSİT SEVİYELERİ VE SERA ÖZELLİKLERİ İLE PESTİSİT SEVİYELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Alper SERTTAŞ*, Tuğba AYAZ¹, Sema YURDAKUL², Güray DOĞAN³, Recep Kaya GÖKTAŞ¹, Mihriban CİVAN¹

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

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

³ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Antalya,
Organo Klorlu Pestisit (OCP),
Sera Toprağı,
Sera Özellikleri.*

Öz

Organoklorlu Pestisit(OCP)'ler doğada kalıcı özelliktedir ve toprakta birikme eğilimi gösterir. Çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı son yıllarda dikkat çekmeye başlamıştır. OCP'lerin besin zincirine katıldığı ilk nokta olan sera yetiştiriciliğinde, seviyelerinin tespit edilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmada 24 Plastik, 24 cam kaplı serada OCP seviyeleri ölçülmüş ve sera sahiplerine uygulanan anketten elde edilen sera özellikleri verileri ile ilişkilendirilmiştir. Bütün seralarda ölçülen toplam OCP ($\Sigma_{17}OCP$) ortalama değeri 21,34 ng/g olarak hesaplanmıştır. Seralarda yaz ve kış olmak üzere iki farklı mevsimde alınan örnekler incelendiğinde $\Sigma_{17}OCP$ Yaz: 12,99 ng/g iken $\Sigma_{17}OCP$ kış: 33,86 ng/g ölçülmüştür. En yüksek $\Sigma_{17}OCP$ seviyesi 181,10 ng/g ve en düşük $\Sigma_{17}OCP$ seviyesi 3,31 ng/g olarak ölçülmüştür. Toplam OCP seviyeleri ile seralarda kullanılan ilaç miktarları, havalandırmanın kıyaslanması sonucunda ilaçlama ve havalandırma kriterlerinin toplam OCP seviyesine doğrudan etkisi tespit edilmiştir. Bu sebeple, ilaç kullanım miktarları konusunda daha bilinçli kullanım için gerekli eğitimlerin verilmesi ve özellikle kış mevsiminde, havalandırma miktarının artırılması önerilmektedir.

EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TOTAL PESTICIDE LEVELS AND GREENHOUSE PROPERTIES AND PESTICIDE LEVELS IN GREENHOUSE AGRICULTURAL SOIL

Keywords

*Antalya,
Organo Chlorinated
Pesticide (OCP),
Greenhouse Soil,
Greenhouse Features.*

Abstract

Organochlorine Pesticides (OCPs) are persistent in nature and tend to accumulate in the soil. It has started to attract attention in recent years due to its negative effects on the environment and human health. In greenhouse cultivation, which is the first point where OCPs join the food chain, it is extremely important to determine their levels. In this study, OCP levels were measured in 24 plastic and 24 glass-covered greenhouses and correlated with greenhouse properties data obtained from the questionnaire applied to greenhouse owners. The mean value of total OCP ($\Sigma_{17}OCP$) measured in all greenhouses was calculated as 21.34 ng/g. When the samples taken in greenhouses in two different seasons, summer and winter, were examined, $\Sigma_{17}OCP$ Summer: 12.99 ng/g, while $\Sigma_{17}OCP$ winter: 33.86 ng/g. The highest $\Sigma_{17}OCP$ level was 181.10 ng/g and the lowest $\Sigma_{17}OCP$ level was 3.31 ng/g. As a result of the comparison of the total OCP levels with the amount of pesticides used in the greenhouses and the ventilation, the direct effect of the spraying and ventilation criteria on the total OCP level was determined. It is recommended to provide necessary training for more conscious use of pesticides and to increase the amount of ventilation, especially in winter.

Alıntı / Cite

Serttaş, A., Ayaz, T., Yurdakul, S., Doğan, G., Göktaş, R.K., Civan, M., (2021). Sera Tarım Topraklarında Toplam Pestisit Düzeyleri İle Sera Özellikleri ve Pestisit Düzeyleri Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 900-910

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Serttaş, 0000-0001-5806-5390	Başvuru Tarihi / Submission Date	07.05.2021
T. Ayaz, 0000-0001-9807-8647	Revizyon Tarihi / Revision Date	02.06.2021
S.Yurdakul, 0000-0002-1728-1588	Kabul Tarihi / Accepted Date	03.06.2021
G. Doğan, 0000-0003-0481-8080	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021
R.K. Göktaş, 0000-0003-1968-066X		
M.Civan, 0000-0002-2966-3188		

1. Giriş (Introduction)

Endüstri devriminden kaynaklanan refahla beraber ölüm oranının düşmesiyle birlikte, dünya nüfusu hızla artarak 7.8 milyara ulaşmıştır. Türkiye’de dünya nüfusuna paralel bir şekilde artmış ve şu an nüfusumuz yaklaşık 83 milyon kişiye ulaşmıştır (Güven ve Koç, 2020). Dünya nüfusunun yaklaşık %1,08 bölümünü oluşturan Türkiye, nüfus sıralamasında dünyanın en büyük 18. ülkesidir. Türkiye nüfusunun 2023 yılında 86.907.367 kişi olması, 2040 yılında ise 100.331.233 kişiye ulaşması tahmin edilmektedir (Akça vd., 2016). Nüfusu bu kadar hızlı artan bir ülkede normal tarım arazileri kullanılarak yetiştirilen sebze ve meyve miktarları yeterli gelmeyeceği için daha verimli olan sera (örtü altı) yöntemi ile tarım yapılmaya başlanmıştır. Bu sebeple 1940’lı yıllardan itibaren açık tarla üretimine göre 5-6 kat daha fazla ürün getirdiği için sera yetiştiriciliği başlamıştır (Tarım Kütüphanesi 2021). Seracılık ülkemizde 1940’lı yıllarda başlamış ve örtü malzemesi olarak plastiğin kullanılmasıyla 1970’li yıllarda en yüksek düzeye ulaşmıştır. Şu anda tarım yapılan arazilerin %25’inde sera yetiştiriciliği yapılmaktadır (Ozcan vd., 2020).

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Tarımsal ürünlere zarar veren yabancı otlar ve böcekler için pestisitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de böcek öldürücüler, herbisitler, mantar öldürücüler, akarisitler dâhil, yağlar, nematisitler, rodentisitler ve yumuşakça öldürücülerin kullanımı 1979 ile 2006 yılları arasında 3 kat artırmıştır (Akça vd., 2016). Ancak serada uygulanan pestisitlerin klasik tarıma göre hava yoluyla seyrelme imkânının az olmasından dolayı iç ortam miktarlarının ve dolayısıyla maruziyetin daha fazla olduğunu yapılan çalışmalar göstermektedir (Qu vd., 2015; Zhang vd., 2015b). Bu sebeple özellikle sera yetiştiriciliğinde pestisit kullanımının ve etkilerinin değerlendirilmesi üründeki pestisit kalıntı seviyelerini düşürmek için atılması gereken önemli bir adımdır. Tarım alanında kullanılan pestisitler arasında kalıcı özelliklerinden dolayı doğada uzun süre parçalanmadan kalmaları ve maruziyetleri sonucu çeşitli hastalıklara ve hatta kansere sebep olmalarından dolayı Organoklorlu Pestisitler (OCP) önemli bir gruptur (Kuruta ve Kilin, 2003). Solunum yoluyla insan bünyesine girebildiği gibi topraktan bitkiye geçerek ya da doğrudan bitkiye püskürtülenin bitki bünyesine alınmasıyla insan vücuduna da geçiş yapabilirler (Altikat ve Torun, 2009). OCP maruziyetinin insanların merkezi sinir sistemini etkileyebildiği saptanmış ve 1980’li yıllarda da çoğu ülke ile birlikte ülkemizde de riskleri kesin belirlenmiş bazı OCP’lerin kullanımı, ithalatı Gıda ve Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’nca yasaklanmıştır (Akça vd., 2016; Ergonen vd., 2005; Jayaraj ve Sreedev, 2016; Sanlı ve Tasdemir, 2020). DDT, endrin, aldrin gibi vücutta uzun süre kalıcı olabilen kirleticilerin düşük dozda maruz kalınması bile uzun yıllar yağ dokuda birikmesinden dolayı deride; egzama, dermatit, böbreklerde nokturi, salgı fraksiyonunda azalma; kalp ve akciğerlerde kronik miyokard toksisitesi, kronik koroner yetmezlik, hipertoni, akciğer anfiyem gibi birçok rahatsızlığa sebep olduğu görülmüştür (Altikat ve Torun, 2009). DDT, Heptaklor, HCH, Endrin gibi OCP’ler ülkemizde de 1972 yılında kısıtlanmış ve 1987 yılında yasaklanmış olsa da yapılan araştırma ile hala anne sütünde ve insan dokusunda OCP kirliliği olduğu tespit edilmiştir (Çok vd., 2011). Toprakta yapılan OCP çalışmalarında bu kimyasalların yararından çok zararı olduğu ve topraktaki alg, mikroorganizmaya olumsuz etkileri ile başlayıp insan sağlığına doğrudan (solunum) ve dolaylı olarak (meyve sebzeler yoluyla) insan bünyesindeki olumsuz etkileri gözlemlenmiştir (Güven ve Koç, 2020). Ancak, yasaklı OCP’ler kalıcı özelliklerinden ve/veya yasa dışı kullanımlarından dolayı hala zirai topraklarda tespit edilmektedir (Bozlaker vd., 2009; Jiang vd., 2009; Qu vd., 2015; Satoh ve Gupta, 2011; Yu vd., 2013; Zhang vd., 2015).

Bununla birlikte, farklı tarımsal alanlarda pestisit tüketimi bölgesel tarımsal ve iklimsel özelliklerden dolayı bölgesel farklılık göstermektedir. Türkiye’de toplam pestisit tüketiminin %24’lük kısmını oluşturan Akdeniz bölgesi pestisit kullanımında birinci sıradadır (Çok vd., 2011). Antalya’da seralarda yetiştirilen meyve ve sebzelerin %70’i domates, %15’i biber, %10’u hıyar ve %5’i patlıcan, fasulye, kavun, kıvırcık gibi sebzelerdir (Şeniz vd., 1995). Türkiye’de yetiştirilen domatesler dünya domates ihracatının %7,9’nu karşılamaktadır. Buna rağmen Türkiye’deki seralarda topraktaki OCP miktarları hakkında çok az çalışma mevcuttur. Bu çalışmanın amacı en çok sera yetiştiriciliğinin yapıldığı Akdeniz Bölgesi’nde bulunan farklı özelliklere sahip seçilen seralarda toplam OCP miktarlarının ölçülmesi, sera özelliklerinin belirlenmesi sera sahiplerine anket uygulanması ve toplam OCP seviyeleri ile sera özellikleri arasında ilişkilerin değerlendirilmesidir (Bozlaker vd., 2009).

3. Materyal ve Yöntemler (Materials and Methods)

3.1. Örnekleme Sahası (Sampling Site)

Çalışma alanı olarak Antalya ili Fethiye ilçesindeki domates yetiştiriciliği yapan seralar seçilmiştir. Saha çalışması sırasında toplam 56 adet seradan örnekler toplanmış fakat daha sonra 8 örneğin 3 tanesi ekstraksiyon sırasında uçmuş, 2 tanesi analiz sırasında ölçümü yapılamamış ve 3 tanesi kalite kontrol çalışması sonrasında data setinden çıkarılmasına karar verilmiştir. Bu çıkartılan verilerin diğer mevsimde alınan sera örnekleri mevsimsel kıyaslama yapılamayacağı için veri setinden çıkartılmıştır. Bu sebeple makalede toplam 48 sera toprağından yaz ve kış mevsimlerinde toplam 96 örnek için OCP seviyeleri tartışılmıştır. Ayrıca sera yaşı, havalandırma şekli ve sıklığı, kullanılan ilaç ve gübre sıklık ve miktarları bilgilerini öğrenmek için sera sahiplerine anket yapılmıştır.

3.2. Numune Alma (Sampling)

Seraların içindeki 5 farklı konumdan kompozit toprak örnekleri, izooktan ile önceden temizlenmiş metal kürek ile 0-20 cm toprak derinliğinden toplanmıştır (Bozlaker vd., 2009; Kim vd., 2001; Sanlı ve Tasdemir, 2020). Her bir seradan alınan kompozit toprak numunesi, alüminyum folyo ile sarılmış önceden temizlenmiş bir cam kavanoza yerleştirilerek laboratuvara getirilmiştir.

Laboratuvara getirilen toprak örneklerinden saç, döküntü, kalıntı kökleri ve sebzeler çıkarılmış ve örnekler ortam sıcaklıklarında kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra kurutulmuş numuneler 250 µm gözenek boyutunda paslanmaz çelik bir elek ile eelenmiştir. Elenen tüm toprak örnekleri, ekstraksiyona kadar GC-MS laboratuvarında buzdolabında -15 ° C sıcaklıkta saklanmıştır.

3.3. Ekstraksiyon ve Enstrümantal Analiz (Extraction and Instrumental Analysis)

Örnekler, 15 mL n-hekzan ile şartlandırılan Mega Bond Elut BE-SI (5 g, 20 mL) (Agilent) kartuşlarına eklenmiştir. Ekstraktlar, OCP'leri toplamak için kartuştan 30 ml aseton geçirilmiştir. Eluat hacmi döner buharlaştırıcı ve ardından yüksek saflıkta azot altında 1 ml'ye konsantre edilmiştir.

Konsantre örnekler HP5-MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kolunu bulunan Agilent marka 6890N GC and 5973 Inert MSD cihazında analiz edildi. Cihaz Elektron İyonizasyon (EI) modunda çalıştırılmış ve taşıyıcı gaz olarak da helyum(H; 9.32: 1,0 mL / dak) kullanılmıştır. Sıcaklık programı: 100 derecede 1 dakika bekleme 7 C'lik artışla 300 C'ye ulaşma ve burada 2 dakika bekleme, 8 C'lik artışla 320 C'ye ulaşma ve burada 4 dakika bekleme şeklindedir.

Kalibrasyon için 17 OCP karışımı 0.05 ng/mL, 1 ng/mL, 5ng/ml, 10 ng/mL, 25ng/ml, ve 50ng/mL konsantrasyonlarında hazırlanmış ve kalibrasyon eğrileri GC-MS'e bağlı bilgisayarda bulunan Mass Hunter programında tanımlanmıştır. Her bir OCP için kalibrasyon eğrisi eğimi (R²) 0,99'dan yüksek değer bulunmuştur.

3.4. Kalite Kontrol (Quality Control)

Arazi şahit örnekleri, numune alma, taşıma ve ekstraksiyon sırasında herhangi bir kirlenmeyi tespit etmek için kullanılmıştır. 550°C'de şartlandırılan Na₂SO₄, temizlenmiş cam kavanozlarda numune alma alanlarına taşınmış ve kapakları açılarak 10 dakika bırakılmıştır. Bunlar arazi şahidi olarak tanımlanmıştır. Laboratuvarında bekletilen bir başka şartlandırılmış Na₂SO₄ laboratuvar şahidi olarak tanımlanmıştır. Tüm çalışma boyunca, 5 laboratuvar ve 5 arazi şahidi toplanmıştır. Arazi ve labartuvar şahidinde tespit edilen OCP seviyeleri örnekte tespit edilenlerin %2 ve altında olduğu görülmüştür. Geri kazanım standardı pentachloronitrobenzene, PCB65 ve PCB168 kullanılmıştır. Bu geri kazanım standartları geri kazanım oranları ortalama %65.52, %72.63 ve %81,54 olarak hesaplanmıştır. OCP'lerin geliş süreleri, tanımlanan iyonlar, tayin sınır (LOD) ve ölçüm sınırı (LOQ) değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. OCP'lerin Geliş Süreleri ve Tanımlanan İyonlar (Detection Times of OCPs And Identified Ions)

OCP kirleticileri	Geliş Süreleri (dk)	Hedef İyon	Tanımlı İyon 1	Tanımlı İyon 2	LOD	LOQ
a-HCH	12,48	181	183	185	0,011	0,012
b-HCH	13,341	222	224		0,021	0,023
g-HCH	13,46	181	183	185	0,022	0,026
d-HCH	14,21	181	183	185	0,012	0,014
Heptaklor	15,49	272	274	270	0,009	0,012
Aldrin	16,44	263	265	261	0,011	0,014
Heptaklor epoksit_B	17,54	353	355	351	0,01	0,011
Endosülfan I	18,45	246	248	241	0,013	0,022
Dieldrin	19,09	246	248	318	0,015	0,018
pp'-DDE	19,59	263	265	243	0,011	0,014
Endrin	19,81	243	235	237	0,015	0,02
Endosülfan II	20,07	235	237		0,04	0,037
pp'-DDD	20,27	250	243		0,012	0,013
Endrin Aldehit	20,803	272	274	237	0,012	0,016
Endosülfan Sülfat	20,905	235	237		0,011	0,012
p-p'-DDT	22,15	227	228		0,015	0,027
Metoksiklor	24,4	261	262		0,013	0,016

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Domates Yetiştiriciliği ve Pestisit Kullanımı (Tomato Growing and Pesticide Use)

Beslenmemizde önemli rolü olan domates sadece çiğ tüketim ile değil; salça, ketçap, konserve gibi çeşitli ürünlerin yapımında da çok miktarlarda kullanılmaktadır. Dünya domates üretiminde Gıda ve Ziraat Organizasyonu'nun verilerine göre Çin 59,6 milyon ton üretim ile dünya domates üretimin ilk sırasını alırken, ikinci sırayı 20,7 milyon tonluk üretim ile Hindistan ve üçüncü sırayı 12,75 milyon tonluk üretimle Türkiye almaktadır (Ozcan vd., 2020). Dünya üzerinde önemli domates üreticisi olan ülkemiz her yıl 530 bin ton domates ihraç etmektedir (Ozcan vd., 2020). Ülkemizde özellikle Akdeniz kıyısı domates yetiştiriciliği açısından önemli bir yere sahiptir. Domates üretimi için en uygun iklimin yanı sıra kış aylarında seraların doğru konumlandırılması, modellenmesi ve ısı yalıtımı ile üretilen hasatın zayıfatı en aza indirilmiştir (Uçkan ve Arpacı, 2020). TÜİK verilerine göre Türkiye'de domates ekim alanının %11,1'lik alanını Antalya'dadır. 2018 yılında Antalya'da 2,41 milyon ton domates üretilmiştir ve ülkemizde domates yetiştiriciliği yapan bölgeler arasında birinci sırayı almıştır (Ozcan vd., 2020). Akdeniz ikliminin domates yetiştiriciliğine uygun olması, Antalya'nın domates yetiştiriciliğinde bir adım önde olmasını sağlamıştır.

Ülkemizin artan nüfusu, artan talep ve ürün ihtiyacı; daha fazla üretim ihtiyacına sebep olmuştur. Daha fazla üretim ve verim alabilmek için gübre ve ilaçlamalar kaçınılmaz olmuş ve pestisit ve dolayısıyla oluşturdukları riskleri de beraberinde getirmiştir (Ozcan vd., 2020). Türkiye'de pestisit kullanımı 2001 yılında 51210 ton/yıl iken, 2015 yılında 39026 ton/yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu tarım ilaçlarında ilk sırayı %40,96'lık pay ile fungusitler, %20,8 ile ikinci sırayı insektisitler ve üçüncü sırayı %20,05 ile herbisitler almıştır. Türkiye, dünya pestisit pazarında %1,33 pay sahibidir. Ülkemizde ise en çok pestisit kullanılan bölge %27 ile Akdeniz Bölgesi'dir (Katip, 2019). Pestisitlerin düşük dozlarda etkin rol oynadıkları ve bakanlıkça onaylı belgeleri mevcut olsa dahi, kullanılan kimyasalların kullanım kılavuzunda yazılan dozun üstünde kullanımı (bilinçsiz kullanım) topraktaki OCP seviyesini ve dolayısıyla sebep oldukları riski arttırmaktadır. Seraların kapalı ortam olması ve OCP'lerin uçucu ve toksik özelliklerinin de olmasından dolayı çalışanlar için de sağlık riski oluşturmaktadır (Sruthi vd., 2017). Seralarda çalışan işçilerin kullanılan kimyasallara maruziyetiyle meslek hastalıklarına yakalandıkları ve kronik rahatsızlıklara sebebiyet verebileceği bilinmektedir (Akyıldız vd., 2017).

4.2. Seraların Özellikleri (The Greenhouses Characterization)

Antalya Fettahlı bölgesinde toplam 56 adet serada örnekler toplanmış bu çalışmada 48 adet seranın yaz ve kış mevsimi sonuçları değerlendirilmiştir. Seraların özelliklerini değerlendirebilmek için sera sahiplerine anket yapılmış ve sonuçlar Tablo1'de listelenmiştir.

Yapmış olduğumuz çalışma Antalya/Fettahlı bölgesindeki domates yetiştiriciliği yapılan seralarda OCP miktarları araştırılmıştır. Tablo2'de yapmış olduğumuz saha çalışmasına ait seraların anket ile çeşitli kriterlerde kıyaslama tablosu verilmiştir. 24 adet cam kaplı sera ve 24 adet plastik kaplı sera olmak üzere toplam 48 adet serada OCP seviyeleri ölçülmüştür. Yapılan ankette 48 serada pestisit kullanılırken bir adet serada pestisit kullanılmadığını ile ilgili bilgi tespit edilmiştir. Gübre kullanım sıklığı genellikle 6-7 gün arasındadır. Cam kaplı seralarda kaplama malzeme ömrü 20-25 yıllık olup, plastik kaplı seralarda 3 ila 5 yıl arasında değişmektedir. Tüm seralar yazın tüm kapaklar açılarak havalandırma yapılırken kış aylarında ise minimum havalandırma yapılmıştır. Havalandırmalar 7 serada üstte ve yanda, 33 serada yanda ve 8 serada sadece üsttedir.

Numune alınan seraların %30'unda haftada bir veya daha fazla ilaçlama yapılmıştır. %28 'inde ise 10 günde bir ilaçlanmıştır. Gübre kullanımında ise tek çeşit gübre kullananların sayısı %28 iken diğer %72 lik kısım, birden çok gübre çeşidini kullanmıştır. Pestisit kullananların %28'i iki veya daha az çeşit pestisit kullanırken geriye kalan %72'si ikiden fazla pestisit çeşidi kullanmıştır. Seraların %76'lık bir çoğunluğu çift hasat yaparken %24 lük bir kesimi ise tek hasat yapılmıştır.

Pestisitlerin verimliliği arttırmak için kullanılması önemli bir avantaj olurken toprağa verdikleri zararlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan böcek ilacı üzerine yapılan bir çalışmada az miktarlarda da olsa topraktaki bakteri, maya-küf gibi ayrıştırıcıların miktarına olumsuz etki ettiği gözlemlenmiştir (Güven ve Koç, 2020). Bu böcek ilacını, yapılan anket çalışmasıyla toplam 48 seranın 30 tanesinde kullanıldığı tespit edilmiştir. Araştırmadaki kimyasal kullanan 30 seranın ilaçlanma sıklığı olarak haftada bir olduğu belirtilmiştir. Yine kullanılan pestisitlerden bir tanesinin, güvenlik bilgi formunda da belirtilen soluma durumunda fare deneyinde, LD50 deney sonucu 6,2mg/L, LC50 değeri 5000mg/kg olarak belirtilmiştir. Genellikle domates, patlıcan ve salatalıkların yapraklarındaki yeşil kurt, güve, pamukkurdu gibi haşeratların uzaklaştırılması için günlük 12g/L sera içi kullanım önerilir ve çok düşük dozlarının etkili olduğu belirtilmiştir. Bu kimyasal ilacının yapılan anket

sonucunda toprak numunesi alınan 48 seradan 14 tanesinde 10 günde bir sıklıkla aynı pestisit kullanıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. Örnekleme Yapılan Seraların Özellikleri (Features of The Sampled Greenhouses)

Kaplama Malzemesi	Cam=24 sera , Plastik=24 sera
Plastik Kaplamanın Yaşı	5 sera (<1 yıl), 2(1-2 yıl), 5 sera (2-3 yıl), 7 sera (3-5 yıl), 5 sera(5-7 yıl)
Cam Kaplamanın Yaşı	1 sera (<1 yıldan küçük), 1 sera (1-2 yıl), 2 sera (10-15 yıl), 3 sera (15-20 yıl), 10 sera (20-25 yıl), 5 sera (25-30 yıl), 2 sera (30-35 yıl)
Gübre	48 sera (N,P,K, kalsiyum, mikro elementler, sıvı organik gübre)
Gübre Kullanım Sıklığı	9 adet serada (3-5 gün), 30 adet serada (6-7 gün), 4 adet serada (8-10 gün), 3 adet serada (11-14 gün), 2 adet serada (14-21 gün) aralıklarla gübre kullanılmıştır.
Pestisit	47 sera :(Decis, Alpedo, Altakor, Mospilan, Torpedo, M45, Belair, Belcate) pestisitleri kullanılmıştır. 1 sera : Pestisit kullanılmamıştır
Pestisit Kullanım Sıklığı	<u>Yaz Sezonu</u> <u>Kış Sezonu</u> 13 sera (Haftalık) 48 sera (Haşere görüldükçe) 14 sera (10 günde bir) 3 sera (iki haftada bir) 18 sera (Haşere görüldükçe)
Havalandırma Türü	7 sera :(Üstten ve yandan), 33 sera (Yan), 8 sera (üst)
Havalandırma Süresi	48 sera (Yaz sezonunda tüm camlar)
Isıtma türü	48 sera (Odun ve kömür)

Bir diğer kullanılan pestisit, kullanım talimatında, 30gr/100L olarak kullanılması önerilmiş olup beyazsinek vb haşeratları öldürücü olarak kullanılmakta ve 14-21 gün arasında koruma sağladığı bilgisini içermektedir. Ancak anket verilerinden bu ilacı 39 seranın kullandığı; 11 adet serada haftada bir sıklıkla, 12 adet serada 10 günde bir sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Bunun yanında 16 adet serada düzenli kullanım sıklığının olmadığı görülmüştür.

4.3. Seralarda Toplam OCP Seviyeleri (Total OCP Levels in the Greenhouses)

Numune alınan seralardaki toplam 48 adet seraya ait toplam OCP miktarları, Şekil 1'de sunulmuştur. Örnekleme yapılan seralarda yaz ve kış toplam OCP seviyelerinin ortalaması en yüksek 43 no'lu serada 181,10 ng/g ve bunu takiben 44 no'lu serada 148,07 ng/g ve 45 no'lu serada 116,56 ng/g olarak ölçülmüştür. Bu 3 sera haricinde ortalama OCP seviyesi hesaplandığında 12,86 ng/g olarak hesaplanmıştır. Bu 3 serada ölçülen OCP'lerin diğer seralarda ölçülen OCP'lerden yüksek çıkmasının sebebi p-p'-DDT kirleticinin yüksek bulunmasıdır. p-p'-DDT kirleticisi 1982 yılında Türkiye'de kullanımı yasaklanmıştır (Agar vd., 1991). Ancak yine de 2012 yılında Aydın'da tarım arazilerinde yapılan bir çalışmada p-p'-DDT seviyesi, 0-30cm derinlikten alınan toprak numunesinde $0,732 \pm 2,22$ ng/g olarak ölçülmüştür (Turgut vd., 2013). Çevre ortamlarında hala DDT bulunmasının sebebi kalıcı özelliklerinden dolayı doğada uzun yıllar parçalanmadan kalması veya yasa dışı kullanım ihtimali olabilmesidir (Jiang vd., 2009; Megharaj vd., 2000). p-p'-DDT'nin yarılanma süresi 15-20 yıldır (Sofuoğlu vd., 2001). Toplam OCP seviyesi diğer seralara göre çok yüksek çıkan bu üç sera cam kaplı seralardır ve 15 yıl ila 30 yıl arasında bu serada seracılık faaliyeti yapılmaktadır. En yüksek OCP konsantrasyonu 181,1 ng/g olarak ölçülen sera hakkındaki bilgileri içeren ankette; 23 yıllık cam kaplı seraya ait olduğu, haftada bir sıklıkla 7 farklı gübre kullanıldığı ve ilaçlama sıklığının her hafta olduğu ve 4 farklı böcek öldürücü kullandığı belirlenmiştir. Yine bu seralar kadar eski olan (26 yıl) 47 no'lu serada toplam OCP 24,17 ng/g olarak ölçülmüştür. En düşük OCP konsantrasyonu 3.31 ng/g olarak ölçülen 5 no'lu 7 yıldır faaliyet gösteren plastik örtülü serada anket verilerine göre, tek çeşit gübre kullanıldığı, ilaçlama sıklığı 10 günde bir olduğu ve 5 çeşit böcek öldürücü kullanıldığı belirlenmiştir.

24 adet cam sera için kış mevsimindeki ortalama Σ OCP miktarı 36.01 ng/g olarak ölçülürken yaz mevsiminde 14.08 ng/g olarak ölçülmüştür. 24 adet plastik örtülü serada yaz mevsiminde ortalama Σ OCP 12.53 ng/g olarak ölçülürken kış mevsiminde 24.96 ng/g olarak ölçülmüştür. Cam seraların ortalama yaşı (faaliyet süresi) 20 iken plastik örtülü seraların ortalama yaşı 3 olarak anket verilerinden tespit edildiği verisi de OCP konsantrasyonunun yoğunluğunu açıklamaktadır. Uzun süredir faaliyet gösteren seralarda daha fazla kimyasal ilaç kullanımı, Σ OCP konsantrasyonunu da arttıran sebeplerdendir. Cam ve plastik seraların kış mevsimi için kıyaslamasını yapacak olursak cam örtülü seraların plastik örtülü seralardan daha fazla Σ OCP miktarına sahip olduğunu görebiliriz. Kış mevsiminde de cam örtülü seraların plastik örtülü seralardan daha fazla OCP miktarına sahip olduğu görülmektedir. Cam seraların ortalama faaliyet süreleri (20 yıl) ve plastik seraların ortalama faaliyet süreleri (3

yıl) incelendiğinde cam örtülü sera topraklarında daha uzun süre kimyasala maruz kalındığı, plastik seralarda bu sürenin daha kısa süre olmasından dolayı yaz ve kış mevsimlerinde cam örtülü seralardan daha düşük ölçüldüğü belirlenmiştir.

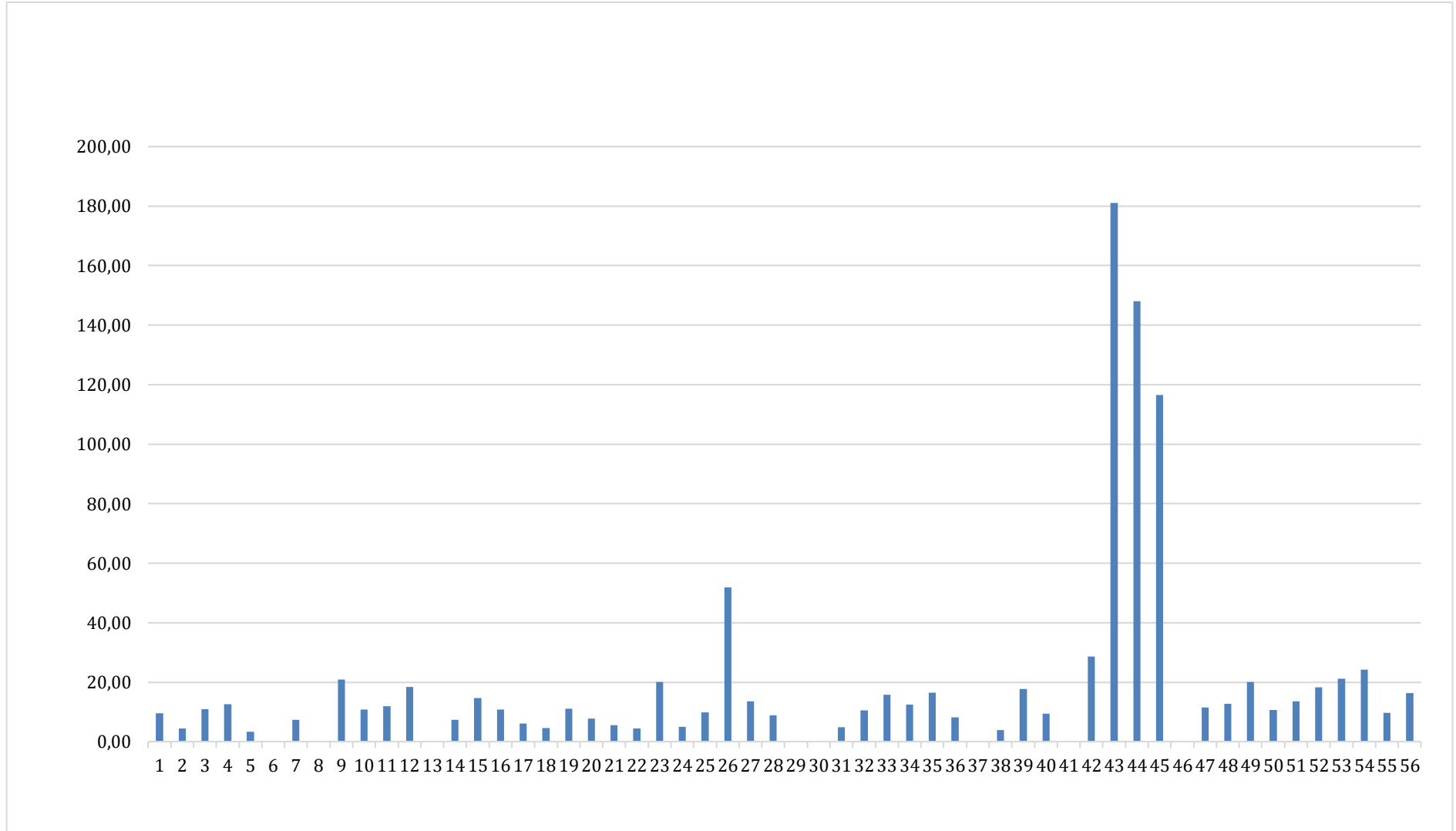
48 serada kış ölçümleri 337.48 ng/g ile 2.32 ng/g arasında değişirken yaz ölçümleri 42.24 ng/g ile 1.29 ng/g aralığında hesaplanmıştır. Kış mevsiminde ortalama OCP seviyeleri 31.48 ng/g iken yaz ölçümlerinde bu ortalama düşerek 13.18 ng/g olarak ölçülmüştür. Yaz ve kış ayındaki tutarsız en yüksek ve en düşük miktarlar kıyaslandığında birbiri ile anlamlı sonuçlar elde edilememiştir.

Uzun yıllardır ekim yapılan bu seralarda yüksek OCP seviyelerinin ölçülmesi OCP'lerin yasaklanmasından önce, bilinçsiz bir şekilde kullanımının hala bu seralarda yüksek seviyelerde OCP ölçülmesinin sebebi olabilir. Ancak eğer ölçtüğümüz OCP kirleticileri toprakta kalıntı p-p'-DDT'den dolayı yüksek çıksaydı yaz ve kış mevsimlerinde yapılan ölçümler arasında çok fark oluşmazdı. Bu seralarda kış sezonu toplam ortalama OCP seviyesi 32,25 ng/g iken yaz ölçümlerindeki toplam ortalama OCP miktarı 12,99 ng/g olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak yüksek seviyede OCP ölçülmesinin sebebi uzun yıllardır tarım yapılan toprakta bilinçsiz ilaç kullanımı olabileceği gibi şu anda da kış mevsiminde toprağın bu ilaçlara maruz kaldığı ihtimalini güçlendirmektedir.

48 seranın anket verilerine göre 24 plastik kaplı seralarda ortalama yaşı 2, gübre kullanım sıklığı 3-5 günde bir, kimyasal kullanım sıklığı haftada bir olarak belirlenmiştir. 24 cam seranın ortalama yaşı 16 yıl ve üzeri olduğu, gübre kullanım sıklığı 3-5 günde bir, kimyasal kullanım sıklığı haftada bir olarak belirlenmiştir. Cam kaplı seralarda ortalama OCP değeri 24.73 ng/g iken plastik kaplı seralarda 14.58ng/g olarak ölçülmüştür. Cam seraların ortalama yaşı 20 yıl iken plastik örtüye sahip seralarda ortalama yaş 3 yıl olarak tespit edilmiştir. Bu da cam kaplı seraların faaliyetlerinin uzun yıllardır üretime devam ettiği ve bu süreçte kullanılan kimyasalların (OCP'lerin) toprakta uzun yıllar bozunmaması ile ifade edilmiştir.

Seralarda yaz ve kış olmak üzere iki farklı mevsimde alınan örnekler incelendiğinde yaz mevsimi ortalamasının 12,99 ng/g iken kış mevsimi ortalamasının 33,86 ng/g olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalarda yaz mevsiminde biyolojik canlılığın ve böcek üremelerinin daha fazla olduğu tespit edilmiş ve yaz aylarında bu böceklerin artışına karşın daha fazla ilaçlama ihtiyacı duyulduğu görülmektedir (Vinet ve Zhedanov, 2011). Domates yetiştiriciliğinde en verimli sıcaklığın 22-26°C'de sağlanmaktadır (Ata, 2015). Kış aylarında Antalya'daki sıcaklık ortalaması 14-18°C aralığında olmasından dolayı, domates üretim veriminin düşmemesi için yeterince havalandırma sağlanamamaktadır. Yaz mevsiminde daha fazla ilaçlamaya karşın, sonuçların kış ayından daha az olmasının sebebi daha fazla havalandırma yapılması, güneş ışığı ve sıcaklık katan dolayı daha fazla bozunma olması ile ilişkilendirilebilir (Ata, 2015).

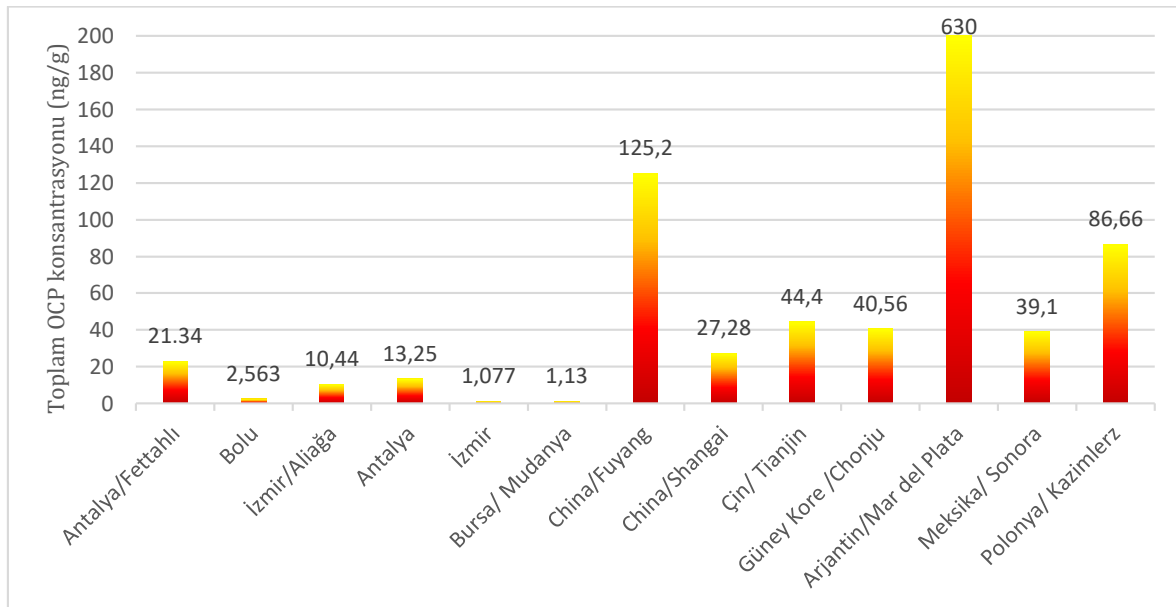


Şekil 1. Antalya/Fettahlı İlçesinde Bulunan 48 Seraya Ait Toplam OCP Seviyeleri (Total OCP Levels of 48 Greenhouses In Antalya / Fettahlı District)

4.4. Türkiye ve Dünya'da OCP miktarları ve Kıyaslaması (OCP Levels and Comparison with Turkey and the World)

Türkiye'de yapılan ölçümlerdeki toplam OCP miktarları ile Dünya üzerindeki farklı ülkelerin OCP miktarları Şekil 2'de verilmiştir. Her ne kadar her çalışmada farklı sayılarda OCP ölçülsede dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan ölçülen Endrin, DDT, Aldrin ve HCH, Endosulfan kirleticileri bütün çalışmalarda ortak ölçülmüştür. Bu sebeple yapılan bu çalışmada ölçülen değerlerin Türkiye ve dünyada ölçülen toplam OCP seviyeleri ile kabaca da olsa bir kıyaslama yapabilmemizi sağlamaktadır.

Literatürde Türkiye'de gerçekleştirilen benzer araştırmalar değerlendirildiğinde İzmir Aliğa tarım toprağında a-HCH, b-HCH, gHCH, d-HCH, heptachlorepoxyde, endosulfanI, endosulfanII, endosulfane sulphate, dieldrin, pp' DDT, pp' DDD, parametreleri olmak üzere 10 farklı OCP ölçümü yapılmış ve toplam OCP miktarı 10,44 ng/g bulunmuştur (Bozlaker vd., 2009). Bolu'da alınan toprak numunelerinde a-HCH, gHCH, d-HCH, endosulfanII, Endosulfane Sulphate, pp' DDT, pp' DDD, Dieldrin parametreleri ölçülmüş ve toplam OCP miktarı 2,56 ng/g bulunmuştur (Karadeniz vd., 2015). Antalya'da sera toprağında yapılan çalışmalarda p,p'-DDE, p,p'-DDD, p,p'-DDT, metoksiklor parametreleri ölçülmüş ve toplam OCP miktarı 13,25 ng/g olarak saptanmıştır (Gedik vd., 2016). Pestisit kullanımı bölgesel, tarımsal ve iklimsel özelliklere göre değiştiği için ülkemizin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalarda farklı seviyelerde OCP ölçülmesi beklenmektedir. Örneğin; Akdeniz ve Ege, Türkiye toplam pestisit kullanımının % 24'ü ve % 19'u Orta Anadolu ve % 19'u; Karadeniz ve Doğu Anadolu sırasıyla % 11 ve % 10'unu oluşturmaktadır (Çok vd., 2011). Bu durum Akdeniz bölgesinde tarım arazilerinde yapılan çalışmalarda Türkiye'nin diğer bölgelerine göre daha yüksek ölçülmesini açıklayabilmektedir.



Şekil 2. Dünya'da Farklı Ülkelerde Tarım Toprağında Ölçülen Toplam OCP Seviyeleri (Total OCP Levels Measured in Agricultural Soils in Different Countries in The World)

Ülkemiz dışında ölçülen sonuçlarda en yüksek değer Arjantin'in Mar del Plata kentinde tarım toprağında a-HCH, b-HCH, gHCH, d-HCH, heptachlor, heptachlorepoxyde, endosulfanI, endosulfanII, endosulfane sulphate, dieldrin, endrin aldehide, pp' DDT, pp' DDD, pp' DDE olmak üzere 17 parametre analiz edilmiş ve toplam OCP seviyesi 638,48ng/g olarak saptanmıştır (Karina vd., 2003). Çin/Tianjin'de kırsal alanda alınan numunelerde a-HCH, b-HCH, g-HCH, d-HCH, pp' DDE, pp' DDT parametreleri analiz edilmiş ve 44,4 ng/g toplam OCP saptanmıştır (Wang vd., 2006). Çin/Şangay'da yapılan toprak numunelerinde pp' DDD, pp' DDE, pp' DDT, a-HCH, b-HCH, gHCH, d-HCH, heptachlor, heptachlorepoxyde, endosulfanI, endosulfanII, aldrin ve dieldrin parametreleri analiz edilmiş ve toplam OCP miktarı 27,28 ng/g olarak saptanmıştır (Jiang vd., 2009). Çin/Fujang şehrinde yapılan fındık ekili toprak numunelerinde numunelerde a-HCH, b-HCH, g-HCH, d-HCH, pp' DDD, pp' DDE, pp' DDT parametreleri ölçülmüş ve toplam OCP miktarı 125,2 ng/g toplam OCP ölçülmüştür (Han vd., 2017). Meksika/ Sonora kentinde tarım arazisinden alınan numunelerde b-HCH, aldrin, endrin, endosulfanI, pp' DDD, pp' DDE, pp' DDT, metoxychlore parametreleri analiz edilmiş ve toplam OCP miktarı 39,1 ng/g olarak tespit edilmiştir. Güney Kore/ Chonju kentindeki endüstriyel araziden alınan toprak numunesinde, b-HCH, g-HCH, Heptachloroxide, Aldrin parametreleri analiz edilmiş ve toplam OCP miktarı 40,56 ng/g olarak tespit edilmiştir (Kim vd., 2001). Polonya/ Kazimierz kentindeki kırsal alan toprak numunesinde a-HCH, b-HCH, g-HCH, pp' DDD, pp' DDE, pp' DDT parametreleri analiz edilmiş ve toplam OCP miktarı 86,66 ng/g olarak tespit edilmiştir (Maliszewska-Kordybach vd., 2013).

Çin'in domates üretimindeki Dünya üzerindeki arzın önemli bir kısmını oluşturması, ilaçlama ihtiyacını da beraberinde getirmekte ve kullanılan ilaçların toplam OCP seviyelerine etkisi Şekil 2'de görülmektedir (Choi vd., 2008; Han vd., 2017; Yu vd., 2013; Zheng vd., 2010)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Toplam 48 seradan alınan toprak numunelerinde toplam OCP seviyeleri belirlenmiş ve her sera için yapılan anket çalışmaları ile ilişkilendirme yapılmıştır. Toplam OCP seviyeleri en yüksek 181,10 ng/g ve en düşük 3,31 ng/g olarak ölçülmüştür. En yüksek seviyelerin ölçüldüğü seraların cam kaplama malzemesi olan 15-30 yıldır faaliyette olduğu en düşük ölçümlerin ise plastik kaplı seralar ve 1-3 yıldır sera olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek toplam OCP seviyesine sahip olan üç seranın toplam 4 adet pestisit kullandığı görülmüştür.

Yaz ve kış ayı mevsimsel farklılıklarına göre ilaçlamaları incelendiğinde yaz ayında ortalama 5 kimyasal kullanıldığı, kış ayında ortalama 4 kimyasal kullanıldığı anket sonuçlarıyla tespit edilmiştir. Yaz ve kış ayları ortalama toplam OCP miktarları kıyaslandığında kış ayında iki kat OCP belirlenmiştir. Yaz aylarında daha fazla havalandırma yapıldığı, kış aylarında ise domates üretim verimi için sıcaklığın düşmemesi için daha az havalandırma yapılması da anket verilerinde yer almaktadır. Yapılan anket verileri ve deney sonuçları kıyaslandığında, OCP miktarının azaltılması için havalandırmanın artırılması gerekmektedir.

Pestisitlerin; uzun süre faaliyetini devam ettiren sera ve tarım alanlarında, bilinçsiz kimyasal kullanan ve kimyasalların, kullanım kılavuzunda belirtilenden fazla kullanılan toprak numunelerinde daha fazla olduğu görülmektedir. Tespit edilen yüksek OCP miktarlarının azaltılması için daha az kimyasal kullanımı ve gübre kullanımının yanı sıra bilinçli ilaç kullanımına dikkat edilmelidir. Bilinçsiz kullanılan kimyasalların yanı sıra kaçak kullanılan yasaklı kimyasalların olabileceği ya da yasaklanmadan önce kullanılan kimyasalların çok fazla miktarda kullanılarak toprakta bozunmadığı ve numunelerde tespit edilen yüksek OCP sonuçlarının sebebi olduğu düşünülmektedir. İnsan sağlığı ve diğer canlıların yaşam alanlarını ve çevre sağlığını tehdit eden OCP'ler, fazla ve bilinçsiz kullanımı ile toprakta uzun yıllar kalabilmektedir. Bu nedenle topraktaki kalıntıları araştırmak amacıyla sürekli kontroller ve analizler sağlanmalıdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın finansal desteği, Türkiye (TÜBİTAK) 116Y519 numaralı proje tarafından sağlanmıştır. Yazarlar TÜBİTAK'a, sera sahiplerinin anket çalışmasındaki katkıları ve sera örneklenmesine vermiş oldukları izinlerden dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Agar, S., Ece H., Aydınoglu H., Temel O. 1991. Pestisit kullanımının tarihçesi, bugünü ve geleceği. *Turkish Journal of Entomology*, 15 (4), 247-56.
- Akça O., 4,4'-DDE and Endosulfan Levels in Agricultural Soils of the Çukurova Region, Mediterranean Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.
- Altikat A., Turan T., Ekmekyapar Torun F., 2009. Türkiye'de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(2),87-92.
- Bozlaker A., Müezzinoğlu A., Odabaşı M., 2013. Processes affecting the movement of organochlorine pesticides (OCPs) between soil and air in an industrial site in Turkey, *Chemosphere*.
- Choi S., Deuk S., Baek S.Y., Chang Y. S., Wania F., Ikonmou M.G., Yoon Y.J., Park B.K., Hong S., 2008. Passive air sampling of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides at the Korean arctic and antarctic research stations: Implications for long-range transport and local pollution, *Environmental Science and Technology*, 42(19), 7125-31.
- Çok İ., Yelken Ç., Durmaz E., Üner M., Sever B., Satar F., 2011. Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide levels in human breast Milk from the mediterranean city Antalya, Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.
- Güven E., Bolat D., Gedik K. Karakuş P., 2006. Zirai Bir Bölgede Toprakta Yasaklı OCP Mevcudiyeti ve Akıbeti, *Çevre Bilim ve Teknoloji, Teknik Dergi, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Çevre Mühendisleri Odası*, 1(1), 41-49.
- Güven, E., Koç, İ., 2020. Diversity of non-targeted nematode, bacteria and microfungi populations in soil after some pesticide treatment, *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences* 30(2), 252-65.
- Han Y., Mo R., Yuan X., Zhong D., Tang F., Ye C., Liu Y., 2017. Pesticide residues in nut-planted soils of China and their relationship between nut/soil, *Chemosphere*, 42-47.
- Jayaraj R., Megha P., Sreedev P., 2016. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment, *Interdisciplinary Toxicology*, 90-100.

- Jiang, Yu Feng, Jia Y., Wang F. 2009. Occurrence, distribution and possible sources of organochlorine pesticides in agricultural soil of Shanghai, *Journal of Hazardous Materials*, 170 (2-3), 989-97.
- Karadeniz H., Yenisoy-Karakaş S., 2015. Spatial distributions and seasonal variations of organochlorine pesticides in water and soil samples in Bolu, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3).
- Kim J., Smith A., 2015. Distribution of organochlorine pesticides in soils from South Korea, *Chemosphere*, 25 (6), 888-900.
- Maliszewska-Kordybach B., Pawlas A., 2013. The levels and composition of persistent organic pollutants in alluvial agriculture soils affected by flooding, *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(12), 9935-48.
- Megharaj M., Kantachote D., Singleton I., Naidu R., 200. Effects of long-term contamination of DDT on soil microflora with special reference to soil algae and algal transformation of DDT, *Environmental Pollution*, 109(1), 35-42.
- Sanlı G.E., Tasdemir Y., 2020. Seasonal variations of organochlorine pesticides (OCPs) in air samples during day and night periods in Bursa, Turkey, *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2142-53.
- Satoh T., Gupta C., 2011. Anticholinesterase Pesticides: Metabolism, Neurotoxicity, and Epidemiology, *Anticholinesterase Pesticides: Metabolism, Neurotoxicity, and Epidemiology*, 1-9.
- Sofuoglu A., Odabasi M., Tasdemir Y., Khalili N., Holsen T., 2001. Temperature dependence of gas-phase polycyclic aromatic hydrocarbon and organochlorine pesticide concentrations in Chicago air, *Atmospheric Environment*, 35(36), 6503-10.
- Tiryaki O., 2016. Türkiye’de Yapılan Pestisit Kalıntı Analiz ve Çalışmaları, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 32(1),72-82.
- Toker R., Gölükçü M., Tokgöz H., 2006. Domatesin Beslenme Özellikleri ve Gıda Sanayisinde Değerlendirilmesi, *Türkiye Tohumcular Birliği*, 10(1), 46-51.
- Turgut C., Cutright T., Mermer S., Atatamir L., Turgut N., Usluy M., Erdoğan O., The source of DDT and its metabolites contamination in Turkish agricultural soils, *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2), 1087-93.
- Wang X., Piao X., Chen J., Hu J., Xu J. Tao S., 2006. Organochlorine pesticides in soil profiles from Tianjin, China, *Chemosphere*, 64(9), 1514-20.
- Yu H.Y., Li F.B., Yu W.M., Li Y.T, Yang G.Y., Zhou S.G., Zhang T.B., Gao Y.X, Wan H.F., 2013. Assessment of organochlorine pesticide contamination in relation to soil properties in the Pearl River Delta, China, *Science of the Total Environment*, 447, 160-68.
- Zhang A., Luo W, Sun J., Xiao H, Liu W., 2015. Supplementary Material for Distribution and Uptake Pathways of Organochlorine Pesticides in Greenhouse and Conventional Vegetables, *Environmental Science and Engineering*, 505, 1142-47.
- Zhou Q., Wang J., Meng B., Cheng J., Lin G., Chen J., Zheng D., Yu Y., 2013. Distribution and sources of organochlorine pesticides in agricultural soils from central China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 163-170.



IDENTIFYING THE IMPROVEMENT POSSIBILITIES OF A FLUIDIZED BED BOILER WITH EXERGY ANALYSIS

Mesut YAZICI^{1*}, Fatih Selim BAYRAKTAR², Ramazan KÖSE³

^{1,2} Kütahya Dumlupınar University, Simav Faculty of Technology, Department of Energy Systems Engineering, Kütahya, Turkey

³ Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kütahya, Turkey

Keywords

*Fluidized Bed,
Boiler,
Exergy Efficiency,
Exergy Destruction.*

Abstract

In this study, a circulation-type fluidized bed boiler's exergy performance in a power generation plant was investigated. The boiler was examined not as a whole but by dividing it into its sub-systems. In the analysis, the sub-systems' exergy performance was evaluated in terms of criteria such as exergy efficiency, exergy destruction, fuel depletion ratio, relative exergy destruction ratio, exergetic improvement potential, and productivity lack ratio. In addition, the effect of different dead state temperatures on these exergy performance criteria is compared and discussed. As a result of the analysis, the highest exergy efficiency was achieved in the furnace with 80.2% at 6°C, while the highest exergy destruction occurred in the furnace as 18,118.9 kW at 27°C. The highest exergetic improvement potential was realized in Economizer-II with 11,593.82 kW at 6°C, and the lowest in Economizer-I at 27°C with 631.9 kW. The effect of the increase in the dead state temperature on the exergy performance criteria applied to boiler sub-systems was variable. It showed its effect as an increase in some sub-systems and a decrease in others.

EKSERJİ ANALİZİ İLE BİR AKIŞKAN YATAKLI KAZANIN İYİLEŞTİRME OLANAKLARININ TESPİT EDİLMESİ

Anahtar Kelimeler

*Akışkan Yatak,
Kazan,
Ekserji Verimi,
Ekserji Yıkımı.*

Öz

Bu çalışmada, bir güç üretim tesisinde kullanılan dolaşım tipli akışkan yataklı kazanın ekserji performansı araştırılmıştır. Kazan bir bütün olarak değil, alt sistemlerine ayrılarak incelemeye tabi tutulmuştur. Analizde alt sistemlerin ekserji performansı, ekserji verimliliği, ekserji yıkımı, nispi ekserji yıkımı oranı, yakıt tüketme oranı, ekserjetik gelişim potansiyeli ve üretkenlik eksikliği oranı gibi kriterler bakımından değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı ölü hal sıcaklıklarının bu ekserji performans kriterleri üzerindeki etkisi kıyaslanmış ve tartışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en yüksek ekserji verimi %80,2 ile 6°C'de yanma odasında, en yüksek ekserji yıkımı ise yine yanma odasında 27°C'de 18.118,9 kW olarak gerçekleşmiştir. En yüksek ekserjetik gelişim potansiyeli 11.593,82 kW ile 6°C'de eko-II'de, en düşük ise 631,9 kW ile 27°C'de eko-I'de gerçekleşmiştir. Ölü hal sıcaklığındaki artışın kazan alt sistemlerine uygulanan ekserji performans kriterleri üzerindeki etkisi değişken olmuştur. Kimi alt sistemde artış kimi alt sistemde ise düşüş olarak etkisini göstermiştir.

Alıntı / Cite

Yazıcı, M., Bayraktar, F. S., Köse, R., (2021). Identifying The Improvement Possibilities Of A Fluidized Bed Boiler With Exergy Analysis, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(3), 911-922.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Yazıcı, 0000-0001-6379-8396
F.S. Bayraktar, 0000-0002-8672-3511
R. Köse, 0000-0001-6041-6591

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	15.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: mesut.yazici@dpu.edu.tr, +90-274-443-5082

1. Introduction

No matter what energy source is used, power generation facilities are high-cost investments in terms of installation and operation. More investments are required to meet the increasing energy consumption in parallel with the growing population and industrialization. Beyond building new energy generation facilities, maximizing energy savings and more efficient use of energy-producing and consuming machines will constitute the strongest part of a sustainable energy policy.

In industrial plants that produce electricity or steam and both, boilers play a key role. In these facilities, the main goal is to generate more power with the same amount of fuel. For this, it is necessary to follow the annual efficiency changes of the boilers. At the same time, situations that lead to inefficiency should also be prevented. At first, the energy analysis method based on thermodynamics' first law was one of the most used tools. Although only the first law analysis is a useful tool at determining the amount of energy use, it remains helpless, especially in detecting inefficiencies and how much more existing efficiency can be improved. At this point, exergy analysis based on the second law of thermodynamics provides essential convenience. Many researchers have benefited from exergy analysis of different systems (Kolip and Savas, 2010; Akkurt and Kahraman, 2017; İpek *et al.*, 2017; Topal *et al.*, 2017)

In recent years, exergy analysis, which has been sought after by researchers, has become a useful diagnostic method for detecting inefficiencies in plants. With the exergy analysis, the components with high exergy destruction in the examined plants can be determined, and thus, prevention can be taken. Thermal power plants can be examined by dividing them into sub-systems, and only one component in the facility can be examined by exergy analysis. In many parts of the World, researchers have tried to demonstrate the performance of thermal power plants in operation by applying exergy analysis. Some of these are as follows; ten different power plants in Turkey (Erdem *et al.*, 2009), 50 MW Neyveli thermal power plant (Ganapathy *et al.*, 2009), 62.5 MW thermal power plant burning pulverized coal (Suresh *et al.*, 2011). Li and Liu (2012) and Wu *et al.* (2014) applied exergy analysis in the fuel product concept to the 300 MW thermal power plant and in component and process concept to 600 MW thermal power plant, respectively. Wang *et al.* (2014) applied exergy analysis to a 600 MW supercritical coal-burning thermal power plant. Gürtürk and Oztop (2016), applied exergy analysis to a cogeneration power plant. In their study, they took the reference temperature to be 20°C (293 K). Pattanayak and Sahu (2015) calculated and the exergy efficiency and exergy destructions of a pulverized coal fired thermal power plant in the design (500 MW) and operating conditions (460 MW). Si *et al.* (2017) examined the exergy efficiency, exergy loss coefficient, exergy loss ratio, and exergy distribution of a 100 MW double re-heating ultra-supercritical thermal power plant. Also, they investigated the effect of load, feedwater temperature, main steam and reheat steam temperature and pressures on exergy efficiency. Xiong *et al.* (2011) compared the exergy destruction values of conventional and oxy-fired pulverized thermal power plant subcomponents. Zhou *et al.* (2019) conducted a comprehensive energy and exergy analysis for conventional steam power plants (TSPP) and supercritical carbon dioxide (S-CO₂) power plants.

Previous studies have shown that the greatest exergy destructions in power generation facilities occurred in the boiler section. Thus, many researchers focused solely on the boiler part rather than examining the entire facility. Hepbasli (2009) created an exergetic analysis model for fluidized bed boilers and made calculations for 65 t/h steam capacity oil-shale fired boiler based on actual data. Callak *et al.* (2015) performed conventional and advanced exergy analysis using actual data from a fluidized bed boiler and heat recovery unit. Behbahaninia *et al.* (2017) proposed a new method for exergy diagnosis of steam boilers by adapting the ASME ptc 4.1 methods to exergy analysis. Thus, they estimated the exergy efficiency and exergy losses. Zhang *et al.* (2018) created an exergy analysis model to improve coal-fired industrial boilers' operating performance.

In addition to proving itself in detecting inefficiencies, exergy analysis is also preferred in decision-making processes and optimization processes. Several authors have made studies to question how the boilers will show their effectiveness under actual operating conditions. Sengupta *et al.* (2007) applied exergy analysis to a 210 MW thermal power plant based on actual data obtained under different conditions, load, and condenser pressure as well as with and without regenerative heaters and in different turbine management settings and examined the performance change. Kopac and Hilalci (2007) applied exergy analysis to investigate ambient temperature's effect on efficiency errors and thermal power plant sub-systems' rational efficiency. Aljundi (2009) investigated the exergy efficiency and exergy destruction change of all 396 MW thermal power plant sub-systems at different ambient temperatures. Eskin *et al.* (2009) applied exergy analysis to the fluidized bed boiler and sub-systems of the 7.7 MW thermal power plant. In addition, the effect of ambient temperature and excess air amount on exergy efficiency has been investigated. Regulagadda *et al.* (2010) conducted analyses at different operating pressures, flow rates, and temperatures to determine the parameters that maximize a 32 MW coal-fired power plant's performance. Sharma and Singh (2016) investigated the exergy losses and efficiencies of the boiler sub-systems

such as superheater, evaporator, and economizer in a combined cycle power plant at different dead-state conditions. Ozdil et al. (2016) investigated the effect of change in ambient temperature on the first and second law efficiency of a 6.5 MW power plant. Elhelw et al. (2019) investigated the effect of lowering condenser and IPT inlet pressure, increase in S/H steam temperature entering HPT, and increase in S/H steam temperature entering both HPT and IPT on exergy destruction, second law efficiency, and power savings. The calculations have been made for the operating conditions of the facility under full and half load conditions. Eskin and Kılıç (1996) aimed to determine the effect of cooling tubes placed at different heights of the boiler on the fluidized bed boiler's efficiency in real-time conditions and inefficiencies with exergy analysis.

Previous studies have shown that the place where exergy destruction occurs most in the electricity generation process is the boiler section, where the heat is generated. As a result, it is necessary to separate the boiler into sub-systems and apply exergy analysis to each of them separately to determine in which parts and in what amount the exergy destructions occur in the boiler. Also, it will be useful to determine how much the exergy performance will be affected by the changes in actual operating conditions of the system under examination. However, previous studies have been limited. In this study, exergy analysis has been applied to a fluidized bed boiler with its sub-systems. The effect of change in environmental temperature on exergy performance criteria such as exergy efficiency, exergy destruction, fuel depletion rate, relative exergy destruction, exergetic improvement potential, and productivity lack was examined. Thus, it is aimed to identify inefficient points in the boiler and to facilitate the decision-making process for improvement studies.

3. Material and Method

3.1. System Description

The system examined in this study is a circulation-type fluidized bed boiler located in a power generation facility in Kütahya, Turkey. The main use of the boiler is to provide steam for the production process. In addition, the electrical energy requirement of the machine park in the process is met by converting the steam generated in the boiler into electricity in a turbine-generator group. In this study, the boiler and its sub-systems are examined as given in Figure-1. Thus, the turbine-generator group, condenser, pumps, and other auxiliary components were not examined. Steam is produced in the boiler at a temperature of 448°C with a capacity of 65 tons/h. In this study, the boiler is divided into sub-systems as furnace, superheater-I, superheater-II, economizer-I, economizer-II, and air heater to detect inefficient points in the boiler.

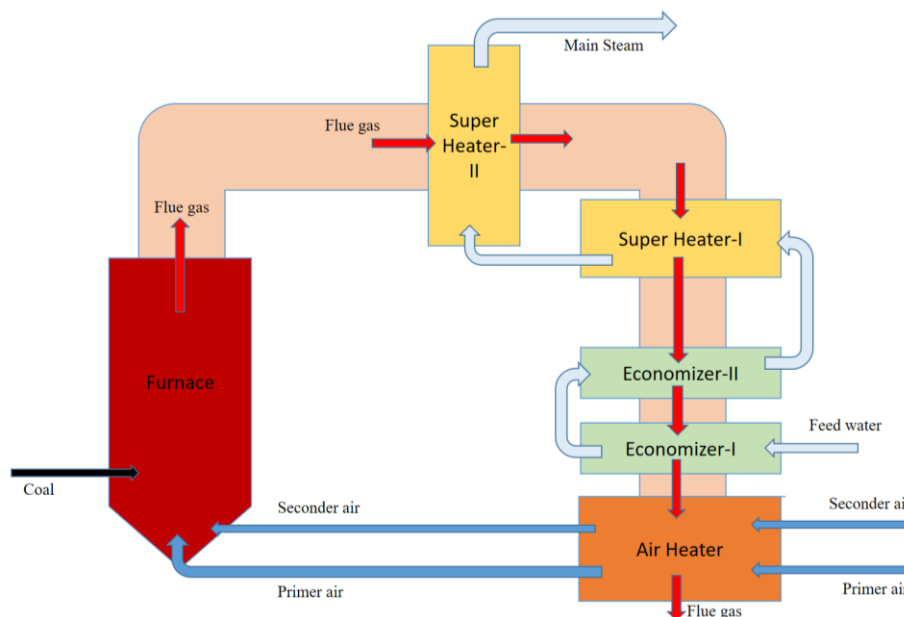


Figure 1. Simple Line Flow Chart of The Analyzed Circulation-Type Fluidized Bed Boiler

3.2. Exergy Analysis

In this part of the study, an exergy analysis model has been created to determine the inefficiencies in the boiler and sub-systems mentioned above. Based on the second law of thermodynamics, the concept of exergy is generally expressed as the usable part of energy. Çengel and Boles (2008) described this concept as the maximum useful work that can be obtained from the system in a certain state.

The exergy analysis of the system examined in this study was carried out under steady-state conditions. The boiler was analyzed not as a whole but divided into its sub-systems. Each of the boiler sub-systems is considered as a control volume. Pressure and exergy losses in piping systems are not taken into account. The dead state conditions are taken as the temperature 25°C and the pressure as 101.325 kPa. However, to observe the change in the boiler's exergy performance according to the actual environmental conditions, the dead state temperature value was based on the seasonal temperature averages of Kütahya. According to this, the dead state temperature values were accepted as 6°C, 16°C, 19°C and 27°C for the winter, autumn, spring and summer seasons, respectively.

Exergy balances should be established in order to determine the exergy efficiency and exergy destruction values of the boiler sub-systems. First of all, the incoming and outgoing flows were determined for each of these sub-systems, and nodal points were formed. The total specific exergy value for each node is calculated using Equation 1.

$$ex_t = ex_p + ex_{ch} + ex_{kn} + ex_{pt} \quad (1)$$

where ex_t is total specific exergy, ex_p is physical exergy, ex_{ch} is chemical exergy, ex_{kn} is kinetic exergy, and ex_{pt} is potential exergy. The kinetic and potential exergy values at the nodes of the sub-systems determined in the boiler have been neglected since they remain low enough not to change the result. The overall flow exergy was calculated using the following equation,

$$ex_p = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (2)$$

In this study, Equation 3 is used to calculate the physical exergy value of air, which is considered as the ideal gas,

$$ex_{p,air} = \left[c_p \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \right] \quad (3)$$

where R is the ideal gas constant of air, c_p is the specific heat of air, T is temperature, and P is pressure. The index 0 expresses the value in the dead state for temperature and pressure. Chemical exergy calculation of flue gas on a molar basis,

$$\bar{ex}_{ch} = \sum x_k \bar{e}_k^{ch} + \bar{R} T_0 \sum x_k \ln x_k \quad (4)$$

In the equation given above, x_k is the molar fraction, \bar{e}_k^{ch} standard molar chemical exergy of the flue gas components, and \bar{R} is the universal gas constant. The physical exergy of burning the solid coal fuel in the boiler has been neglected because it is very low compared to its chemical exergy. Szargut's chemical exergy equation of coal was used to calculate coal's chemical exergy (Szargut, 2005).

$$ex_{ch} = \varphi (LHV) \quad (5)$$

$$\varphi = 1.0437 + 0.1896 \left(\frac{h}{c} \right) + 0.2499 \left(\frac{o}{c} \right) + 0.0428 \left(\frac{n}{c} \right) \quad (6)$$

LHV represents the lower calorific value of the fuel, h, c, o, and n denotes the fuel elements' ratio, and φ represents the chemical exergy factor. General exergy balance and exergy efficiency expressions are derived for the boiler sub-systems. The equations created are given in Table 1. With these equations' help, each sub-system of the boiler's exergy efficiency and exergy destructions are determined. In addition to these exergy performance evaluation criteria, fuel depletion rate, relative exergy destruction rate, and productivity lack rate criteria were also investigated (Xiang et al., 2004; Balli et al., 2008; Şöhret et al., 2015).

$$\delta_k = \frac{\dot{Ex}_{D,k}}{\dot{Ex}_{fuel,total}} \quad (7)$$

$$\chi_k = \frac{\dot{E}x_{D,k}}{\dot{E}x_{D,Total}} \tag{8}$$

$$\zeta_k = \frac{\dot{E}x_{D,k}}{\dot{E}x_{product,total}} \tag{9}$$

Van Gool (1992) proposed the exergetic improvement potential method to demonstrate how the system's performance can be further improved. Dincer and Rosen (2007) applied the exergy improvement potential method for coal fired power plants.

$$IP_k = (1 - \eta_{ex,k})(\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}) \tag{10}$$

Table 1. General Exergy Balance and Exergy Efficiency Equations of Boiler Sub-Systems

Sub-systems	Description	Equations
Furnace	Exergy Balance	$\dot{E}x_{coal} + \dot{E}x_{p.air} + \dot{E}x_{s.air} - \dot{E}x_{fluegas} = \dot{E}x_{dest}$ (11)
	Exergy Efficiency	$\eta_{II-furnace} = \frac{\dot{E}x_{fluegas}}{(\dot{E}x_{coal} + \dot{E}x_{p.air} + \dot{E}x_{s.air})}$ (12)
Superheater-I	Exergy Balance	$(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out}) + (\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in}) = \dot{E}x_{dest}$ (13)
	Exergy Efficiency	$\eta_{II-s.heater-I} = \frac{(\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in})}{(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out})}$ (14)
Superheater-II	Exergy Balance	$(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out}) + (\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in}) = \dot{E}x_{dest}$ (15)
	Exergy Efficiency	$\eta_{II-s.heater-II} = \frac{(\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in})}{(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out})}$ (16)
Economizer-I	Exergy Balance	$(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out}) + (\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in}) = \dot{E}x_{dest}$ (17)
	Exergy Efficiency	$\eta_{II-eco-I} = \frac{(\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in})}{(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out})}$ (18)
Economizer-II	Exergy Balance	$(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out}) + (\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in}) = \dot{E}x_{dest}$ (19)
	Exergy Efficiency	$\eta_{II-eco-II} = \frac{(\dot{E}x_{steam,out} - \dot{E}x_{steam,in})}{(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out})}$ (20)
Air Heater	Exergy Balance	$(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out}) + (\dot{E}x_{p.air,out} - \dot{E}x_{p.air,in}) + (\dot{E}x_{s.air,out} - \dot{E}x_{s.air,in}) = \dot{E}x_{dest}$ (21)
	Exergy Efficiency	$\eta_{II-airheater} = \frac{(\dot{E}x_{p.air,out} - \dot{E}x_{p.air,in}) + (\dot{E}x_{s.air,out} - \dot{E}x_{s.air,in})}{(\dot{E}x_{fluegas,in} - \dot{E}x_{fluegas,out})}$ (22)

4. Results and Discussions

In this section, the calculation results made by applying real data to the exergy analysis model created for the sub-systems of the fluidized bed boiler are given and discussed. Actual data used in the calculations are taken from the boiler control-automation system. Some of the values obtained are as given in Table 2. Coal burned in the boiler is produced in Kütahya Tunçbilek, Turkey. Coal is fed into the combustion chamber at a flow rate of 3.1 kg/s and burned. Elemental analysis values of coal are as given in Table 3 (Yazıcı and Köse, 2019). According to this, the lower calorific value of the fired coal is 5169 kcal/kg. Coal contains 11.8% moisture, 1.04% sulfur and 55.2% carbon. By placing the data given in Table 3 into Equation 5 and Equation 6, the exergy of coal was calculated as 72,568.055 kW. Besides, the primary combustion air at 205°C and the secondary combustion air at 193°C heated in the air heater enter the combustion chamber from different levels. The steam entering the economizer-I at 115°C circulates through the economizer-II, superheater-I, and finally exits the superheater-II as steam at 448°C at 18.06 kg/s.

Table 2. Some Thermodynamic Values of System Components

Items	Value	Items	Value
Furnace			
The mass flow rate of coal	3,1 kg/s	The temperature of seconder air	193°C
Mass flow rate of primer air	13,9 kg/s	Mass flow rate of flue gas	18,6 kg/s
The temperature of primer air	205°C	The outlet temperature of flue gas	840°C
The mass flow rate of seconder air	6,3 kg/s		
Air Heater			
The mass flow rate of primer air	13,9 kg/s	The outlet temperature of seconder air	193°C
The inlet temperature of primer air	35°C	The mass flow rate of flue gas	18,6 kg/s
The outlet temperature of primer air	205°C	The inlet temperature of flue gas	280°C
The mass flow rate of seconder air	6,3 kg/s	The outlet temperature of flue gas	195°C
The inlet temperature of seconder air	30°C		
Super heater-I			
Mass flow rate of flue gas	18,6 kg/s	Mass flow rate of steam	18,06 kg/s
The inlet temperature of flue gas	690°C	The inlet temperature of the steam	226°C
The outlet temperature of flue gas	600°C	The outlet temperature of the steam	352°C
Super heater-II			
Mass flow rate of flue gas	18,6 kg/s	Mass flow rate of steam	18,06 kg/s
The inlet temperature of flue gas	760°C	The inlet temperature of the steam	336°C
The outlet temperature of flue gas	690°C	The outlet temperature of the steam	448°C
Economizer-I			
Mass flow rate of flue gas	18,6 kg/s	Mass flow rate of steam	18,06 kg/s
The inlet temperature of flue gas	380°C	The inlet temperature of the steam	115°C
The outlet temperature of flue gas	280°C	The outlet temperature of the steam	158°C
Economizer-II			
Mass flow rate of flue gas	18,6 kg/s	Mass flow rate of steam	18,06 kg/s
The inlet temperature of flue gas	600°C	The inlet temperature of the steam	158°C
The outlet temperature of flue gas	380°C	The outlet temperature of the steam	230°C

Table 3. Coal's Analysis Values

Items	Unit	Value
C	(%)	55,2
H ₂	(%)	3,94
O ₂	(%)	6,36
N ₂	(%)	2,08
S ₂	(%)	1,04
Moisture	(%)	11,81
Lower Heating Value	(kcal/kg)	5149
Higher Heating Value	(kcal/kg)	5408

Flue gas measurements were made with a flue gas analyzer before the electrostatic filter (ESP). Measurement values are given in Table 4. SO₂ at a rate of 0.18%, CO at a rate of 0.02%, and O₂ at a rate of 3.9% were detected in the flue gas. In addition to these, there is 15.2% CO₂ and 80.7% N₂. Mass flow rate, molar flow rate, and molar fractions were calculated for each of the components that make up the flue gas using the percentage ratios.

Table 4. Measurement Values of Flue Gas

Combustion Gaseous	Mass Fraction	Mass flow rates (kg/s)	Molar mass (kg/kmol)	Molar flow rates (kmol/s)	Molar fractions	Standard chemical exergy (Szargut et al., 1988)
O ₂	0,039	0,7137	31,99	0,0223	0,036365	3970
CO ₂	0,152	2,7816	44,01	0,0632	0,103049	21140
CO	0,0002	0,00366	28,011	0,0001	0,000213	275430
SO ₂	0,0018	0,03294	64,063	0,0005	0,000838	303500
N ₂	0,807	14,7681	28,013	0,5272	0,859535	720
Total	1	18,3		0,6133	1	

Exergy efficiency values of the boiler sub-systems were calculated according to the seasonal temperature averages of Kütahya. As shown in Table 5, the ambient temperature change caused significant changes in some sub-systems' exergy efficiency, while minimal change occurred in others. The highest exergy efficiency was obtained in the combustion chamber at 6°C ambient conditions. While the superheater-I's exergy efficiency increased in parallel with the increase in the ambient temperature, there was a decrease in the superheater-II's exergy efficiency. There was a 0.3% increase in the efficiency of superheater-I and a 1% decrease in superheater-II. The exergy efficiency

of the furnace decreased from 80.2% at 6°C to 75.4% at 27°C. The decrease occurring here is due to the effect of the post-combustion gases from the increase in ambient temperature. The exergy of fuel burned remains constant at all temperature values. Unlike other sub-systems, there was an increase in exergy efficiency in economizer-I and economizer-II in parallel with the rise in ambient temperature.

Table 5. Exergy Efficiencies Values of Boiler Sub-Systems at Different Ambient Temperature Conditions

Sub-systems	6°C	16°C	19°C	25°C	27°C
Furnace	80,2	77,8	77,2	75,8	75,4
S-Heater-II	41,4	40,9	40,8	40,5	40,4
S-Heater-I	43,6	43,7	43,8	43,9	43,9
Economizer-II	20,1	21,2	21,5	22,1	22,3
Economizer-I	60,1	63,7	64,8	67,1	67,9
Air Heater	21,5	20,4	20,1	19,3	18,9

In order to increase efficiency by making improvements in the examined systems, it is necessary to determine the parts where exergy destruction occurs. In this study, the amount of exergy destruction occurring in the boiler sub-systems at different dead state temperature values was calculated. Calculated values are given in Table 6. At the ambient temperature increasing from 6°C to 27°C, exergy destruction values increased at the combustion rate, while the superheater-I, superheater-II, economizer-I, economizer-II, and air heater decreased. The total exergy destruction in the boiler increased with the increase in the dead state temperature. The highest exergy destruction value occurred at 27°C in the furnace. While the highest exergy destruction at 25°C was 17,796.6 kW in the furnace, the second-highest destruction happened in the economizer-II with 13,530.8 kW. The lowest exergy destruction was in economizer-I with 2031.1 kW.

Table 6. Exergy Destructions Values of Boiler Sub-Systems at Different Environment Temperature Conditions

Sub-systems	6°C	16°C	19°C	25°C	27°C
Furnace	14619,4	16308,5	16807,9	17796,6	18118,9
S-Heater-II	4078,2	4045,5	4035,8	4016,5	4010,1
S-Heater-I	4807,04	4709	4679,7	4621,3	4601,8
Economizer-II	14512,2	13984,71	13839,9	13530,8	13428
Economizer-I	2630,7	2314,5	2219,9	2031,1	1968,4
Air Heater	3499,5	3386,2	3352,5	3285,1	3267,1
Total	44.147,04	44.748,41	44.935,7	45.281,4	45.394,3

The fuel depletion rate, relative exergy destruction rate, exergetic improvement potential value, and productivity lack were calculated and compared for each fluidized bed boiler sub-system. The results of these calculated exergy performance evaluation criteria are given in Table 7, Table 8, Table 9 Table 10 and Table 11 for 6°C, 16°C, 19°C, 25°C and 27°C, respectively. When these given tables are examined, the best value in terms of relative exergy destruction rate, fuel depletion rate, and productivity lack rate criteria was determined in economizer-I, and the best value for exergetic development potential was determined in economizer-II. In terms of relative exergy destruction rate, fuel depletion rate, and productivity lack rate, the worst value was determined in the furnace and economizer-II, and the worst value was determined in economizer-I for exergetic improvement potential. Within the framework of these results, in case of improvement work for boiler sub-systems, priority should be given to the economizer-II and then to the combustion chamber. In particular, 10,537.8 kW (77.9%) of the exergy destruction of 13,530.8 kW in economizer-II at 25°C can be improved.

Table 7. Exergy Performance Values of Boiler Sub-Systems At 6°C Ambient Temperature Condition

Sub-systems	δ (%)	χ (%)	IP _k (kW)	ζ (%)
Furnace	12,3	33,1	2897,75	19,6
S-Heater-II	3,4	9,2	2390,58	5,5
S-Heater-I	4,06	10,9	2712,79	6,5
Economizer-II	12,2	32,8	11593,8	19,5
Economizer-I	2,2	5,9	1049,7	3,5
Air Heater	2,9	7,9	2746,45	4,71

Table 8. Exergy Performance Values of Boiler Sub-Systems at 16°C Ambient Temperature Condition

Sub-systems	δ (%)	χ (%)	IP _k (kW)	ζ (%)
Furnace	13,9	36,4	3610,9	22,5
S-Heater-II	3,4	9,04	2389,7	5,6
S-Heater-I	4,01	10,5	2649,6	6,5
Economizer-II	11,9	31,2	11019,4	19,3
Economizer-I	1,9	5,2	840,7	3,2
Air Heater	2,9	7,5	2695,3	4,7

Table 9. Exergy Performance Values of Boiler Sub-Systems at 19°C Ambient Temperature Condition

Sub-systems	δ (%)	χ (%)	IP _k (kW)	ζ (%)
Furnace	14,4	37,4	3836,9	23,3
S-Heater-II	3,45	8,9	2389,5	5,6
S-Heater-I	4	10,4	2630,7	6,5
Economizer-II	11,8	30,8	10868,9	19,2
Economizer-I	1,8	4,9	781,5	3,1
Air Heater	2,86	7,4	2680,4	4,65

Table 10. Exergy Performance Values of Boiler Sub-Systems at 25°C Ambient Temperature Condition

Sub-systems	δ (%)	χ (%)	IP _k (kW)	ζ (%)
Furnace	15,3	39,3	4304,8	25,1
S-Heater-II	3,4	8,9	2389,5	5,6
S-Heater-I	3,9	10,2	2593,2	6,5
Economizer-II	11,6	29,9	10537,8	19,1
Economizer-I	1,7	4,5	668,1	2,8
Air Heater	2,8	7,2	2650,9	4,6

Table 11. Exergy Performance Values of Boiler Sub-Systems at 27°C Ambient Temperature Condition

Sub-systems	δ (%)	χ (%)	IP _k (kW)	ζ (%)
Furnace	15,6	40	4463,5	25,7
S-Heater-II	3,4	8,8	2389,5	5,7
S-Heater-I	3,9	10,1	2580,7	6,5
Economizer-II	11,6	29,6	10427,9	19
Economizer-I	1,7	4,3	631,9	2,8
Air Heater	2,8	7,2	2648,4	4,6

After calculating the exergy destruction values in the boiler sub-systems according to different ambient temperatures, the specific exergy destruction rates were compared. As given in Figure 2, the furnace and economizer-II have the highest relative exergy destruction rate. The increase in the dead state temperature only increased the relative exergy destruction rate of the furnace. It was found that there was a decrease in other parts. While 33.1% of the exergy destruction occurring in the entire boiler at 6°C occurs in the furnace when the ambient temperature rises to 27°C, the ratio increases to 39.9%. In economizer-II, it decreased from 32.8% to 29.6% in the same temperature range. In other parts, minimal amounts of change were experienced.

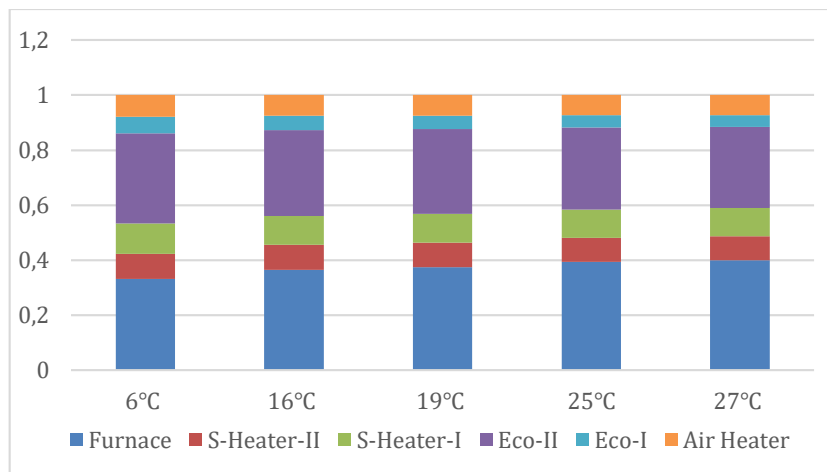


Figure 2. Relative Exergy Destruction of Boiler Sub-Systems at Different Ambient Temperatures

The variation of exergetic improvement potentials of boiler sub-systems at different ambient temperatures is given in Figure 3. The highest exergetic development potential was realized as 11,593.8 kW at 6°C in economizer-II. The lowest value was 631.9 kW in economizer-I at 27°C. As with the specific exergy destruction rate in the boiler sub-systems, the ambient temperature increase had a similar effect on all sub-systems' exergetic development potential value. Although the highest potential was in economizer-II, the highest rate of change occurred in the combustion chamber. This value, which was 2897.7 kW at 6°C, rose to 4463.5 kW with an increase of 54% when it came to 27°C.

Figure 4 and Figure 5 show the productivity lack and fuel depletion rates of the boiler sub-systems at different temperatures, respectively. Depending on the increase in the ambient temperature, the productivity lack ate, and the fuel consumption rate for the furnace and superheater-II of the boiler sub-systems increased, while only the

productivity lack rate increased in the superheater-I. In other parts, on the contrary, there was a decrease. For both criteria, the furnace was mainly affected by the change in the ambient temperature. Thus, the productivity lack rate increased from 19.7% at 6°C to 25.7% at 27°C. Likewise, the fuel depletion ratio increased from 12.3% at 6°C to 15.6% at 27°C. Except for the combustion chamber, there was a reduction of 1/5 in productivity lack and 1/4 in fuel consumption ratio in the same temperature range in economizer-I. In other parts, the change occurred at very low rates.

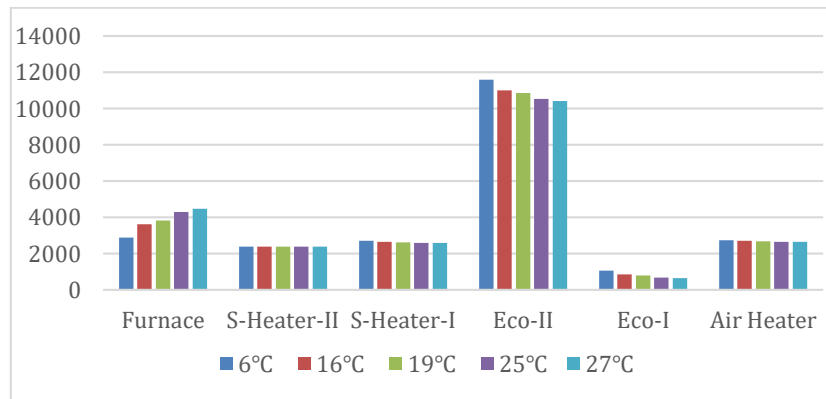


Figure 3. Exergetic Improvement Potential of Boiler Sub-Systems at Different Ambient Temperatures

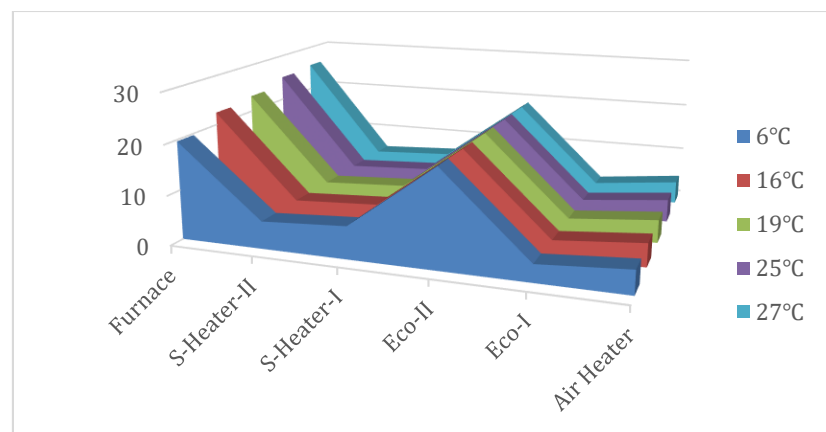


Figure 4. Productivity Lack of Boiler Sub-Systems at Different Ambient Temperatures

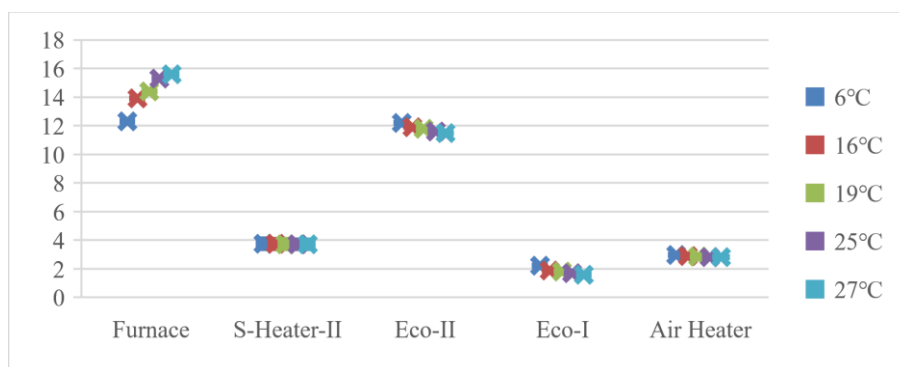


Figure 5. The Fuel Depletion Rate of Boiler Sub-Systems at Different Ambient Temperatures

Figure 6 simply shows the exergy flow in boiler sub-systems at 25°C. Accordingly, the 72,568.055 kW exergy obtained from the coal burned in the combustion chamber is utilized in the boiler's other sub-systems and is destroyed and eventually leaves the 5139.8 kW exergy boiler as flue gas from the air heater.

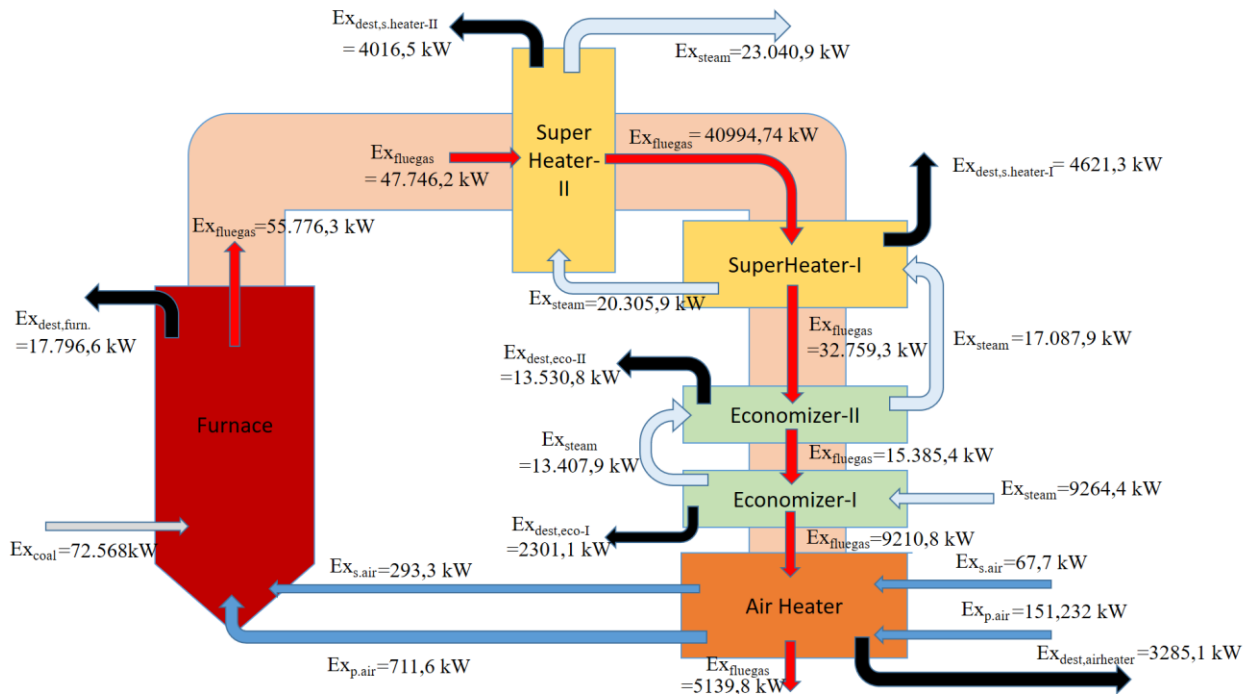


Figure 6. Simple Exergy Flow Diagram For 25°C Dead State Temperature of Boiler Sub-Systems

5. Conclusions

In this study, a circulation-type fluidized bed boiler's exergy performance in a power generation plant was investigated. The boiler was examined not as a whole but by dividing it into its sub-systems. In the analysis, the sub-systems' exergy performance was evaluated in terms of criteria such as exergy efficiency, exergy destruction, fuel depletion rate, relative exergy destruction, exergetic improvement potential, and productivity lack rate. Also, the effect of different dead state temperatures on these exergy performance criteria was compared and discussed. The results obtained are listed below.

- The highest exergy efficiency was realized in the furnace at 6°C with 80.2%. The lowest exergy efficiency was realized in the air heater at 27°C with 18.9%. While the exergy efficiency of superheater-I, economizer-I, and economizer-II increased with the increase in the dead state temperatures, it decreased in the furnace, air heater, and superheater-II.
- The highest exergy destruction occurred in the furnace with 18,118.9 kW at 27°C, the lowest in the economizer-I with 1968.4 kW at the same temperature. With the increase in the dead state temperature, only the exergy destruction that occurred in the furnace increased, while the other parts decreased.
- The highest exergetic improvement potential was realized in the economizer-II with 11,593.82 Kw at 6°C. The lowest value, on the other hand, was 131.9 kW at 27°C in economizer-I.
- The productivity lack was highest in the furnace at 27°C with 25.7%. The other highest productivity lack occurs in economizer-II, while other parts are lower than these two components.
- In the fuel depletion rate criterion, the highest value was at 15.6% in the furnace at 27°C, and the lowest was in the economizer-I at the same temperature.
- Depending on the increase in the ambient temperature, relative exergy destruction and exergetic improvement potential only increased in the furnace, while other parts decreased. There was an increase in the furnace and superheater-II for the fuel depletion ratio and a decrease in the other parts. For the productivity lack, the increase in ambient temperature showed its effect as an increase in the furnace, superheater-I, and superheater-II, and a decrease in the other parts.
- As a result, although the highest efficiency happened in the furnace, the highest exergy destruction happened in this part. In addition, the highest exergetic development potential was realized in economizer-II. If improvement work is to be done to increase efficiency in the boiler, priority can be given to the economizer-II part.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akkurt, F., Kahraman, A., 2017. An Exergy Analysis of Solar-Assisted Ejector Cooling System for Different Area Ratios at Their Maximum COP Values. *Thermal Sciences*, 23, 179-190.
- Aljundi, I.H., 2009. Energy and Exergy Analysis of A Steam Power Plant in Jordan. *Applied Thermal Engineering*, 29, 324-328.
- Balli, O., Aras, H., Aras, N., Hepbasli, A., 2008. Exergetic and Exergoeconomic Analysis of An Aircraft Jet Engine. *International Journal of Exergy*, 5, 567-581.
- Behbahaninia, A., Ramezani, S., Hejrandoost, M.L., 2017. A Loss Method for Exergy Auditing of Steam Boilers. *Energy*, 140, 253-260.
- Callak, M., Balkan, F., Hepbasli, A., 2015. Avoidable and Unavoidable Exergy Destructions of A Fluidized Bed Coal Combustor and A Heat Recovery Steam Generator. *Energy Conversion and Management*, 98, 54-58.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2008. *Thermodynamics on Engineering Approach* (6th Edition) page 445 ISBN 978-0-07-125771-8.
- Dincer, I., Rosen, M.A., 2007. *Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development*. Elsevier
- Elhelw, M., Dahma, K.S., Attia, A., 2019. Utilizing Exergy Analysis in Studying the Performance of Steam Power Plant at Two Different Operation Mode. *Applied Thermal Engineering*, 150, 285-293.
- Erdem, H.H., Akkaya, A.V., Cetin, B., Dagdas, A., Sevilgen, S.H., Sahin, B., Teke, I., Gungor, C., Atas, S., 2009. Comparative Energetic and Exergetic Performance Analyses for Coal Fired Thermal Power Plants in Turkey. *International Journal of Thermal Sciences*, 48, 2179-2186.
- Eskin, N., Kilic, A., 1996. Estimation of Cooling Tube Location in Fluidized Bed Coal Combustors Through Exergy Analysis. *Energy Conversion and Management*, 37 (9), 1453-1461.
- Eskin, N., Gungor, A., Özdemir, K., 2009. Thermodynamic Analysis of A FBC Steam Power Plant. *Energy Conversion and Management*, 50, 2428-2438.
- Ganapathy, T., Alahumurthi, N., Gakkhar, R.P., Murugesan, K., 2009. Exergy Analysis of Operating Lignite Fired Thermal Power Plant. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2 (1), 123-130.
- Gürtürk, M., Oztop, H.F., 2016. Exergy Analysis of A Circulating Fluidized Bed Boiler Cogeneration Power Plant. *Energy Conversion and Management*, 120, 346-357.
- Hepbasli, A., 2009. Exergetic Modeling of Oil Shale-Fired Circulating Fluidized Bed Systems. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31:4, 325-337.
- İpek, O., Kılıç, B., Gürel, B., 2017. Experimental Investigation of Exergy Loss Analysis in Newly Designed Compact Heat Exchangers. *Energy*, 124, 330-335.
- Kolip, A., Savas, A.F., 2010. Energy and Exergy Analyses of A Parallel Flow, Four-Stage Cyclone Precalciner Type Cement Plant. *International Journal of The Physical Sciences*, 5 (7), 1147-1163.
- Kopac, M., Hilalci, A., 2007. Effect of Ambient Temperature on The Efficiency of The Regenerative and Reheat Çatalağzı Power Plant in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 27, 1377-1385.
- Li, Y., Liu, L., 2012. Exergy Analysis of 300 MW Coal Fired Power Plant. *Energy Procedia*, 17, 936-932.
- Ozdil, N.F.T., Tantekin, A., Erbay, Z., 2016. Energy and Exergy Analyses of A Fluidized Bed Coal Combustor Steam Plant in Textile Industry. *Fuel*, 183, 441-448.
- Pattanayak, L., Sahu, J.N., 2015. Steady State Modeling on Energy and Exergy Analysis of A Pulverized Coal Fired Thermal Power Plant. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 10, 876-884.
- Regulagadda, P., Dincer, I., Naterer, G.F., 2010. Exergy Analysis of Thermal Power Plant with Measured Boiler and Turbine Losses. *Applied Thermal Engineering*, 30, 970-976.
- Sengupta, S., Datta, A., Duttagupta, S., 2007. Exergy Analysis of Coal Based 210 MW Thermal Power Plant. *International Journal of Energy Research*, 31, 14-28.
- Sharma, M., Singh, O., 2016. Exergy Analysis of Dual Pressure HRSG for Different Dead States and Varying Steam Generation States in Gas/Steam Combined Cycle Power Plant. *Applied Thermal Engineering*, 93, 614-622.
- Si, N., Zhao, Z., Su, S., Han, P., Sun, Z., Xu, J., Cui, X., Hu, S., Wang, Y., Jiang, L., Zhou, Y., Chen, G., Xiang, J., 2017. Exergy Analysis of A 1000 MW Double Reheat Ultra-Supercritical Power Plant. *Energy Conversion and Management*, 147, 155-165.
- Suresh, M.V.J.J., Reddy, K.S., Kolar, A.K., 2011. Thermodynamic Analysis of A Coal Fired Power Plant Repowered with Pressurized Pulverized Coal Combustion. *Proc. IMecE. Vol. 226 Part A: J. Power and Energy*, 1-12.
- Szargut, J., Morris, D.R., Steward, F.R., 1988. *Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes*. New York: Hemisphere.
- Szargut, J., 2005. *Exergy Method: Technical and Ecological Applications*. Southampton (UK): WIT Press
- Şöhret, Y., Açıkkalp, E., Hepbasli, A., Karakoc, T.H., 2015. Advanced Exergy Analysis of An Aircraft Gas Turbine Engine: Splitting Exergy Destructions into Parts. *Energy*, 90, 1219-1228.
- Topal, H., Taner, T., Naqvi, S.A.H., Altınsoy, Y., Amirabedin, E., Ozkaymak, M., 2017. Exergy Analysis of A Circulating Fluidized Bed Power Plant Co-Firing With Olive Pits: A Case Study of Power Plant in Turkey. *Energy*, 140, 40-46.
- Van Gool, W., 1992. Exergy Analysis of Industrial Processes. *Energy*, 17, 791-803.
- Wang, N., Wu, D., Yang, Y., Yang, Z., Fu, P., 2014. Exergy Evaluation of A 600 MWe Supercritical Coal-Fired Power Plant Considering Pollution Emissions. *Energy Procedia*, 61, 1860-1863.
- Wu, L., Wang, L., Wang, Y., Hu, X., Dong, C., Yang, Z., Yang, Y., 2014. Component and Process Based Exergy Evaluation of A 600 MW Coal-Fired Power Plant. *Energy Procedia*, 61, 2097-2100
- Xiang, J.Y., Cali, M., Santaralli, M., 2004. Calculation for Physical and Chemical Exergy of Flows in Systems Elaborating Mixed-Phase Flows and A Case Study in An IRSOFC Plant. *International Journal of Energy Research*, 28, 101-115.

- Xiong, J., Zhao, H., Zheng, C., 2011. Exergy Analysis of A 600 MWe Oxy-Combustion Pulverized-Coal-Fired Power Plant. *Energy and Fuels*, 25, 3854-3864.
- Yazıcı, M., Köse, R., 2019. Çevre Sıcaklığının Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazanın Ekserji Performansı Üzerindeki Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 477-490.
- Zhang, Q., Yi, H., Yu, Z., Gao, J., Wang, X., Lin, H., Shen, B., 2018. Energy-Exergy Analysis and Energy Efficiency Improvement of Coal-Fired Industrial Boilers Based on Thermal Test Data. *Applied Thermal Engineering*, 144, 614-627.
- Zhou, J., Ling, P., Su, S., Xu, J., Xu, K., Wang, Y., Hu, S., Zhu, M., Xiang, J., 2019. Exergy Analysis of A 1000 MW Single Reheat Advanced Supercritical Carbon Dioxide Coal-Fired Partial Flow Power Plant. *Fuel*, 255, 115777.



MORTEZ: MOBİL UYGULAMA DESTEKLİ ORTEZ SİSTEMİ TASARIMI

Orhan GÜNDÜZ¹, Cengiz TEPE², Nurettin ŞENYER^{3*}

¹ Aygün Cerrahi Aletler, Ar-Ge Bölümü, Samsun, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

³ Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Akıllı Ortez, STM32, Giyilebilir Teknolojiler, Mobil Uygulama, Taşınabilir Aygıt.</i>	Beyne giden hayati kan ve oksijen akışının ani kesilmesiyle, ilintide olduğu bölgedeki hücrelerin ölmesiyle kısmi felç meydana gelir. Kişilerin tedavi süreçlerini hızlandırmak için ortez kullanımı bir ihtiyaçtır. Kişilerin konforunu korumak adına rehabilitasyon hizmetlerini ev ortamında almaları gerekir. Ayrıca Covid-19 gibi pandemi durumlarında ve diğer hastalıklardan korunmak için ortez kullanımında bireysel çözüm üretilmesi önemlidir. Günümüzde taşınabilir aygıtlar hayatımızın her köşesinde yer almaktadır. Hemen hemen her ailede en az bir tane akıllı telefon veya tablet gibi taşınabilir aygıt bulunmaktadır. Bu çalışmada bir taşınabilir aygıtta yüklenebilecek Mobil Uygulama Destekli Ortez (MORTEZ) arayüzü ile ARM tabanlı STM32 serisi bir mikrodenetleyicinin, bluetooth modülü kullanılarak haberleşmesi sağlanmıştır. Orteze entegre edilebilen enkoder üzerinden açı/konum bilgisi MORTEZ üzerinden animasyonlu bir şekilde izlenebilmektedir. Ayrıca gönderilen veriler MORTEZ yardımıyla taşınabilir aygıtta kayıt edilebilmektedir. Yapılan bu çalışma, ortez kontrolünün ve rehabilitasyon süreçlerinin taşınabilir aygıt vasıtasıyla gerçekleştirilebilir bir sistem tasarımının ilk adımını oluşturmaktadır. Ayrıca açıölçer ile akıllı telefon üzerinden görülen açı bilgisinin doğrulaması yapılmıştır ve 1 derecelik hassasiyetle doğru bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

MORTEZ: MOBILE APPLICATION SUPPORTED ORTHOSIS SYSTEM DESIGN

Keywords	Abstract
<i>Smart Orthosis, STM32, Wearable Technologies, Mobile Application, Portable Device.</i>	The use of orthoses is a necessity to accelerate the partial paralysis treatment processes of people. In order to protect the comfort of people, they should receive rehabilitation services at home. In addition, it is important to produce an individual solution in the use of orthoses to protect against pandemic situations such as Covid-19 and other diseases. Today, portable devices are present in every aspect of our lives. Almost every family has at least one portable device such as a smartphone or tablet. In this study, communication between the Mobile Application Supported Orthosis (MORTEZ) interface, which can be installed on a portable device, and an ARM-based STM32 series microcontroller using the bluetooth module is provided. Angle/position information can be monitored animatedly with MORTEZ via the encoder that can be integrated into the orthosis. In addition, the sent data can be saved to the portable device with the help of MORTEZ. This study constitutes the first step of designing a system that can perform orthosis control and rehabilitation processes with a portable device. In addition, the angle information monitored on the smartphone with the goniometer was verified and it was observed that it works correctly with 1 degree accuracy.

Alıntı / Cite

Gündüz, O., Tepe, C., Şenyar, N., (2021). MORTEZ: Mobil Uygulama Destekli Ortez Sistemi Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 923-930.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Gündüz, 0000-0002-8132-8301
C. Tepe, 0000-0003-4065-5207
N. Şenyar, 0000-0002-2324-9285

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.03.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.06.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: nurettin.senyar@gmail.com, +90-505-405-0650

1. Giriş (Introduction)

Ortezler, insan vücudunun ilgili bölgelerini desteklemek, düzeltmek veya o bölgedeki harekete yardımcı olmak için kullanılan medikal cihazlardır. Ortezlerin varlığı çok eski yıllara kadar uzanmaktadır ve yapılan çalışmalar, ortezlerin ilk kullanımlarının kırık ekstremitelere uygulanması olduğu göstermektedir (Alsancak, 2000). Günlük yaşamındaki hareketlerini, inme gibi çeşitli nedenlerden dolayı doğru gerçekleştiremeyen bireyler için ortez kullanımının iyileşme sürecini hızlandırıcı bir etkisi olduğu bilinmektedir. Rehabilitasyon hizmetlerinde ortezlerin ortak kullanımının yerine bireysel çözüm üretilmesi, ev rehabilitasyon sistemine dönüşmesi hastalık bulaşma riski ve konfor açısından önemlidir. Bunun için hafif, taşınabilir modüler bir ortez sistemi gereklidir. Kılıç vd. yaptıkları çalışmalarında dirsek bölgesinde tendon yırtığı veya inflamasyonu olan hastalar tarafından kullanılması için hafif, mobil ve yüksek güç kapasitesine sahip aktif bir bilek ortez tasarımı gerçekleştirmişlerdir (Kılıç ve Doğan, 2017). Giyilebilir cihaz teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, bu ürünlerin ortezlerde kullanımı artmaktadır. Ryser ve arkadaşları yaptıkları çalışmada EMG sinyalleri ölçülmesi için kendi içinde bluetooth modülü bulunan kol bandı kullanmıştır. Elin beş farklı hareketinin algılanmasını yapmışlardır (Ryser vd., 2017).

Yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte gömülü sistemlerde kullanılan 8-bit mikrodenetleyiciler yerini 32-bit ve daha ileri teknolojiye sahip mikrodenetleyicilere bırakmaktadır. Mikrodenetleyici teknolojisinin ilerlemesi, ortezlerinin kontrolü için kullanılan birimlerinin kapasitesinin iyileşmesini sağlamaktadır. 32-bit mikrodenetleyici kullanılarak yapılan ortez çalışmalarına daha çok son yıllarda rastlanılmaktadır. Park ve arkadaşlarının diferansiyel mekanizmaya sahip bir ortez önerisinde buldukları çalışmada 32-bit mikrodenetleyici kullanmışlardır (Park vd., 2017). Pylatiuk ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları çalışmada, cihazın kontrolünü PIC16F877 serisi 8-bit işlem yapabilme kabiliyetine sahip bir mikrodenetleyici ile gerçekleştirmişlerdir (Pylatiuk, 2009). Karabiyik ve arkadaşları, el bilek kısmı felçli hastalar için bilek rehabilitasyonu sağlamak için taşınabilir ve maliyet etkin bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihaz kontrolünde Arduino Mega kartı kullanılmıştır ve temelinde 8-bit mikrodenetleyici bulunmaktadır (Karabiyik vd., 2019). Yapılan diğer çalışmada yürümeye yardımcı olması için diz ortezinde EMG sensörleri ve 32-bit işlemciye sahip STM32F4-discovery kartı kullanılarak elektronik tasarımı ve sistem kontrolü yapılmıştır. Ayrıca ayağa monte edilen IMUs çoklu sensör birimi üzerinden kaydedilen verileri kullanarak yürüme pattern analizi yapmışlardır (Félix vd., 2017).

Sabani ve arkadaşları akıllı telefon ile bacak ortezin kontrol etmek ve izlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, fizyoterapist ve doktorlara rehabilitasyon sürecini izleme ve kontrol etme imkanı sunmuştur (Sabani ve Jailani, 2015). Ateş ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada yeni bir el bilek pasif ortez tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Arduino Nano kartı ile PC arasında veri aktarımı yapılarak pasif ortezin hareketi sağlanmıştır (Ateş vd., 2013). Ferreira ve arkadaşları yaptıkları sistem kontrolünü Android sistemli akıllı telefonlara yüklenebilir uygulama yazılımı üzerinden sağlamışlardır. Akıllı telefon ile mikrodenetleyici arası veri iletişimi HC-05 bluetooth modülü kullanarak gerçekleştirmişlerdir (Ferreira vd., 2020). Sangha ve arkadaşlarının giyilebilir bilek ortezinin tasarımı ve kontrolü ilgili yaptıkları çalışmada, FMG sensör sinyallerin kayıt edilmesinde kablosuz iletişim aracı olarak bluetooth modülü kullanmışlardır (Sangha vd., 2016).

Taşınabilir aygıtların hayatımızdaki önemi giderek artmaktadır. Gerek oyun amaçlı gerekse uygulama amaçlı taşınabilir aygıtlar için uygulama geliştirme faaliyetleri ve yapılan uygulamaları güncelleme gereksinimleri, uygulama yazılımı geliştirmenin önemini göstermektedir. Günümüz teknolojisinde taşınabilir aygıtlar üzerinde uygulama geliştirmek için hibrit ve native birçok uygulama geliştirme aracı bulunmaktadır. Bu çalışmada Google tarafından 2017 yılında oluşturulan hibrit Flutter frameworku kullanılmıştır. Ücretsiz ve açık kaynak kodlu olan Flutter, IOS ve Android gibi mobil platformlarda sorunsuz bir şekilde mobil yazılım geliştirilmesine imkan vermektedir. Flutter temel olarak yazılım geliştirme kiti olan SDK ve kullanıcı arayüz kütüphanelerinin olduğu Framework birimlerden oluşmaktadır (Argenova, 2020). Flutter da uygulama tasarımı Dart programlama dili kullanılarak yapılmaktadır. Dart programlama dili C, C#, Java ve JavaScript dillerine benzemektedir (Macit, 2020).

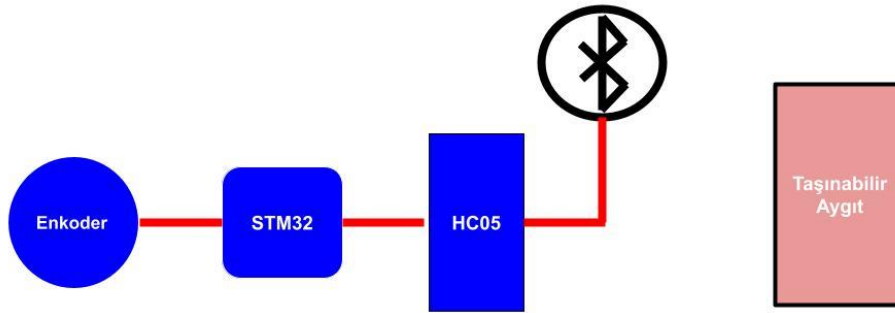
Günümüzde birçok sektörde sıklıkla kullanılan enkoderlerin medikal sektörde de kullanımı oldukça yaygındır. Dominguez ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, diz bölgesindeki açı ölçümü için mutlak enkoder kullanılmıştır (Dominguez vd., 2013). Shan ve arkadaşlarının giyilebilir aktif diz ortez tasarımı ve kontrolü için yaptıkları çalışmada, diz açı ölçümü için sonsuz turlu potansiyometre kullanmışlardır (Shan vd., 2016). Açı ölçülmesiyle ilgili olarak Daud ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 10 farklı kiloda ve boydaki insanlarla, bacak ortezini farklı hız modlarında deneyip açı ve zaman bilgisini kayıt altına alıp ölçümler yapmıştır (Daud vd., 2013). Daha önce geliştirmiş oldukları aktif el bilek ortezine, pasif ve dirençli egzersiz modlarını ekledikleri çalışmada, ortez konumu kullanılan servo motor üzerinden elde edilmiştir (Kılıç ve Başer, 2020). Elde edilen konum bilgisi gürültülü, hassasiyeti düşük ve doğruluğunun sağlanma ihtiyacı bulunmaktadır. Yapılan kaynak incelemelerinde ortez tasarımında, plastik, karbon fiber ve metal gibi çeşitli materyallerin kullanıldığı görülmüştür. Horst, Tibion PK100

biyonik bacak ortezinin geliştirilmesinde karşılaşılan mühendislik zorluklarını ve erken hasta geri bildirimlerini anlattığı çalışmada kullanılan ortez karbon fiberden yapılmıştır (Horst, 2009).

Bu çalışmada STM32F4 serisi mikrodenetleyici tarafından ortezlere kolayca monte edilebilecek enkoder ile açı bilgisinin hesaplanması yapılmıştır. Bluetooth modülü kullanılarak açı bilgisinin taşınabilir aygıtta aktarılması sağlanmıştır ve taşınabilir aygıtta yüklenebilen MORTEZ üzerinden yapılan hareket ve açı bilgisi animasyonlu bir şekilde izlenebilmektedir. Ayrıca veri kayıt sistemi oluşturulmuştur. Taşınabilir aygıtta aktarılan veriler kayıt edebilme özelliğine sahiptir. Gelen veriler, istenildiğinde MOTREZ üzerindeki kayıt butonuna tıklanılarak belirli bir formatta kaydedilmektedir. Yapılan doğrulama çalışmasıyla enkoder üzerinden okunan ve akıllı telefona aktarılan açı bilgisinin 1 derecelik hassasiyetle doğru bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

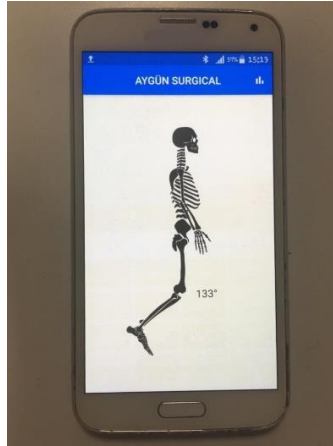
2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yapılan bu çalışmada gömülü donanım olarak enkoder, STM32F4 serisi bir işlemci ve kablosuz iletişim için HC-05 bluetooth modülü kullanılmıştır. Şekil 1’de yapılan çalışmada kullanılan bileşenlerin temel şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistemin Temel Şeması (Basic Scheme of The System)

2.1. Mobil Uygulama Arayüz Tasarımı (Mobile Application Interface Design)



Şekil 2. MORTEZ Arayüzü (MORTEZ Interface)

Taşınabilir aygıt yazılımı Google tarafından 2017 yılında oluşturulan Flutter ile geliştirilmiştir. MORTEZ'in taşınabilir aygıt bileşeni üzerinde diz eklemindeki hareketinin simüle edilmesi, diz açısının enkoder ile algılanması ve taşınabilir aygıtta aktarılması ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2’de MORTEZ görseli gösterilmektedir ve görselde bulunan açı değeri diz ekleminin yaptığı açıdır. Enkoder pozisyonunun her 1 derecelik değişimi, MORTEZ üzerinden görülmektedir. Telefon ile mikrodenetleyicinin veri alışverişi bluetooth üzerinden başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.2. Elektronik ve Gömülü Yazılım Tasarımı (Electronic and Embedded Software Design)

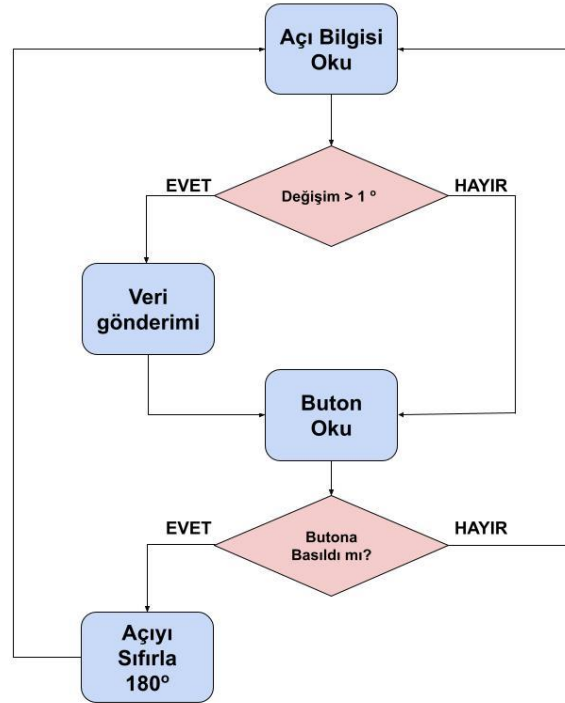
Sistem elektronik olarak 3 bileşenden oluşmaktadır. Bunlar sistemin temelinde 32F429IDISCOVERY kartı olmak üzere HC-05 bluetooth modülü ve LPD3806-600BM enkoderdir. Modüllerin discovery kartı ile yaptıkları bağlantı Şekil 3’de bir tablo halinde gösterilmiştir.

	Pin	Pin	
ENCODER	+5V	+5V	Disco Kit
	GND	GND	
	Kanal A	PE11	
	Kanal B	PE9	
HC-05	+5V	+5V	
	GND	GND	
	Rx	PA9	
	Tx	PA10	

Şekil 3. Sistem Bağlantısı (System Connection)

Yapılan çalışmanın merkezinde 32F429IDISCOVERY kartı ve dolayısıyla STM32F429ZI mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Mikrodenetleyicinin çevre birimlerinin ayarlamasında, algoritmanın yazılım kodlarına dönüştürülmesinde ve program hatalarını düzeltilmesinde C/C++ geliştirme platformu olan STM32CubeIDE kullanılmıştır. STM32CubeIDE'nin birçok işletim sisteminde ücretsiz kullanılabilmesi ve ST-LINK desteklemesi gibi birçok tercih sebebinin etkileyen faktörler vardır (STM32CubeIDE, 2020). Ayrıca değişken değerlerin izlenmesinde ve programın çalışma analizi yapılmasında STM-STUDIO programı kullanılmıştır.

Şekil 4'de yapılan çalışmanın algoritması temel seviyede gösterilmiştir. Burada enkoderden okunan açı değişimi, 1 dereceden büyük olursa HC-05 modülü ile taşınabilir aygıta aktarılmaktadır. İlk kullanımda ya da istenildiğinde ayakta durur vaziyette iken sıfırlama butonuna basılarak sisteminin açısı 180 derece olarak güncellenmektedir.



Şekil 4. Algoritma (Algorithmia)

2.2.1. STM32F429 Kartı (STM32F429 Kit)

Bu çalışmada gömülü sistem olarak 32F429IDISCOVERY kartı kullanılmıştır. Kendi içerisinde program yazma/silme vb. gibi işlemleri yapılmasını sağlayan araç bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada Şekil 5'de gösterilen 32F429IDISCOVERY kartının kullanılmasının en önemli sebepleri arasında, üzerindeki mikrodenetleyicinin sahip olduğu bir takım özellikler, dokunmatik ekrana sahip olması, boyutu, ekonomik olması ve kolay temin edilmesi yer almaktadır.



Şekil 5. 32F429IDISCOVERY Kartı (32F429IDISCOVERY Kit)

Discovery kartının üzerinde Arm tabanlı 32-bit, yüksek hızlı, 2Mbyte Flaş ve 256 Kbyte RAM'i olan bir mikrodeneleyici bulunmaktadır (32F429IDISCOVERY, 2020). Birçok modüle sahip olan mikrodeneleyicinin bu uygulamada UART ve Timer modülleri kullanılmıştır. Sahip olduğu bu özellikler sayesinde çalışmanın sonraki evrelerinde kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

2.2.2. Bluetooth Modülü (Bluetooth Module)

Bluetooth modülü olarak Bluetooth 2.0 destekleyen HC-05 kullanılmıştır. Bu modül 2.4 Ghz frekans bandında haberleşme sağlamaktadır. 460800 baud hızına kadar iletişimi desteklemektedir ve bu uygulamada 9600 standart değeri kullanılmıştır (HC-05, 2010). Bağlantı öncesi şifre kullanılarak doğrulamalı bağlantı protokolü kullanılmıştır. Şekil 6'da gösterilen HC-05 bluetooth modülü, kullanımı kolay ve yaygın olarak kullanılan bir seri port protokol modülüdür. Özellikle robotik ve medikal projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 6. HC-05 Bluetooth Modülü (HC-05 Bluetooth Module)

2.2.3. ENKODER (ENCODER)

Ortezlerin kullanıldıkları bölgede yapılan ekstansiyon ya da fleksiyon hareketinin miktarını ölçmek için enkoder veya potansiyometre gibi bileşenler kullanılmaktadır. Potansiyometre ekonomik bir ürün olmasına rağmen diz eklem açısı hesabının direnç hesapları ile yapılacak olması ve hassasiyetinin düşük olması nedeniyle bu çalışmada enkoder kullanılmıştır. Enkoderler mutlak ve artırımlı olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada Şekil 7'de görülen artırımlı enkoder (Enkoder, 2020) kullanılmıştır.



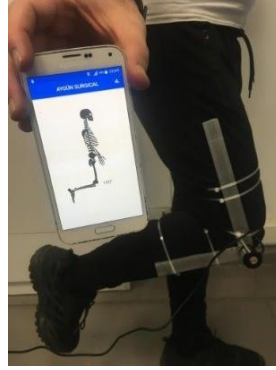
Şekil 7. Enkoder (Encoder)

Artırımlı enkoder enerjisi kesildikten sonra konum bilgisini koruyamamaktadırlar. Bu sebepten dolayı ilk enerji verildiği anda kalibrasyon ayarının yapılması gerekir. İlk enerji verildiğinde, ayakta dururken sıfırlama butonuna basıldığında, gömülü yazılım tarafından diz bölgesinin açısı 180 derece olarak güncellenmektedir. Ayrıca enkoderin hızlı döndürülmesi gibi çeşitli sebeplerden kaynaklı adım kaçırma durumları olabilmektedir. Bu neden dolayı yine aynı buton kullanılarak yeniden açı bilgisi güncellenebilmektedir. Enkoder 5-24 VDC arası gerilimle

çalışabilir özelliğe sahiptir ve çalışmada 5V ile beslenmiştir. Her bir tur için 600 kare dalga üretmektedir. Bu çalışmada konum değişim hassasiyeti 1 derece olarak seçilmiştir. Enkoderdeki 1 derecelik konum değişimi bluetooth üzerinden MORTEZ'e aktarılmaktadır.

2.3. Mekanik Tasarım (Mechanical Design)

Yapılan çalışmada ortez sistemin mekanik tasarımı, diğer metallere göre daha hafif olması, maliyeti düşük olması ve hızlı bir şekilde ilk prototipinin üretilebilmesi için alüminyum metal kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada asıl amaç bir akıllı ortez kontrol sistemi tasarlamak olduğu için yapılan mekanik tasarımında konfor, rahatlık ve mobilite ikinci planda tutulmuştur. Gerçeklenen bu tasarım Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. MORTEZ Sistemi Genel Görünüm (General View of MORTEZ System)

2.4. Doğrulama (Verification)

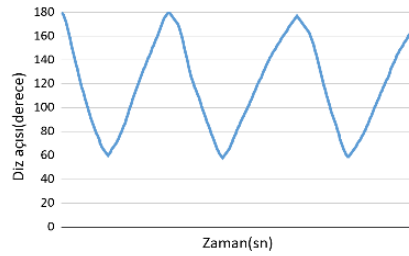
Yapılan çalışmada mekanik denemelere geçmeden önce, Şekil 9'daki gibi açıölçer kullanılarak bir doğrulama sistemi oluşturulmuştur. Yapılan bu sistemin amacı, enkoder üzerinden okunan açı bilgisini doğrulamaktır. MORTEZ üzerindeki açı bilgisi ile açıölçerin merkezine yerleştirilen imlecin gösterdiği açı bilgisi incelenerek karşılaştırılmıştır. Açıölçer, enkoderin gövdesine merkezli ve sabit olacak şekilde montaj edilmiştir. İmleç 180 dereceye getirilip discovery kartı üzerindeki butona basılarak konum sıfırlama yapılmıştır. Sonrasında enkoder miline bağlı olan imleç hareket ettirilerek, açıölçer üzerinde görülen açının MORTEZ üzerinden doğruluğu kontrol edilmiştir. Yapılan bu işlem MORTEZ üzerindeki açı bilgisinin 1 derecelik hassasiyetle çalıştığını doğrulamıştır.



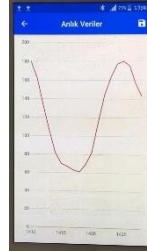
Şekil 9. Açıölçer ile Doğrulama (Verification With Protractor)

3. Bulgular (Results)

Yapılan ortez sistemi sağlıklı bir insanın sağ diz bölgesine monte edilerek açı okuma çalışması yapılmıştır. Kişi ayakta dururken diz bölgesinin açısı 180 derece olarak sıfırlama yapılmıştır. Diz fleksiyon hareketi ile yapılan çalışma üç kez tekrarlanmış ve 407 adet açı verisi kaydedilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde diz açısı 60 ile 180 arası değişim göstermektedir. Şekil 10'da kaydedilen açı verilerden elde edilen grafik gösterilmiştir. Şekil 11'de ise MORTEZ yazılımının, gelen açı verilerini kullanarak oluşturduğu anlık grafiği gösterilmektedir.



Şekil 10. Kaydedilmiş Verilerden Oluşturulmuş Grafik (Graph Created From Recorded Data)



Şekil 11. MORTEZ Üzerinde Görülen Grafik (The Graph Seen on MORTEZ)

Telefona aktarılan veriler Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu veriler zaman dilimine göre mikrosaniye ölçeğinde csv formatında kaydedilmektedir.

Tablo 1. Veri Kayıt Dosyası Örneği (Sample of Datalog File)

Tarih	Zaman	Derece
2/8/2021	16:41:36.573567	180
2/8/2021	16:41:36.573751	179
2/8/2021	16:41:36.573911	178
2/8/2021	16:41:36.574064	176
2/8/2021	16:41:36.574200	174
2/8/2021	16:41:36.601525	172
2/8/2021	16:41:36.601744	169
2/8/2021	16:41:36.601943	166
2/8/2021	16:41:36.623743	163
2/8/2021	16:41:36.623922	160
2/8/2021	16:41:36.624079	157
2/8/2021	16:41:36.640355	153
2/8/2021	16:41:36.659458	150

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, taşınabilir aygıt vasıtasıyla kontrol edilebilir ortez sistemi ve rehabilitasyon süreç yönetimine katkı sağlayacak MORTEZ tasarlanmıştır. MORTEZ ile enkoder üzerinden okunan açının her 1 derecelik değişimi Bluetooth üzerinden taşınabilir aygıtla başarıyla aktarılmıştır. Gelen açı bilgisine göre kullanıcıya hareketli bir görsel sunulmuştur. Böylelikle kullanıcı yaptığı hareketleri hem görsel hem de derece biriminden yazılı olarak görebilmektedir. Ayrıca veriler kayıt altına alınabilmektedir. Bu kayıtları kullanarak hekimlere kullanıcının ortez kullanımını detaylı analiz etmesini de sağlayacak bir karar destek görevi de sunmaktadır. MORTEZ üzerinden okunan açı bilgisi, yapılan doğrulama çalışması ile doğruluğu test edilerek, başarılı sonuç elde edilmiştir.

Açı ölçümü, farklı hassasiyetlerde enkoder, ivme ve jiroskop kullanılarak bu çalışmanın genişletilmesi mümkündür. Ayrıca haberleşme protokolündeki baud hızı değiştirilerek mobil yazılım ile bir saniyede okunan veri sayısı artırılabilir. Gelecek çalışmada ilgili eklem açısı bilgisi ile birlikte EMG işaretlerinin de mobil yazılım üzerinden kayıt altına alınması da mümkündür. Hekime tanı koymasında yardımcı olmak adına kayıt altına alınan EMG işaretlerinin makine öğrenmesi temelinde Karar Destek Sistemi geliştirmesi sağlanabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Alsancak, S. (2000). Ortez ve Protez Tarihçesi . Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi , 1 (1) , 27-33 . DOI: 10.1501/Ashd_0000000003.
- Argenova. (2020). Flutter Nedir ve Neden Öğrenmek Gerekir?. 25 Ocak 2021 tarihinde <https://www.argenova.com.tr/flutter-nedir-ve-neden-ogrenmek-gerekir> adresinden erişildi.
- Ates, S., Lobo-Prat, J., Lammertse, P., Kooij, H., & Stienen, A. (2013). SCRIPT Passive Orthosis: Design and technical evaluation of the wrist and hand orthosis for rehabilitation training at home. 2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 1-6.
- Daud, M., Jailani, R., & Al-Assadi, H.M. (2013). The development of motor based leg orthosis for leg exercise. 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, 400-405.
- Dominguez, G., Cardiel, E., Arias, S., & Hernández, P.R. (2013). A Digital Goniometer based on encoders for measuring knee-joint position in an orthosis. 2013 World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, 1-4.
- Enkoder. (2020). DomoticX Knowledge Center. 5 Şubat 2021 tarihinde <http://domoticx.com/sensor-lpd3806-optical-rotary-encoder/> adresinden erişildi.
- Félix, P., Figueiredo, J., Santos, C.P., & Moreno, J. (2017). Electronic design and validation of Powered Knee Orthosis system embedded with wearable sensors. 2017 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 110-115.
- Ferreira, F.M., Rúbio, G.D., Brandão, F.H., Mata, A.M., Avellar, N.B., Bonfim, J.P., Tonelli, L.G., Silva, T.X., Dutra, R.M., Petten, A.M., Vimieiro, C. (2020). ROBOTIC ORTHOSIS FOR UPPER LIMB REHABILITATION.
- HC-05. (2010). Bluetooth to Serial Port Module. https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf.
- Horst, R. (2009). A bio-robotic leg orthosis for rehabilitation and mobility enhancement. 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 5030-5033.
- Karabıyık, İ, Kılıç, E, Bayram, A. (2019). Bilek Rehabilitasyonu İçin Düşük Maliyetli Bir Taşınabilir Robotik Cihazın Geliştirmesi ve Kontrolü. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering , 24 (3) , 347-364 . DOI: 10.17482/uumfd.609524.
- Kılıç, E, Başer, Ö. (2020). Bir bilek ortezi için pasif rehabilitasyon ve dirençli egzersiz uygulama modlarının geliştirilmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8 (1) , 33-41. DOI: 10.21923/jesd.524191.
- Kılıç, E., Doğan, E. (2017). Aktif bir bilek ortez tasarımı ve üretimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5 (1), 33-44 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/gujsc/issue/28467/303412>.
- Macit, K. (2020). Flutter ve Dart nedir?. 25 Ocak 2021 tarihinde <https://www.mobilhanem.com/flutter-nedir/> adresinden erişildi.
- Park, J., Park, S., Park, C., Jung, S., Kim, C., Park, J.H., & Choi, J. (2017). A robotic orthosis with a cable-differential mechanism. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 517-521.
- Pylatiuk, C., Kargov, A., Gaiser, I., Werner, T., Schulz, S., Bretthauer, G. (2009). Design of a flexible fluidic actuation system for a hybrid elbow orthosis. 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 167-171.
- Ryser, F., Bützer, T.L., Held, J., Lamercy, O., & Gassert, R. (2017). Fully embedded myoelectric control for a wearable robotic hand orthosis. 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 615-621.
- Sabani, A.H., & Jailani, R. (2015). Android based control and monitoring system for leg orthosis. 2015 IEEE 11th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), 40-45.
- Sangha, S., Elnady, A., & Menon, C. (2016). A compact robotic orthosis for wrist assistance. 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 1080-1085.
- Shan, H., Jiang, C., Mao, Y., & Wang, X. (2016). Design and control of a wearable active knee orthosis for walking assistance. 2016 IEEE 14th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC), 51-56.
- STM32CubeIDE, STMicroelectronic, <https://www.st.com/en/developmenttools/stm32cubeide.html>, (Erişim tarihi: 05/02/2021).
- 32F429DISCOVERY, UM1670 Rev 5, https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00093903-discovery-kit-with-stm32f429zi-mcstmicroelectronics.pdf, (Erişim tarihi: 25/01/2021).



RİNG İPLİK MAKİNESİNDE İĞ TİPİNİN ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Erman COŞKUN*, R.Tuğrul OĞULATA

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

Anahtar Kelimeler

İğ Tipi,
Enerji Tüketimi,
İğ Boyun Çapı,
İğ Yatak Dip Çapı,
İğ Yatak Boyun Çapı.

Öz

Dünyadaki enerji ihtiyacı ve tüketimi her geçen gün artmakta, bu da daha fazla karbon emisyonuna ve küresel ısınmaya sebebiyet vermektedir. Bu bakımdan her endüstri alanında yapılacak enerji tüketim optimizasyonları çok anlamlıdır. Ülkemizde önemli bir sanayi kolu olan tekstilin alt dallarından ring iplikçiliği de enerji tüketiminde önemli bir yer tutmaktadır. Ring iplik tesislerinde en fazla enerji tüketen makine grubu, ring iplik eğirme makineleridir. Bu makinelerde ise enerji tüketimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi iğ tipi olup, çalışma kapsamında mercek altına alınmıştır. İğ dibi çapı, iğ yatağı dip ve boyun çaplarının enerji tüketimine etkisi incelenmiştir. İğ ve enerji tüketimine etkisi hakkında genel bilgiler verilen çalışmada, ayrıca uygulamada iğ boyun çapının ve yatak boyun çapının enerji tüketimini nasıl etkilediğini görmek için işletme şartlarında farklı makinelerde enerji ölçümleri yapılmıştır. Analizler sonucunda; daha dar iğ boyun çapı ve yatak boyun çapı sayesinde %5'in üzerinde enerji tasarrufu elde edildiği görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SPINDLE TYPE ON ENERGY CONSUMPTION IN RING SPINNING MACHINE

Keywords

Spindle Type,
Energy Consumption,
Spindle Wharve Diameter,
Neck Bearing Diameter,
Footstep Bearing Diameter.

Abstract

The need and consumption of energy in the world is increasing day by day and this causes more carbon emissions and global warming. In this respect, energy consumption optimizations in every industry field are very meaningful. Ring spinning, one of the sub-branches of Textile, which is an important industrial branch in our country, also has an important place in energy consumption. Ring machines are the most energy consuming machine group in ring spinning plants. The spindle type, which is one of the most important factors affecting energy consumption in these machines, is under the scope of the study. The effects of spindle wharve diameter, neck and footstep bearings' diameters on energy consumption were investigated. In the study, in which general information was given about the effect of spindle and energy consumption, energy measurements were made in different machines under operating conditions to see how the diameter of the spindle wharve and the neck bearing diameter affect the energy consumption in practice. As a result of the analysis; It has been observed that approximately 5% energy saving has been achieved thanks to the narrower spindle wharve diameter and the neck bearing diameter.

Alıntı / Cite

Coskun, E., Oğulata, R.T., (2021). Ring İplik Makinesinde İğ Tipinin Enerji Tüketimine Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 931-939.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Coskun, 0000-0001-7577-819X
R.T. Oğulata, 0000-0003-2783-5246

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.11.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	17.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	25.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: coskun.erman@gmail.com, +90-539-723-7327

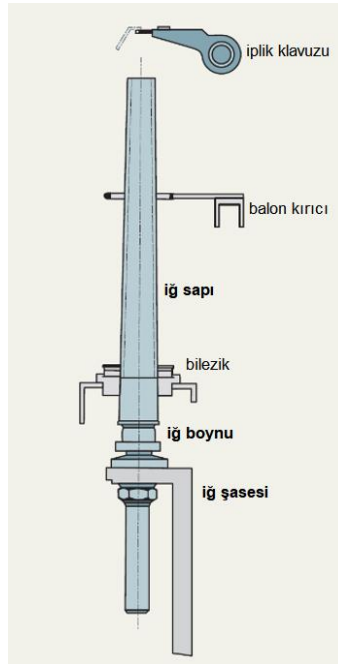
1. Giriş (Introduction)

Ring iplik eğirme makinesi, ABD'li John Thorp tarafından 1828 yılında bulunmuştur. ABD'li bir aile olan; Jenk ailesi 1830 yılında bilezik etrafında dönen kopça sistemini bunun üzerine eklemiştir. Aradan geçen 200 yıla yakın süre içerisinde ring iplik makinesinde ana temel tasarım aynı kalmıştır. Makine üretkenliğini artırmak, kullanımı daha kolay kılmak, makine üzerindeki iş sayısını artırmak üzere temel tasarım üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Bu temel tasarımın ana bileşenlerinden birisi olan ve ipliğe büküm verilmesinde ve eğrilen ipliğin masura üzerine sarılmasında rol oynayan üç temel ekipmandan biri olan iş, yapı olarak birbirinden farklı ve ayrı iki kısımdan oluşur. Bu kısımlar, iş bıçağı olarak da bilinen işin görünen ve masuranın oturduğu iş sapı ve yataklama yuvasının bulunduğu alt kapalı kısımdır.

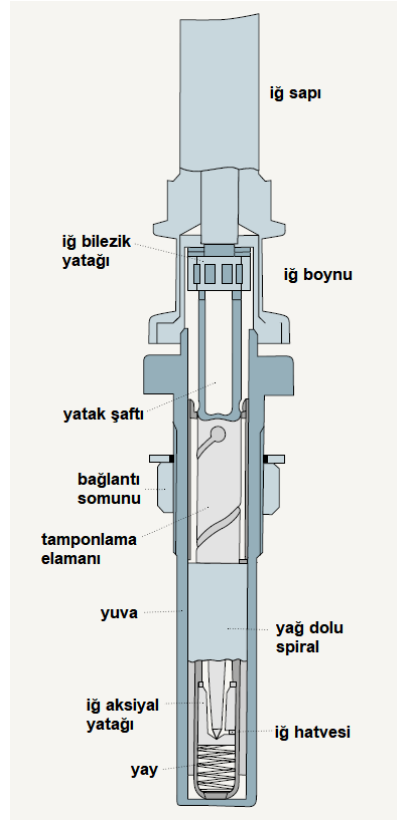
İş sapı, alüminyum alaşımından yapılmaktadır ve aşağıdan yukarıya incelen bir geometriye sahiptir. İş sapının üst kısmında masuranın sıkıca işe oturmasını sağlayan akupleman, en alt kısmında ise iş boynu bulunmaktadır. İçe oyuk şekilde olan iş boynu, işin alt kısmını oluşturan yataklama yuvasının üzerine oturmaktadır.

İş kayışından iş boynuna aktarılan kuvvet ile iş dönmeye başlamaktadır. İş boynunun ölçüsü ve şekli önemlidir. Çapı çok küçük tutulduğunda, yüksek iş devirlerine daha düşük tahrik hızlarında ulaşılabilir. Bu sayede enerjide tasarrufu elde edilmektedir. Bununla birlikte, iş kayışından aktarılan tahrikin kaydırma olmaksızın işe iletimi için iş boyun çapı çok küçükte olmamalıdır. İş boyun çapları günümüzde 17,5 mm ile 22 mm arasında değişiklik göstermektedir. İşin alt yataklama yuvası ise sıkıca iş sehпасına oturtulmuştur (Klein ve Stalder, 2008). İş, iş boynu ve iş şasesinin detayları Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. İş, İş Boynu ve İş Şasesi (Spindle, Spindle Wharve and Ring Rail) (Klein ve Stalder, 2008)

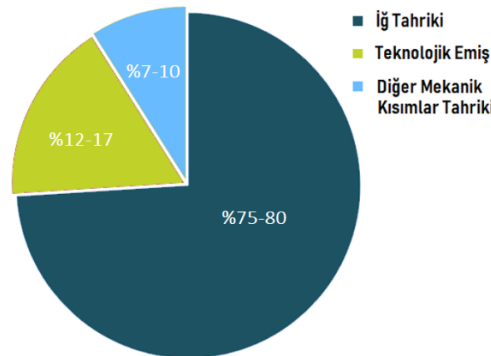
Modern iş yataklamasının temel dizaynı, Şekil 2'de gösterilmektedir. İş yataklaması kendi içerisinde, iş bilezik yatağı ve iş aksiyal yatağı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Her iki kısımda yuva vasıtasıyla birbirlerine bağlıdır. İş bilezik yatağı, hassas bilyeli rulmandan oluşmaktadır. Kaymalı yatak (konik yatak) olarak dizayn edilmiş iş hatvesi, iş sapının elastik merkezlenmesinden ve tamponlanmasından sorumludur. Yatak şaftını iki merkezleme ve tamponlama elemanı kontrol etmektedir. Yağ dolu spiral, iş hatvesine simetrik olarak monte edilmekte ve bu sayede optimum tamponlama sağlanmaktadır. İş hatvesi aynı zamanda işde oluşan tüm dikey kuvvetleri de sönmeler (Klein ve Stalder, 2008).



Şekil 2. İğ Yataklamasının Temel Dizaynı (Design of Spindle Bearing) (Klein ve Stalder, 2008)

İğ bileziğinin yataklaması, kaymalı yatak veya rulmanlı yatak şeklinde olabilmektedir. Kaymalı yatak kullanılarak gürültü seviyesi önemli ölçüde düşürülebilmekte, fakat enerji tüketimi bir miktar artmaktadır. Bundan dolayı, genelde iğlerde rulmanlı yatak kullanılmaktadır. Standart iğlerde, iğ bileziği yataklama yuvasına sıkı sıkıya sabitlenmiştir. Dolayısıyla yataklama titreşimi tamponlama olmaksızın iğ şasisine aktarılmaktadır. Bu da yüksek iğ devirlerinde yüksek gürültü seviyelerine neden olmaktadır. 18000 devir/dakika'nın üzerindeki iğ hızları için sadece iğ hatvesi değil, aynı zamanda iğ bileziği de yataklama yuvasına esnek olarak sabitlenmektedir. Bu iğler diğer iğlere göre daha maliyetli olup, yüksek iğ devirlerine müsaade etmesi ve ring iplik eğirme makinalarının gürültü seviyesini 10 dB civarında düşürmesiyle avantaj sağlamaktadır. İğ hatvesi her daim kaymalı yatakla yataklanmaktadır. Aynı zamanda esnek olup, yanlara doğru küçük hareketler yapabilmektedir (Klein ve Stalder, 2008).

Makine tipine göre değişkenlik arz etmek kaydıyla, ring iplik eğirme makinesindeki enerjinin yaklaşık %75-80'ı iğ tahriki için, %12-17'si teknolojik emişi sağlayan fan tahriki için, %7-10'u ise çekim sistemi başta olmak üzere, iğ sehpa, takım çıkarma sistemi tahriki gibi diğer mekanik kısımların hareketi için harcanmaktadır (Coskun ve Oğulata, 2019).



Şekil 3. Ring Makinesinin Kısımlarının Enerji Tüketim Oranları (Energy Consumption Ratios of Ring Spinning Machine's Parts) (Coskun ve Oğulata, 2019)

Şekil 3'de de görüleceği üzere; iğ tahriki için harcanan enerji, ring iplik eğirme makinelerinin enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir. Bu açıdan, iğ tahrikiyle ilgili enerji tüketimini etkileyen tüm faktörler için

gerçekleştirilebilecek iyileştirmeler büyük önem arz etmektedir. İğ tahriri için tüketilen enerji etkileyen birçok alt faktör vardır. Bunlardan bazıları; iğ tipi, iğ tahrik sistemi, iğ devri, kullanılan iğ yağının özellikleri, iğ kayış tipi, bilezik çapı, masura ağırlığı, masura üzerine sarılan iplik miktarı, balon gerginliği, iplik tüylülüğü (Chang vd., 2003) ve kopçayla alakalı faktörlerdir.

İğ tipinin üç temel özelliğinin enerji tüketimi üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Bu özellikler;

- İğ ölçüleri ve ağırlığı,
- İğ boyun çapı,
- İğ yataklama şekli olarak sıralanabilir.

İğ ölçüsünün ne olacağı, makine üreticisi tarafından, kullanıcının üretimini planladığı iplik numarası, iplik tipi ve talep ettiği bilezik çapına göre kararlaştırılmaktadır. Daha kalın iplik numaralarında daha geniş çaplı bilezikler ve buna bağlı daha uzun ve alt çapı daha geniş, yani daha ağır olan iğler kullanılmaktadır. İğ uzunluğu ve iğ alt çapının artmasıyla, iğ daha da ağırlaşmakta ve buna istinaden iğ tahrik eden motor üzerine binen yükte artmaktadır. Bundan dolayı, enerji tüketiminde de artış meydana gelmektedir.

Enerji tasarrufu, hafif iğ kullanılarak elde edilebilmektedir. Daha hafif (320 ila 265 g) olan ve daha düşük iğ boyun çapına (25 / 22,5 - 18,8 mm) sahip iğler, %10 daha az enerji tüketmektedir. Hindistan'daki bir iplik tesisinde konvansiyonel iğlerin daha hafif iğlerle değişimiyle, bir ring makinasında yılda ortalama olarak 23 megavat-saatlik enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir (Kumar, 2015; Hasanbeigi, 2010).

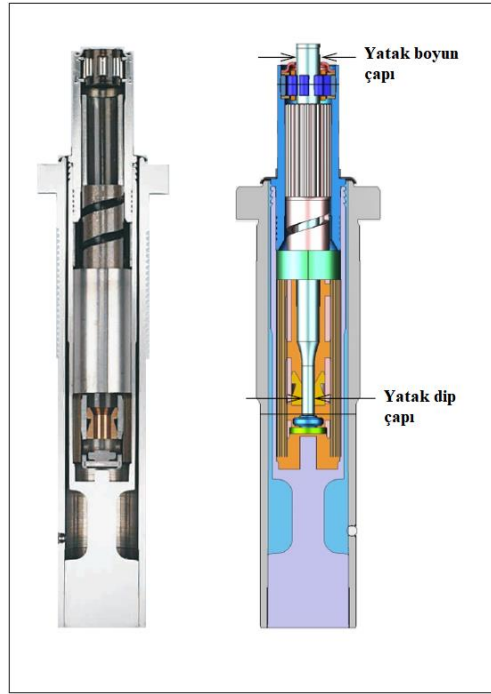
Genel bilgiler bölümünde de bahsedildiği üzere; iğ boynu, iğ alt kısmında bulunan ve iğ tahrik kayışının temas ettiği kısımdır. Bu kısmın çapı, enerji tüketimiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Değişim miktarı, kayış tahrik sisteminin tipine göre değişkenlik arz etse de, her tahrik sisteminde iğ boyun çapına göre enerji tüketimi doğru orantılı olarak değişmeye devam etmektedir. Yani, iğ boyun çapı azaldıkça, enerji tüketimi de azalmaktadır.

Tablo 1'de yer verildiği üzere; 20,2 mm boyun çapına sahip iğ yerine, 18,5 mm boyun çapına sahip iğ kullanılmasıyla birlikte %7,1'e kadar enerjide tasarruf elde edilebileceği belirlenmiştir (Khurshid vd., 2012).

Tablo 1. İğ Boyun Çapının Enerji Tüketimine Etkisi (The Effect of Spindle Wharve Diameter on Energy Consumption) (Khurshid vd., 2012)

Tanım	Enerji Tasarruf Hesabı
20,2 mm boyun çapına sahip iğ için enerji tüketimi (kW)	46,00 kW
18,5 mm boyun çapına sahip iğ için enerji tüketimi (kW)	42,70 kW
Tasarruf (kW)	3,30 kW
Tasarruf (%)	7,17%

İğ yataklama şekli de, enerji tüketimini etkileyen önemli faktörlerdendir. İğ yataklamasında enerji tüketimi açısından boyun yatak çapı ve dip yatak çapı (Şekil 4) parametrelerdir. Yatak dip çapının 4,5 mm'den 3 mm'ye düşürülmesiyle enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca son dönemde yapılan ring iplik eğirme makineleri yatırımlarında, yatak boyun çapı 8 mm'den 5,8 mm'ye daraltılmış iğler kullanılmakta ve ciddi enerji tasarrufu temin edilmektedir (Novibra, 2020).



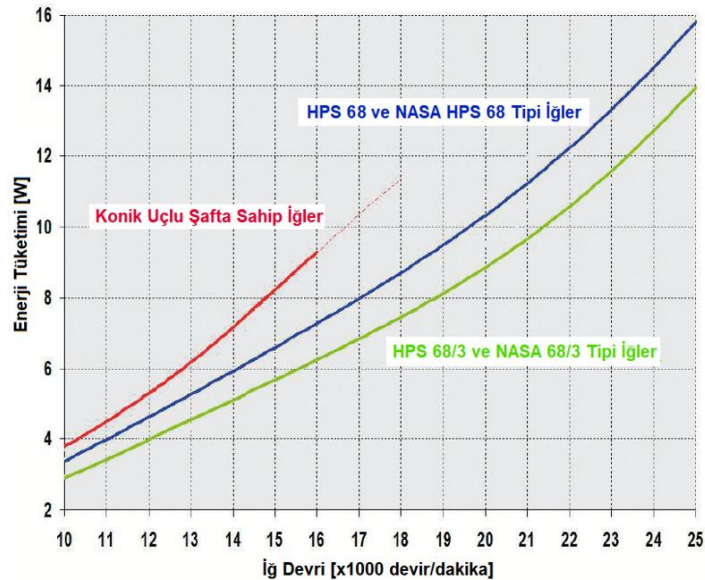
Şekil 4. İğ Boyun Yatak Çapı ve Dip Yatak Çapı (Spindle Neck Bearing and Footstep Bearing) (Novibra, 2020)

Dünyadaki önemli iğ üreticilerinden Novibra firmasının iğ tipleri; boyun çapı, boyun yatak çapı ve dip yatak çaplarına göre kendi arasında sınıflandırılmaktadır. Detaylar, Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Yatak Boyun ve Yatak Dip Çaplarına Göre İğ Tipleri (Spindle Types According to Neck Bearing and Footstep Bearing) (Novibra, 2020)

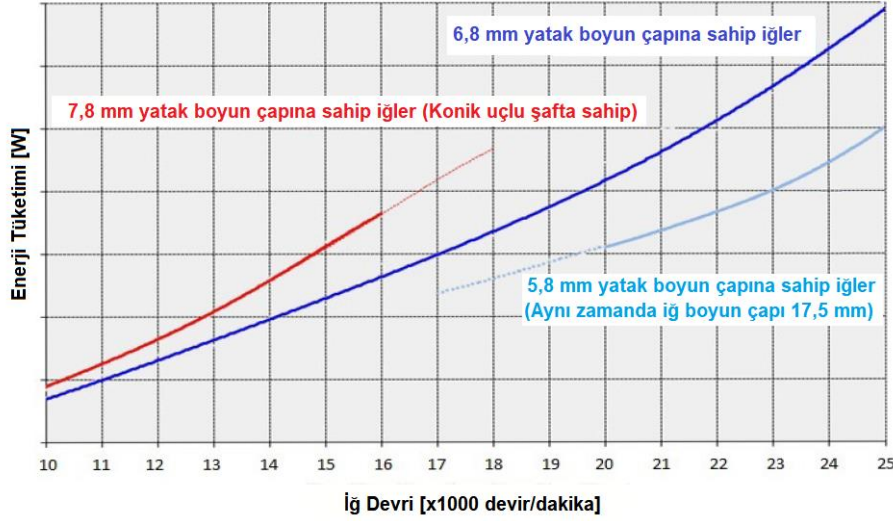
Novibra İğ Tipleri	Sönümlenme Elemanı (Tek/Çift)	Maksimum İğ Devri (rpm & d/dak)	Boyun Çapı (mm)	Yatak Dip Çapı (mm)	Yatak Boyun Çapı (mm)
HPS 68	Tek	20000	18.5	4.5	6.8
HPS 68 NASA	Çift	30000	18.5	4.5	6.8
HPS 68/3	Tek	20000	18.5	3.0	6.8
HPS 68/3 NASA	Çift	30000	18.5	3.0	6.8
LENA	Çift	30000	17.5	3.0	5.8

Şekil 5'de verilen grafikte görüldüğü gibi; yatak dip çapı 4,5 mm olan HPS 68 ve NASA HPS 68 tipi iğler, yatak dip çapı 3,0 mm olan HPS 68/3 ve NASA HPS 68/3 iğlere göre, düşük devirlerde %8-10 daha fazla enerji tüketirken, yüksek devirlerde bu fark %15'in üzerine çıkmaktadır.



Şekil 5. Yatak Dip Çaplarına Göre Enerji Tüketimi (Energy Consumption Depends on Footstep Bearings) (Novibra, 2020)

Yatak dip çapındaki daralmayla oluşan enerji tasarrufu etkisinin bir benzeri, yatak boyun çapının daralmasıyla da gözlemlenmektedir. Şekil 6'dan da görüleceği gibi; daralan çapla birlikte enerji tüketiminde azalma söz konusu olmaktadır.



Şekil 6. Yatak Boyun Çaplarına Göre Enerji Tüketimi (Energy Consumption Depends on Neck Bearings) (Novibra, 2020)

İğ boyun çapının enerji tüketimine etkisinin tespit edilebilmesi için, 2018 yılında Novibra tarafından işletme şartlarında bir çalışma yapılmıştır (Shandheep, 2018). Çalışmayla ilgili veriler ve sonuçlar, Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. İğ Boyun Çapına Göre Enerji Tüketimi (Energy Consumption Depends on Spindle Wharve Diameters) (Shandheep, 2018)

Veriler	Durum 1	Durum 2
İğ boyun çapı	20,2 mm	17,5 mm
Makine numarası	21 (Aynı makine)	21 (Aynı makine)
İğ sayısı	1008	1008
Bilezik çapı	38 mm	38 mm
Masura boyu	210 mm	210 mm
İplik numarası	Ne 32	Ne 32
Büküm	532 T/m	532 T/m
Maksimum iğ devri	17900 dev/dak	17900 dev/dak
Ortalama iğ devri	17054 dev/dak	17054 dev/dak
1 Takımda sarılan iplik	3142 m	3142 m
1 Takımdaki net üretim miktarı	58,874 kg	58,53 kg
Telef miktarı	1,33 kg	1,6 kg
1 Takımdaki brüt üretim miktarı	60,204 kg	60,13 kg
1 Takımdaki enerji tüketimi	78,8 kW	70,9 kW
1 kg iplik için tüketilen enerji	1,309 kWh/kg	1,179 kWh/kg

Çalışma sonucunda; 20,2 mm boyun çapına sahip iğ 17,5 mm boyun çapına sahip iğ ile değiştirildiğinde, aynı makinede, aynı iplik tipi ve parametrelerinde 1 kg iplik üretimi için gerekli enerji tüketiminin %10 civarında azalarak 1,309 kWh/kg'dan 1,179 kWh/kg'a düştüğü görülmüştür (Shandheep, 2018).

Söz konusu %10'luk enerji tasarrufu, iğ boyun çapındaki azalmanın yanı sıra 3 mm'ye düşen yatak dip çapı ve 5,8 mm'ye düşen yatak boyun çapı sayesinde sağlanmıştır.

Bu çalışmada, literatür araştırmaları kapsamında elde edilen sonuçların, yani iğ boyun çapının ve iğ yatak boyun çapının azalmasıyla birlikte enerji tüketiminde tasarruf sağlanacağı durumu, pratik çalışma koşullarındaki ring makinelerinde tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, enerji tüketimindeki değişimin ne oranda olduğu analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

İğ tipiyle ilgili olarak enerji tüketimini etkileyen üç ana faktör bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, iğ boyun çapı ve yatak boyun çapının enerji tüketimine etkisini incelemek amacıyla iki farklı kompakt ring makinesinde enerji ölçümleri ve kıyaslamaları yapılmıştır. İğ yatak dip çapının, enerji ölçümlerinin yapıldığı her iki ring makinesinde aynı olmasından dolayı enerji tüketimine etkisi incelenememiştir.

Enerji ölçümlerinin yapıldığı tesisin görseli, Şekil 7’de sunulmaktadır. Ayrıca analizlerin gerçekleştirildiği iki kompakt ring makinesinin teknik özellikleri Tablo 4’de verilmektedir.



Şekil 7. Kompakt Ring Makinası (Compact Ring Spinning Machine)

Tablo 4. Enerji Ölçümlerinin Yapıldığı Makinelerin Teknik Özellikleri (Technical Specifications of The Machines Which Energy Measurements Were Made)

Teknik Veriler	Makine 1	Makine 2
Makine tipi	Kompakt ring makinesi	Kompakt ring makinesi
Makine üretim yılı	2016	2017
Makinedeki iğ sayısı	1824	1824
Tesisdeki makine no	16	17
İğ motoru kurulu gücü (kW)	80	80
İğ motoru enerji sınıfı	IE3	IE3
İğ tipi	Novibra HPS 68/3 Nasa	Novibra Lena
İğ boyun çapı	18,5 mm	17,5 mm
İğ yatak dip çapı	3 mm	3 mm
İğ yatak boyun çapı	6,8 mm	5,8 mm
İğ kayış tipi	Habasit W-8	Habasit W-8
Bilezik çapı	36 mm	36 mm
Bilezik tipi	Bräcker Titan N98	Bräcker Titan N98
Kopça tipi	Bräcker Saphir EL - ISO 22,4	Bräcker Saphir EL - ISO 22,4
Kopça ömrü	6 gün	7 gün
Masura boyu	180 mm	180 mm

Enerji ölçümlerinde, üç fazlı enerji analizörü kullanılmıştır. Üç fazlı enerji analizörü, üç faz gerilim ve akım rms değerleri (akımın ve voltajın değerinin karesinin ortalamasının kare kökü), aktif ve reaktif (kapasitif veya endüktif) güç değerleri, aktif ve reaktif enerji değerleri, güç faktörü, şebeke frekansı, ortalama ve maksimum güçler ve harmonik bozulmalar ölçülebilen ve ölçülen verileri kayıt altında tutabilen bir cihazdır. İlgili cihazın görseli, Şekil 8’de sunulmaktadır.



Şekil 8. Üç Fazlı Enerji Analizörü (Energy Analyser with Three Phases)

2.2. Metot (Method)

İplik üretimi yapan bir tesiste, farklı iş tiplerine sahip iki kompakt ring makinesinde bir takım dolumu boyunca birer enerji ölçümü yapılmıştır. İş tipi dışında enerji tüketimini etkileyecek tüm diğer faktörler, sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Her iki makine de yapılan enerji ölçümleri sırasında, aynı fitil bobinleri kullanılarak Ne 60/1 numara, 1280 T/m (α_e 4,20) bükümlü kompakt penye ring iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. Her iki makine için de geçerli olmak kaydıyla; üretim 22000 dev/dak (rpm) maksimum ve 21496 dev/dak (rpm) ortalama iş devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında kullanılan çekim miktarı 49,5 kat olup, Bräcker Saphir EL - ISO 22,4 (10/0) kopça tipi kullanılmıştır. Makine 1'deki ölçümlerde 6 günlük kopça kullanırken, Makine 2'deki ölçümlerde 7 günlük kopça kullanılmıştır.

İki enerji ölçümünde de, bir takım dolumu boyunca (272 dakika) yapılan üretim hesaplanmış ve söz konusu bu üretim için tüketilen elektrik enerji verisi 3 fazlı enerji analizöründen alınmıştır. Tüketilen toplam enerji, toplam üretime oranlanarak; 1 kg iplik üretimi için gerekli enerji miktarları hesaplanmış ve kıyaslanmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Yapılan kıyaslamalı enerji ölçümleri sonucunda; 1 kg iplik üretimi için Novibra HPS 68/3 Nasa tipi için bulunduğu Makine 1'in 3,90 kW, Lena tipi için bulunduğu Makine 2'nin ise 3,72 kW enerji tükettiği tespit edilmiştir. Yani iş boyun çapının 18,5 mm'den 17,5 mm'ye ve yatak boyun çapının 6,8 mm'den 5,8 mm'ye düştüğü Novibra Lena işlerin, 1 kg iplik üretimi için gerekli enerjide %4,61'lik bir tasarruf sağladığı görülmüştür. Sonuçlarla ilgili detaylar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. İki Farklı İş Tipinde Yapılan Enerji Tüketim Kıyaslama Sonuçları (Results of Energy Consumption Comparison Made with Two Different Spindle Types)

Teknik Veriler	Makine 1	Makine 2
İplik numarası	Ne 60	Ne 60
Büküm	1280 T/m (α_e 4,20)	1280 T/m (α_e 4,20)
Maksimum iş devri	22000 dev/dak	22000 dev/dak
Ortalama iş devri	21496 dev/dak	21496 dev/dak
Takım dolum süresi	272 dakika	272 dakika
1 Takımdaki üretim miktarı	76,426 kg	76,097 kg
1 Takımdaki enerji tüketimi	298 kW	283 kW
1 kg iplik için tüketilen enerji	3,90 kW/kg	3,72 kW/kg

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Daha önceki çalışmalar kapsamında elde edilen; iş tipinin enerji tüketimini ciddi oranlarda etkilediği verisi, yapılan bu çalışma dahilinde de ispatlanmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak; iş boyun çapının 18,5 mm'den 17,5 mm'ye, yani sadece 1 mm daraldığı durumda dahi, yüksek miktarda enerji tasarrufunu sağlanabileceği çalışmada ortaya konulmuştur.

Özellikle iğ boyun çapının enerji tüketimine etkisinin öneminin altının çizildiği bu makale, ön çalışma niteliğinde olup, yapılabilecek diğer detaylı çalışmalara yol gösterici olacaktır.

Ayrıca iplik tesisi yatırımcılarının, ring iplik eğirme makinelerinin özelliklerine karar verirken, iğ boyun çapı başta olmak üzere tüm iğ tipi özelliklerini dikkatle seçmesi önem arz etmektedir. Bu çerçevede, 15-20 yıl gibi uzun diyebileceğimiz bir ekonomik ömre sahip ring iplik eğirme makinelerinde, çalışılacak iplik numarasına göre mümkün olan en düşük boyun çapına sahip iğ tipinin yatırım esnasında tercih edilmesi, enerji tasarrufu bakımından tavsiye edilmektedir.

Çalışma kapsamında ortaya konulan yaklaşık %5'lik enerji tasarrufunun, ülkemizde kurulu 7 milyon iğ aşkın ring iplik eğirme makinesinde uygulanabilmesi durumunda; yıllık yaklaşık 900000 MW'lık daha az enerji tüketimi ve 45 milyon Türk Lirası tasarruf elde edilebilecektir. Bu rakamlar ring iplik eğirme makinesinde yapılabilecek enerji iyileştirmelerinin önemini net olarak ortaya koymakta ve konuyla ilgili çalışma sayısının artması gerekliliği gerçeğini tüm araştırmacılara göstermektedir.

Ring iplik eğirme makinelerinde, ilk yatırım esnasında enerji tasarrufu bakımından doğru ekipman seçiminin tam olarak yapılamaması ve sonradan yapılabilecek revizyonların yatırım maliyetlerinin yüksek olması, enerji tüketiminin iyileştirilmesinin önündeki temel engellerdir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Chang L., Tang Z., Wang X., 2003. The Effect of Yarn Hairiness on Energy Consumption in Rotating a Ring-spun Yarn Package. *Textile Research Journal*, 73(11): 949-954.
- Coşkun E., Oğulata R.T., 2019. Investigation of Traveler's Life Time's Effect to Energy Consumption of Ring Spinning Machine. *Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi 2019 Bildiri Kitabı*, 64-69.
- Hasanbeigi A., 2010. Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry. China Energy Group Energy Analysis Department Environmental Energy Technologies Division. Berkeley National Laboratory, ABD.
- Khurshid M.F., Asad M., Khan A.A., Chaudhry M.A., Ammanullah, 2012. Investigation of Specific Energy Consumption and Possible Reduction Measures of Textile Spinning Mills, *Journal of American Science*, 2012; 8(6), 535-542.
- Klein W., Stalder H., 2008. *The Rieter Manual of Spinning, Volume 4 – Ring Spinning*. Rieter Machine Works Ltd., Winterthur.
- Kumar R.S., 2015. *Process Management in Spinning*, CRC Press Taylor and Francis Group, LLC, Boca Raton.
- Novibra, 2020. *Lena – Energy Saving High-Speed Spindle*. Product leaflet.
- Novibra, 2020. *Energy Saving Spindles HPS 68/3 and NASA HPS 68/3*. Product leaflet.
- Novibra, 2020. *High Quality Spindles*. Product leaflet.
- Shandheep, R., 2018. *Mill Report – Partibha Syntex Ltd., Spinnovation Magazine, No.33 - 10/2018, 33-35*.



DENTAL SUPPLIER SELECTION WITH TOPSIS METHOD BY USING LP METHODOLOGY

Babek ERDEBİLLİ (B.D ROUYENDEGH)*, İlknur GÜNEŞLİ, Seda ŞAHİN

Ankara Yıldırım Beyazıt University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey

Keywords

Intuitionistic Fuzzy Set, Linear Programming (LP) Methodology, Supplier Selection, TOPSIS Method, Intuitionistic Fuzzy Weighted Average (IFWA).

Abstract

Dental supplier selection is a process that allows companies to choose their suppliers correctly in the light of evaluations. Choosing the right dental suppliers is an important factor both for the efficiency of dental treatment and handling an impressive supply chain. Dental supplier selection is a multi-criterion group decision-making (MCDM) problem that contains many different criterion about the decision-makers generally ambiguous information. TOPSIS method integrated intuitionistic fuzzy set is used in this study. Real-life problems include many unpredictability and defects. Experts are involved in assigning the weights of the criterion in this study. Linear programming (LP) methodology has applied for the ranking of these weights of criterion. Then, the LP methodology is carried out and it was ensured that the appropriate orthodontic bracket suppliers were selected. This is a specific multi-criterion decision making problem. The study was followed together with the sensitivity analyses of the results. At the end of the study, it is foreseen that with the right selection of suppliers, The competitive power of companies in the market and end user satisfaction will increase.

TOPSIS YÖNTEMİ İLE ORTODONTİK TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Anahtar Kelimeler

Sezgisel Bulanık Küme, Doğrusal Programlama (LP) Metodolojisi, Tedarikçi Seçimi, TOPSIS Yöntemi, Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA).

Öz

Ortodontik Tedarikçi seçimi, firmaların ve şirketlerin tedarikçilerini değerlendirmeler ışığında daha doğru ve daha isabetli seçmelerini sağlayan bir süreçtir. Günümüzde Uygun Ortodontik sarf malzemesi tedarikçilerini seçmek, hem diş tedavisinin verimliliği hem de etkileyici bir tedarik zincirinin ele alınması için önemli bir faktördür. Ortodontik Tedarikçi seçimi, karar vericiler için genellikle birçok farklı kriter içeren çok kriterli grup karar verme (ÇKKV) problem olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinde olan TOPSIS yöntemi ile bütünleştirilmiş sezgisel bulanık küme (BSBK) kullanılmıştır. Gerçek hayat problemleri birçok öngörülemezliği, karmaşıklığı ve kusuru içermektedir. Gerçekleştirilen çalışmada kriterin ağırlıklarının belirlenmesinde uzman görüşlerine yer verilmiştir. Daha sonra bu kriter ağırlıklarının sıralanması için ayrıca doğrusal programlama (DP) metodolojisi uygulanmış ve bu kapsamda uygun ortodontik braket tedarikçilerinin seçilmesi sağlanmıştır. Ele alınan konu, belirli birçok kriterli karar verme problemidir. Çalışma, sonuçları duyarlılık analizleri ile incelenmiştir. Makalenin sonunda, doğru Ortodontik Tedarikçi seçimi ile piyasada var olan şirket ve firmaların pazardaki rekabet gücünün ve son kullanıcı memnuniyetinin artacağı öngörülmektedir.

Alıntı / Cite

Erdebilli, B., Güneşli, İ., Şahin, S., (2021). Dental Supplier Selection With TOPSIS Method By Using LP Methodology, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(3), 940-951.

* İlgili yazar / Corresponding author: berdebilli@ybu.edu.tr, +90-0312- 906- 2234

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Babek ERDEBİLLİ 0000-0001-8860-3903	Başvuru Tarihi / Submission Date	31.10.2020
İlknur GÜNEŞLİ , 0000-0003-3069-2565	Revizyon Tarihi / Revision Date	01.04.2021
Seda ŞAHİN , 0000-0003-0924-643X	Kabul Tarihi / Accepted Date	27.06.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Introduction

Uncertainty is an issue that people face in many areas of decision making. It is important to create mathematical models used for uncertain situations in decision making. Though it could be the chance to get much information, it is still hard to cope with the uncertainty. Generally, substantial data sets comprise uncertain information. There are lots of vagueness in supply chain like many other different areas such as risk management, applications which are in the field of engineering, etc. The mathematical models are building to decrease the uncertainty. It could be harsh to deal with vagueness, although there is ample information in some cases. Data sets, which include substantial uncertain information, demonstrate an academic challenge. In (Zadeh, 1965) introduced the notion of fuzzy sets to exhibit subjective vagueness and uncertainty (Sindhu et al., 2019). Fuzzy sets have created to deal with the vagueness or ambiguity directly. Thus, they have used for the cases which include complex situations. For example, in (Atanassov, 1994) indicated different estimable operations about these situations. Supply Chain Management is important in all areas of the industry. It is essential for the academia that aims decrease potential risks in the supply chain to increase customer satisfaction. In today's globalized world, the purchasing function has also become an essential matter since technology is changing. 23 essential evaluation criterion are described for supplier selection by Dickson (Dickson, 1966). These are considered important studies on supplier selection. In 1991, also researched supplier selection problem by Weber et. al. (1991). In 2016, presented a fuzzy approach for selecting a calibration supplier by Erginel and Gecer (2016). In 2017, Kaya's study is to provide a practical decision support tool for supplier selection decision analysis in automotive industry (Kaya, 2017). Jain et al., (2020) provide a new supplier selection framework by integrating Fuzzy Inference System and MCDM. The proposed methods for supplier selection is demonstrated in Table 1. Some of these methods do not include complex and unstructured nature. Literature summary is demonstrated in terms of the criterion in Table 2.

Table 1. The Systematic Analysis for Supplier Selection Methods

Author(s)	Proposed Method(s)	Year
1. Ed Timmerman	Weighted point method	1986
2. Robert E. Gregory	Matrix approach	1986
3. William R. Soukup	Vendor performance matrix approach	1987
4. Kenneth N. Thompson	Vendor profile analysis (VPA)	1990
5. Robert L. Nydick and Ronald Paul Hill	Analytic hierarchy process (AHP)	1992
6. Amir A. Sadrian, Yong S. Yoon	Mathematical programming	1993
7. C.C. Li, Y.P. Fun & J.S. Hung	The application of FST	1997
8. Chang-Xue (Jack) Feng, Jin Wangb, Jin-Song Wangc	Multiple objective programming (MOP)	2001
9. Joseph Sarkis and Srinivas Talluri	Analytic network process (ANP)	2002
10. Chen-Tung Chena, Ching-Torng Lin, Sue-Fn Huang	Extended the concept of TOPSIS method	2006
11. Shuo-Yan Chou, Yao-Hui Chang	Strategy-aligned fuzzy simple multi-attribute rating technique (SMART) approach	2008
12. Semih Önüt, Selin Soner Kara, Elif Işık	ANP and TOPSIS methods for supplier selection.	2009
13. Selin Soner Kara	Fuzzy TOPSIS method	2011
14. Ahmad Dargi al.	A Fuzzy-ANP method	2014
15. Babak Daneshvar Rouyendegh (Babek Erdebilli)	Fuzzy TOPSIS method	2014
16. Xiao-Yue You al.	VIKOR method	2015
17. Masoud Galankashi	Fuzzy AHP approach	2016
18. Nihal Erginel	Fuzzy approach	2016
19. Sanjay Kumar	Fuzzy TOPSIS method	2018
21. Rukiye Kaya al.	DEMATEL	2017
20. Naveen Jain	Fuzzy inference system	2020
22. Sidong Xian	Interval probability hesitant fuzzy linguistic TOPSIS method	2020

Table 2. Literature Review Summary

Author(s)	Methodology	Year	Quality	Cost	Performance	Service
1. Ed Timmerman	Weighted point method	1986	✓	✓		✓
2. Robert E. Gregory	Matrix approach	1986	✓	✓		
3. William R. Soukup	Vendor performance matrix approach	1987		✓	✓	
4. Kenneth N. Thompson	Vendor profile analysis (VPA)	1990		✓	✓	✓
5. Robert L. Nydick and Ronald Paul Hill	Analytic hierarchy process (AHP)	1992	✓	✓		✓
6. Amir A. Sadriyan, Yong S. Yoon	Mathematical programming	1993	✓	✓	✓	
7. C.C. Li, Y.P. Fun & J.S. Hung	The application of FST	1997	✓	✓	✓	
8. Chang-Xue (Jack) Feng, Jin Wangb, Jin-Song Wangc	Multiple objective programming (MOP)	2001	✓	✓	✓	
9. Joseph Sarkis and Srinivas Talluri	Analytic network process (ANP)	2002	✓	✓	✓	✓
10. Chen-Tung Chena, Ching-Torng Lin, Sue-Fn Huang	Extended the concept of TOPSIS methodzx	2006	✓	✓	✓	✓
11. Shuo-Yan Chou, Yao-Hui Chang	Strategy-aligned fuzzy simple multi-attribute rating technique (SMART) approach	2008	✓	✓	✓	✓
12. Semih Önüt, Selin Soner Kara, Elif Işık	ANP and TOPSIS methods for supplier selection.	2009	✓	✓	✓	✓
13. Selin Soner Kara	Fuzzy TOPSIS method	2011	✓	✓	✓	✓
14. Ahmad Dargi al.	A Fuzzy-ANP method	2014	✓	✓	✓	✓
15. Babak Daneshvar Rouyendegh (Babek Erdebilli)	Fuzzy TOPSIS method	2014	✓	✓	✓	✓
16. Xiao-Yue You al.	VIKOR method	2015	✓	✓		✓
17. Masoud Galankashi	Fuzzy AHP approach	2016	✓	✓	✓	
18. Nihal Erginel	Fuzzy approach	2016	✓	✓	✓	✓
19. Rukiye Kaya al.	DEMATEL	2017	✓	✓	✓	✓
20. Sanjay Kumar	Fuzzy TOPSIS method	2018	✓	✓	✓	✓
21. Naveen Jain	Fuzzy inference system	2020	✓	✓	✓	✓
22. Sidong Xian, Hailin Guo	Interval probability hesitant fuzzy linguistic TOPSIS method	2020		✓	✓	

In supply chain management include many purchasing activities. The activities are also associated with vendor standards and uncertain. All these activities are prominent for criterion and alternatives. Intuitionistic fuzzy sets are used to overcome vagueness obstacles. The TOPSIS method taking into account both positive-ideal and negative-ideal solutions. So, the TOPSIS method integrated with the intuitionistic fuzzy set has a significant opportunity for achievement for the supplier selection process. The importance of criterion and the impact of alternatives on the criterion provided by decision makers are difficult to express with clear data in the selection of the supplier problem (Boran et al., 2009). In supplier selection process, combining intuitionistic fuzzy set gives the chance of success.

Evaluating of different dental suppliers is essential since experts linguistically indicated their thoughts on dental products. An intuitionistic fuzzy set is characterized by a membership function, non-membership function, and hesitation margin (Boran, 2011). Thus, it is an effective method. This study recommends an intuitionistic fuzzy multi-criterion group decision making with the TOPSIS method on account of correct supplier selection. The weights of the criterion that are given by the experts are precisely obscure. We have utilized the LP technique to reach the total weights of criterion under some constraints. After that, we used these weights of criterion to understand the best choice from the dedicated alternatives.

2. Intuitionistic Fuzzy Sets

The intuitionistic fuzzy set is presented by Atanassov (1986). This method is very suitable for uncertainty situations. Intuitionistic fuzzy set A written as follows:

$$A = \{x, \mu_A(x), \nu_A(x) \mid x \in X\}$$

where $\mu_A(x), \nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ are membership function and nonmembership function, in order, so;

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (1)$$

The third parameter of IFS $\pi_A(x)$, is given as the intuitionistic fuzzy index or hesitation degree of whether x belongs to A or not.

$$\pi_A = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (2)$$

It is evidently seen that for every $x \in X$:

$$0 \leq \pi_A(x) \leq 1 \quad (3)$$

The precision of x is directly proportional to the smallness of $\pi_A(x)$. When $\mu_A(x) = 1 - \nu_A(x)$ for all elements of the universe, the ordinary fuzzy set concept is recovered.

Let A and B are IFSs of the set X ; then multiplication operator is given as follows (Atanassov, 1986):

$$A \otimes B = \{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x), \nu_A(x) + \nu_B(x) - \nu_A(x) \cdot \nu_B(x) \mid x \in X\} \quad (4)$$

3. Intuitionistic Fuzzy TOPSIS

Let $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ be a series of alternatives and $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ be a series of criterion, the procedure seeing Intuitionistic Fuzzy TOPSIS method is defined as follows:

Step 1. The following procedure is known as Chen and Huang's MCDM method for determination of the weight of decision makers:

Imagine that a decision group includes three decision-makers;

$D^* = (d_{ij}^-)_{m \times n} = ([a_{ij}^-, a_{ij}^+], [b_{ij}^-, b_{ij}^+])$, calculate the score value m_{ij} of the evaluating IVIFV (Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Values) d_{ij}^- to construct the transformed decision matrix $M = (m_{ij})_{m \times n}$, where

$$m_{ij} = \frac{a_{ij}^- - b_{ij}^- + a_{ij}^+ - b_{ij}^+}{2} \quad m_{ij} \in [-1, 1] \quad (5)$$

According to Eq. 5 establish the following LP model to maximize the objective function S (Score function):

$$\text{Maximize } S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j x_{mij}, \quad (6)$$

where w_j is the optimal weight of decision-makers.

Step 2. Creating an intuitionistic fuzzy decision matrix. Let $R^k = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ is an intuitionistic fuzzy decision matrix of each decision-maker. $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_l\}$ is the weight of each decision-maker and $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1, \lambda_k \in [0,1]$. IFWA (Intuitionistic Fuzzy Weighted Average) operator referred by Xu (2007) is used. $R = (r_{ij})_{m \times n}$, where

$$\begin{aligned} r_{ij} &= IFWA_{\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) \\ &= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \lambda_3 r_{ij}^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l r_{ij}^{(l)} \\ &= [1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}] \end{aligned} \quad (7)$$

Here $r_{ij} = (\mu_{A_i}(x_j), v_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j))$ ($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$).

R matrix is obtained:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

Step 3. Determination of the weights of the criterion. W symbolizes a set of grades of importance. In order to achieve W , all the individual decision-maker opinions for the importance of each criterion need to be combined (Biderci and Canbaz, 2019).

Let $w_j = [\mu_k^{(k)}, v_k^{(k)}, \pi_k^{(k)}]$ be an intuitionistic fuzzy number operated to criterion X_j by the k th decision-maker.

$$\begin{aligned} w_j &= IFWA_{\lambda}(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) \\ &= \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \lambda_3 w_j^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)} \\ &= [1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k}] \end{aligned} \quad (8)$$

$$W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_j]$$

Here $w_j = (\mu_j, v_j, \pi_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

Step 4. The aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix is obtained.

$$R \otimes W = \{(x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x), v_{A_i}(x) + v_W(x) - v_{A_i}(x) \cdot v_W(x)) | x \in X\} \quad (9)$$

And

$$\pi_{A_i} \cdot w(x) = 1 - v_{A_i}(x) - v_W(x) - \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x) + v_{A_i}(x) \cdot v_W(x) \quad (10)$$

R' mean is the aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix, such that:

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu_{A_1W}(x_1), v_{A_1W}(x_1), \pi_{A_1W}(x_1)) & (\mu_{A_1W}(x_2), v_{A_1W}(x_2), \pi_{A_1}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_1W}(x_n), v_{A_1W}(x_n), \pi_{A_1W}(x_n)) \\ (\mu_{A_2W}(x_1), v_{A_2W}(x_1), \pi_{A_2W}(x_1)) & (\mu_{A_2W}(x_2), v_{A_2W}(x_2), \pi_{A_2}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_2W}(x_n), v_{A_2W}(x_n), \pi_{A_2W}(x_n)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_mW}(x_1), v_{A_mW}(x_1), \pi_{A_mW}(x_1)) & (\mu_{A_mW}(x_2), v_{A_m}(x_2), \pi_{A_m}(x_2)) & \dots & (\mu_{A_mW}(x_n), v_{A_mW}(x_n), \pi_{A_mW}(x_n)) \end{bmatrix}$$

Table 3. Linguistic Terms Description of Separate Index Level

Linguistic Terms	*IFNs ^a
Very good (VG)	(0.90, 0.10)
Good (G)	(0.75, 0.20)
Medium (M)	(0.50, 0.45)
Bad (B)	(0.35, 0.60)
Very Bad (VB)	(0.10, 0.90)

^aIFN Intuitionistic fuzzy number.

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} & \dots & r'_{1j} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} & \dots & r'_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{i1} & r'_{i2} & r'_{i3} & \dots & r'_{ij} \end{bmatrix}$$

$r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = \mu_{A_iW}(x_j), v_{A_iW}(x_j), \pi_{A_iW}(x_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) is an element of the aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix (Wen, et al. 2010).

Step 5. Intuitionistic fuzzy negative solution represented by A^* . Intuitionistic fuzzy positive solution represented by A^- .

Such that:

$$A^* = (\mu_{A^*W}(x_j), v_{A^*W}(x_j)) \text{ and } A^- = (\mu_{A^-W}(x_j), v_{A^-W}(x_j)) \tag{11}$$

$$\mu_{A^*W}(x_j) = \left((\max_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_1), (\min_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_2) \right) \tag{12}$$

$$v_{A^*W}(x_j) = \left((\min_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_1), (\max_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_2) \right) \tag{13}$$

$$\mu_{A^-W}(x_j) = \left((\min_i \mu_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_1), (\max_i \mu_{A_i^*W}(x_j) \mid j \in J_2) \right) \tag{14}$$

$$v_{A^-W}(x_j) = \left((\max_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_1), (\min_i v_{A_iW}(x_j) \mid j \in J_2) \right) \tag{15}$$

Step 6."Separation measures (S_{i^*} and S_{i^-}) are calculated. We use normalized Euclidean distance. Then, S_{i^*} and S_{i^-} are obtained."

The linguistic terms in Table 3 are used for the decision makers to rate the alternatives.

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[(\mu_{A_iW}(x_j) - \mu_{A^*W}(x_j))^2 + (v_{A_iW}(x_j) - v_{A^*W}(x_j))^2 + (\pi_{A_iW}(x_j) - \pi_{A^*W}(x_j))^2 \right]} \tag{16}$$

$$S^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[(\mu_{A_iW}(x_j) - \mu_{A^-W}(x_j))^2 + (v_{A_iW}(x_j) - v_{A^-W}(x_j))^2 + (\pi_{A_iW}(x_j) - \pi_{A^-W}(x_j))^2 \right]} \tag{17}$$

Step 7. Relative closeness coefficient is calculated the according to the intuitionistic ideal solution.

$$C_{i^*} = \frac{S_{i^-}}{S_{i^*} + S_{i^-}} \text{ where } 0 \leq C_{i^*} \leq 1 \tag{18}$$

Step 8. Ranking the alternatives in the light of other steps. Alternatives are ranked according to C_{i^*} 's.

4. Numerical Example

In this study, deciding the most appropriate orthodontic brackets supplier is aimed. It is a must for one of the pivot elements in its dental treatment process. Four suppliers who are called A1, A2, A3, and A4 have taken as alternatives for further evaluation. These alternative suppliers have evaluated by three orthodontists who are also called decision-makers of the study. The decision-makers have composed five criterion to evaluate alternative suppliers. These criterion are considered:

- C1: Type of the brackets
- C2: Size of the brackets
- C3: Shape of the brackets
- C4: Durability of the brackets
- C5: Usability of the brackets

The following steps have demonstrated the procedure of intuitionistic fuzzy TOPSIS method for orthodontic brackets supplier, which are briefly explained in Section 2 and Section 3:

Step 1. Determining the weights of the decision-makers.

Table 4 demonstrates the importance of the degree of the decision-makers on the group. A linear programming model is constructed to handle the weights of the decision-makers' opinions, as follows:

Maximize $S = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 w_j x_{mij}$ where $w_1 (DM_1)$, $w_2 (DM_2)$ and $w_3 (DM_3)$ are the optimal weights of the decision-makers.

$$\begin{aligned} 0.20 &\leq w_1 \leq 0.70 \\ 0.30 &\leq w_2 \leq 0.55 \\ 0.30 &\leq w_3 \leq 0.45 \\ w_1 + w_2 + w_3 &= 1 \end{aligned}$$

We can get the optimal weights $w_1 = 0.30$, $w_2 = 0.50$, and $w_3 = 0.20$.

Table 4. The Importance of Decision-Makers And Their Weights

	DM_1	DM_2	DM_3
Linguistic Terms	Very Good	Medium	Good
Weight	0.30	0.50	0.20

Table 5. Linguistic Terms For Rating The Importance of Criterion And The Decision-Makers

Linguistic Terms	IFN ^s
Very good	(0.90, 0.10)
Good	(0.75, 0.20)
Medium	(0.50, 0.45)
Bad	(0.35, 0.60)
Very bad	(0.10, 0.90)

Step 2. Constructing the aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix based on the opinions of decision-makers.

Table 6. Linguistic Terms For Rating The Alternatives

Linguistic Terms	IFN ^s
Very good (VG)	(0.75, 0.10, 0.15)
Good (G)	(0.60, 0.25, 0.15)
Medium (M)	(0.50, 0.50, 0.00)
Bad (B)	(0.25, 0.60, 0.15)
Very Bad (VB)	(0.10, 0.75, 0.15)

Table 7. The Ratings of The Alternatives

Decision Makers	Alternatives	Criterion				
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
DM ₁	A1	B	G	M	G	M
	A2	G	VB	G	G	VB
	A3	VG	VG	M	M	VG
	A4	B	M	G	M	G
DM ₂	A1	B	M	M	M	G
	A2	G	B	M	G	VB
	A3	VG	VG	M	VG	M
	A4	B	M	G	G	G
DM ₃	A1	G	B	M	M	M
	A2	VG	VG	M	G	VG
	A3	G	M	B	G	VB
	A4	B	M	G	G	G

Table 8. The Importance Weight of The Criterion

Criterion	Decision Maker		
	DC ₁	DC ₂	DC ₃
C ₁	I	I	UI
C ₂	M	VI	I
C ₃	VI	I	M
C ₄	UI	M	VI
C ₅	I	M	M

The ratings for the following five criterion are taken by the decision-makers. These are shown in Table 9. The aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix is created. These are based on the aggregation of decision-makers' opinions as follows in Table 9:

Table 9. The Aggregated Intuitionistic Fuzzy Decision Matrix (R)

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	[0.339, 0.504, 0.158]	[0.493, 0.421, 0.086]	[0.500, 0.500, 0.000]	[0.532, 0.406, 0.061]	[0.553, 0.354, 0.094]
A ₂	[0.636, 0.208, 0.156]	[0.364, 0.448, 0.188]	[0.532, 0.406, 0.061]	[0.600, 0.250, 0.150]	[0.303, 0.501, 0.195]
A ₃	[0.725, 0.120, 0.155]	[0.713, 0.138, 0.149]	[0.458, 0.519, 0.024]	[0.662, 0.195, 0.143]	[0.543, 0.335, 0.122]
A ₄	[0.250, 0.600, 0.150]	[0.500, 0.500, 0.000]	[0.600, 0.250, 0.150]	[0.572, 0.195, 0.120]	[0.600, 0.250, 0.150]

Step 3. Determining the weights of the each criterion.

According to the equation, the importance of the criterion is created as linguistic terms are demonstrated in Table 10. The decision-makers' opinions on criterion are aggregated using Equation (7) to handle the weight of each criterion. Then, the weights of the criterion (W) are obtained by using IFWA (Intuitionistic fuzzy weighted averaging) decision-maker as below:

$$W = \{(0.697, 0.003, 0.300); (0.805, 0.02, 0.193); (0.782, 0.05, 0.214); (0.608, 0.004, 0.388); (0.594, 0.012, 0.394)\}$$

Step 4. The aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix are obtained by utilizing Equation (8). Then, this matrix is determined as:

Table 10. The Aggregated Intuitionistic Fuzzy Decision Matrix (R')

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	[0.236, 0.002, 0.047]	[0.397, 0.001, 0.017]	[0.391, 0.002, 0.000]	[0.324, 0.002, 0.024]	[0.328, 0.004, 0.037]
A_2	[0.443, 0.001, 0.047]	[0.293, 0.001, 0.036]	[0.416, 0.002, 0.013]	[0.365, 0.001, 0.058]	[0.180, 0.006, 0.077]
A_3	[0.506, 0.000, 0.046]	[0.574, 0.000, 0.029]	[0.358, 0.002, 0.005]	[0.402, 0.001, 0.056]	[0.323, 0.004, 0.048]
A_4	[0.174, 0.002, 0.045]	[0.403, 0.001, 0.000]	[0.469, 0.001, 0.032]	[0.348, 0.001, 0.047]	[0.356, 0.003, 0.059]

Step 5. Handling A^+ and A^- .

The intuitionistic fuzzy positive-ideal and negative-ideal solutions are obtained as follows:

$$r_1^* = (0.506, 0.000, 0.494)$$

$$r_2^* = (0.574, 0.000, 0.426)$$

$$r_3^* = (0.469, 0.001, 0.530)$$

$$r_4^* = (0.402, 0.001, 0.597)$$

$$r_5^* = (0.356, 0.003, 0.641)$$

$$r_1^- = (0.174, 0.002, 0.824)$$

$$r_2^- = (0.293, 0.001, 0.706)$$

$$r_3^- = (0.358, 0.002, 0.640)$$

$$r_4^- = (0.324, 0.002, 0.674)$$

$$r_5^- = (0.180, 0.006, 0.814)$$

Step 6. Calculating the S_i^* and S_i^- .

Table 11 demonstrated the negative and positive separation measures based on normalized Euclidean distance for each alternative.

Table 11. Separation Measures And The Relative Closeness Coefficient of Each Alternative

Alternatives	S_i^*	S_i^-	C_i
A1	1.332	1.666	2.917
A2	1.536	1.899	3.135
A3	1.325	2.157	3.785
A4	1.532	1.950	3.223

Step 7. Ranking the alternatives.

The alternative with the highest affinity coefficient means the most successful alternative with the highest score, and vice versa. The relative closeness coefficients are determined, and then four alternatives are sorted according to the descending order of C_i 's. The alternatives are ranked as $A_3 > A_4 > A_2 > A_1$. All in all, alternative three (A_3) is selected as an appropriate supplier among four alternatives.

5. Sensitivity Analysis

It is essential to consider if there is a change in the weights of the five main criterion. Therefore, a sensitivity analysis is performed depending on the weight of each main criterion. In the sensitivity analysis using MS Excel, the weights of the criterion are examined by changing as $w_1 = 0.30$, $w_2 = 0.40$, and $w_3 = 0.30$.

Table 12. The Aggregated Intuitionistic Fuzzy Decision Matrix (R'') for $w_1 = 0.30, w_2 = 0.40,$ and $w_3 = 0.30$

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	[0.264, 0.001, 0.048]	[0.380, 0.001, 0.019]	[0.391, 0.002, 0.000]	[0.324, 0.002, 0.024]	[0.322, 0.005, 0.031]
A ₂	[0.445, 0.001, 0.047]	[0.347, 0.001, 0.038]	[0.416, 0.002, 0.013]	[0.365, 0.001, 0.058]	[0.230, 0.005, 0.080]
A ₃	[0.497, 0.000, 0.047]	[0.557, 0.000, 0.028]	[0.340, 0.002, 0.008]	[0.392, 0.001, 0.055]	[0.306, 0.004, 0.054]
A ₄	[0.174, 0.002, 0.045]	[0.403, 0.001, 0.000]	[0.469, 0.001, 0.032]	[0.348, 0.001, 0.047]	[0.356, 0.003, 0.059]

It is handled intuitionistic fuzzy positive and negative-ideal solution. The intuitionistic fuzzy positive-ideal solution and intuitionistic fuzzy negative-ideal solution are determined for the sensitivity analysis (with the weights of the criterion $w_1 = 0.30, w_2 = 0.40,$ and $w_3 = 0.30$) as follows:

$$r_1^* = (0.497, 0.000, 0.503)$$

$$r_2^* = (0.557, 0.000, 0.443)$$

$$r_3^* = (0.469, 0.001, 0.530)$$

$$r_4^* = (0.392, 0.001, 0.607)$$

$$r_5^* = (0.356, 0.003, 0.641)$$

$$r_1^- = (0.174, 0.002, 0.824)$$

$$r_2^- = (0.347, 0.001, 0.652)$$

$$r_3^- = (0.340, 0.002, 0.658)$$

$$r_4^- = (0.324, 0.002, 0.674)$$

$$r_5^- = (0.230, 0.005, 0.765)$$

Table 13 demonstrated the both negative and positive separation measures based on normalized Euclidean distance for each alternative. These are calculated for sensitivity analysis in the next chapter.

Table 13. Separation Measures And The Relative Closeness Coefficient of Each Alternative For Sensitivity Analysis

Alternatives	Si*	Si-	C _i
A ₁	1.332	1.581	2.768
A ₂	1.536	1.866	3.081
A ₃	1.325	2.062	3.618
A ₄	1.537	1.864	3.077

It is obvious that the alternative with the highest affinity coefficient means the most successful alternative with the highest score, and vice versa. Finally, the alternatives were ranked as $A_3 > A_2 > A_4 > A_1$ when the weight of each main criterion are calculated respectively as $w_1 = 0.30, w_2 = 0.40,$ and $w_3 = 0.30$. According to this sensitivity analysis, there is no difference between the first and the last alternative. The second and the third alternatives are replaced after the weights of the criterion changed with 0.004 difference. After that, the weight of each main criterion are calculated respectively as $w_1 = 0.30, w_2 = 0.30,$ and $w_3 = 0.40,$ and the alternatives are ranked as the same with the conclusion ($A_3 > A_2 > A_4 > A_1$). Sensitivity analysis, according to the weight of each main criterion, is given in Figure 1. All in all, alternative three (A₃) are selected as an appropriate supplier among four alternatives for different weights. There is a minor change when Sensitivity Analysis is done according to the weight of each main criterion.

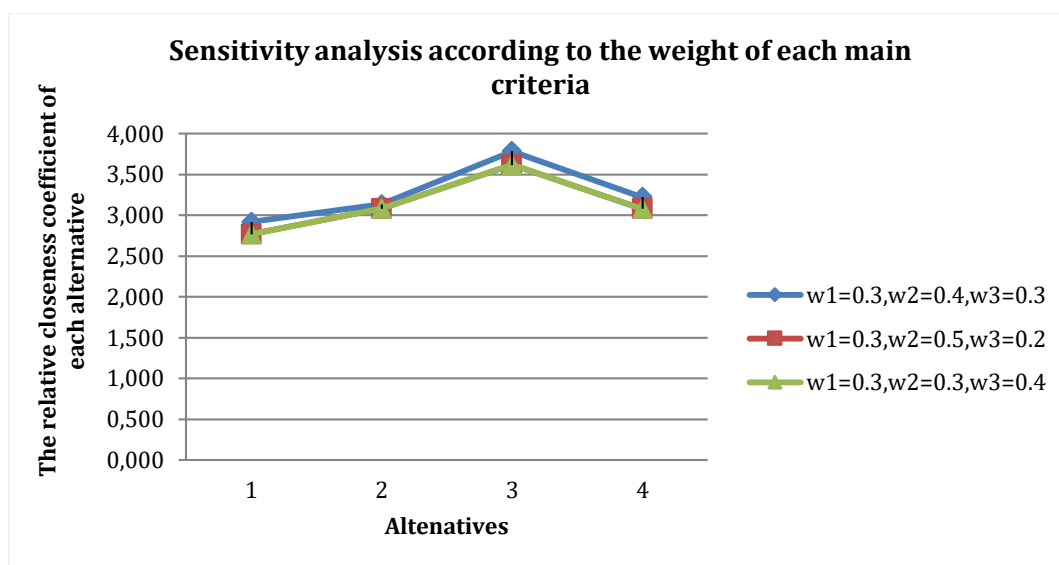


Figure 1. Sensitivity Analysis According to The Weight of Each Main Criterion

6. Conclusion

The purpose of this study is to analyze the orthodontic brackets suppliers according to the specified measurements and to select appropriate the best. The TOPSIS method is proposed. Group decision-making environment is used for these selection. Thus, these methods are combined for the study. Ambiguity is a common occurrence in decision making. The LP model has managed to deal with uncertainty. Uncertainty is inherent in decision-making processes, so intuitionistic fuzzy set is used by applying this method. According to the information handled from the decision-makers, the most suitable alternative is selected among four alternatives by using the intuitive fuzzy TOPSIS method. Linear programming (LP) methodology is utilized for the each weight of decision makers. Then, the linguistic terms are converted to intuitionistic fuzzy numbers. In order to handle intuitionistic fuzzy numbers, the ratings of each alternative concerning each criterion and the weights of each criterion are handled. Intuitionistic Fuzzy Weighted Average is mostly useful for combining heuristic fuzzy numbers. Both a heuristic fuzzy positive and negative ideal solutions are handled. All in all, the alternatives are ranked by obtaining these solutions. The methods used in this article can be expanded further and be effective in supplier selection decisions for all companies. The potential benefits from this approach can be used in making certain types of supplier selection decisions. In this way, the decisions taken are strengthened.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Atanassov K. T. (1994). Operators over interval valued intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 64(2), 159–174. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(94\)90331-X](https://doi.org/10.1016/0165-0114(94)90331-X)
- Biderci H., Canbaz B., Ergonomic Room Selection with Intuitive Fuzzy TOPSIS Method, *Procedia Computer Science*, Volume 158, 2019, Pages 58-67, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.153>
- Boran, F. E., Genç S., Kurt M., & Akay D. (2009). A multi-criterion intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363–11368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>
- Chen C.T., Lin C.T., Huang S.F., (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *Doi: 10.1016/j.ijpe.2005.03.009*
- Chou S. Y., Chang Y. H. (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2241–2253. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.03.001>
- Chou S.Y., Chang Y.H. (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach, *Expert Systems with Applications* Volume 34, Issue 4, Pages 2241-2253. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.03.001>
- Dargi A., Anjomshoae, A., Galankashi M. R., Memari A., Tap M.B.M (2014). Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach, Volume 31, 2014, Pages 691-700, *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.317>
- Dickson, G. W. (1966). An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5–17. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>

- Erginel N. (2016). Fuzzy multi-objective decision model for calibration supplier selection problem, *Computers & Industrial Engineering*. DOI: 10.1016/j.cie.2016.10.017
- Galankashi M., Helmi S. A., Hashemzahi P. (2016). Supplier selection in automobile industry: A mixed balanced scorecard–fuzzy AHP approach, *Alexandria Engineering Journal* Volume 55, Issue 1, March 2016, Pages 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.01.005>
- Gregory R.E., *Journal of Purchasing and Materials Management*, Source Selection: A Matrix Approach, 1986, <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1986.tb00159.x>
- Gulsun Nakiboglu & Berna Bulgurcu (2021) Supplier selection in a Turkish textile company by using intuitionistic fuzzy decision-making, *The Journal of The Textile Institute*, 112:2, 322-332, DOI: 10.1080/00405000.2020.1747675
- Haq, A. N., & Kannan, G. (2006). Fuzzy analytical hierarchy process for evaluating and selecting a vendor in a supply chain model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(7–8), 826–835. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-2562-8>
- Jain N., (2019). Sustainable supplier selection under must-be criteria through Fuzzy inference system, *Journal of Cleaner Production*. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119275
- Kara S.S. (2011). Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment, *Expert Systems with Applications* Volume 38, Issue 3, Pages 2133-2139. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.154>
- Kaya R., Yet B. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criterion decision problems. *Procedia Computer Science* Volume 133, 2018, Pages 905-912. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.05.053
- Kumar S., Kumar S., Barman A. (2018). Supplier selection using fuzzy TOPSIS multi criteria model for a small scale steel manufacturing unit. *Procedia Computer Science* Volume 133, 2018, Pages 905-912. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.097>
- Lei W. Gao Q. (2013). Linguistic terms description of separate index level. *International Journal of Environmental Protection and Policy* Vol. 1, No. 4, 2013, pp. 68-75. <https://doi.org/10.11648/j.ijpepp.20130104.14>
- Nydick, R. L., Hill, R.P., (1992), Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1992.tb00561.x>
- Önüt S., Kara S. S., & Işık E. (2009). Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 2), 3887–3895. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.045>
- Rouyendegh B.D. (2014). Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 116, 3957-3970. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.874>
- Sarkis, J., & Talluri, S. (2002). A Model for Strategic Supplier Selection. *Journal of Supply Chain Management*, 38(4), 18–28. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00117.x>
- Sindhu, M. S., Rashid, T., Kashif, A., & Guirao, J. L. G. (2019). Multiple Criterion Decision Making Based on Probabilistic Interval-Valued Hesitant Fuzzy Sets by Using LP Methodology. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1527612>
- Soukup W.R., (1987), “Supplier selection strategies”, *Journal of Purchasing and Materials Management*, 23, 77 – 82.
- Timmerman, E., 1986. An approach to vendor performance evaluation. *Journal of Purchasing and Materials Management* 22, 2–8.
- Thompson, K. N., (1990), Vendor Profile Analysis, *Journal of Purchasing and Materials Management*, <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1990.tb00494.x>
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. C. (1991). Vendor selection criterion and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2–18. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90033-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R)
- Xian S. and Guo, H., Novel supplier grading approach based on interval probability hesitant fuzzy linguistic TOPSIS, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103299>.
- You X.Y., You J.X., Liu H.C., Zhen L. (2015). Group multi-criteria supplier selection using an extended VIKOR method with interval 2-tuple linguistic information. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.004>
- Zadeh L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)



KAYNAK İŞLEMLERİNDE ÇALIŞAN PERSONEL İÇİN REBA METODU İLE ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ: KRİYOJENİK TANK İMALATI SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Semih KANSU*, Turgay PARLAK, Ali Fuat GÜNERİ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İş sağlığı ve güvenliği,
Kaynak İşlemleri,
Ergonomi,
Risk Analizi,
REBA.

Öz

İmalat sanayiinde makineleşmenin yeri ve öneminin giderek artmasına rağmen; üretimin vazgeçilmez bir unsuru olan insanın etkisini kaybettiği söylenemez. Üretimde sürekliliğin sağlanması, üretimin dış bir göz tarafından izlenmesi, imalat esnasında yerinde dokunuşların yapılması ve beceri gerektiren faaliyetlerin yerine getirilmesinde en önemli faktör olan insan, çalışan olarak, bu sistem içerisindeki temel öğedir. Dolayısıyla; üretimin aksamaması, çalışanların görevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi adına ergonomik çalışmalar yapılmalıdır. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme “Rapid Entire Body Assessment (REBA)” metodu çalışma esnasında personelin duruş, eğilme, dönme, güç uygulama ve tutuş gibi hareketler esnasında kas iskelet sisteminin maruz olabileceği ergonomik riskin kolay ve hızlı bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu çalışmada REBA metodunun kriyojenik tank imalatı yapan bir firmada yapılan uygulamasına yer verilmiş olup, kaynak operasyonlarında çalışan personel için ergonomik riskin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kaynakçı olarak çalışan 11 katılımcı için belirlenen 18 farklı çalışma duruşuna dair ergonomik risk değerlendirilmesi yapılmıştır. REBA puanları 3 ila 11 arasında gerçekleşmiş, en çok gövde (sırt), bacaklar ve kol kısımlarında zorlanmaların yaşandığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygunsuz durumlar için ergonomik risk seviyesini azaltmak adına çeşitli öneriler sunulmuştur.

ERGONOMIC RISK ASSESSMENT WITH REBA METHOD FOR THE EMPLOYEES WORKING IN WELDING OPERATIONS: AN APPLICATION IN THE CRYOGENIC TANK MANUFACTURING INDUSTRY

Keywords

Occupational Health and Safety,
Welding Operations,
Ergonomics,
Risk Assessment,
REBA.

Abstract

Although the importance and having a place of mechanization in manufacturing industry has increased; it cannot be said that human being, which is an indispensable element of production, has lost his effect. Human, as the employee, which is the most important factor in ensuring continuity in production, monitoring the production by an external eye, making on-site touches during manufacturing, and performing skillful activities, is the basic element in this system. Hence, ergonomic studies should be carried out; so that production does not go wrong and employees can perform their duties in a healthy way. Rapid Entire Body Assessment (REBA) method enables to assess the ergonomic risk of employees' that their musculoskeletal system may be exposed to, during movements such as posture, stoop, turning, applying force and holding, easily and quickly. In this study, the application of REBA method in a company which is manufacturing cryogenic tanks is given and it is aimed to evaluate the ergonomic risk for personnel working in welding operations. An ergonomic risk assessment was made for 18 different working postures determined for 11 participants working as welding operators. REBA scores were between 3 and 11, and it was observed that most of the problems were experienced in the trunk (back), legs and arms. According to the results, various suggestions have been presented in order

* İlgili yazar / Corresponding author: semihkansu1990@gmail.com, +90-554-864-8464

to reduce the ergonomic risk level for inappropriate situations.

Alıntı / Cite

Kansu, S., Parlak, T., Güneri, A. F., (2021). Kaynak İşlemlerinde Çalışan Personel için REBA Metodu ile Ergonomik Risk Değerlendirmesi: Kriyojenik Tank İmalatı Sektöründe Bir Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 952-968.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Kansu, 0000-0003-2204-6942
T. Parlak, 0000-0003-1956-5629
A. F. Güneri, 0000-0003-2525-7278

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.02.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

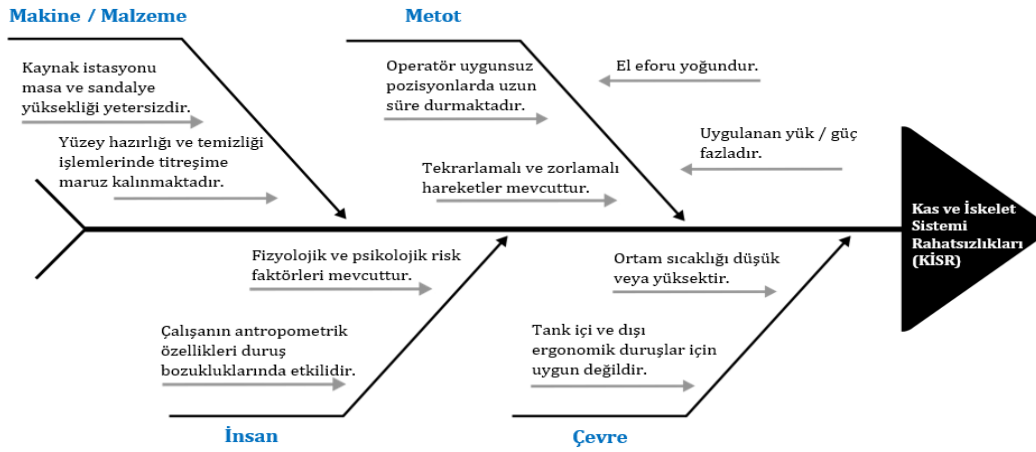
1. Giriş (Introduction)

Sanayileşmenin artmasıyla birlikte, Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları (KİSR) yaygın bir sorun haline gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü 2003 yılında, KİSR'lerin yaygınlığının, 2000 yılındaki yaygınlığa kıyasla 2020'de iki kattan fazla olacağını belirtmiştir (World Health Organization, 2003). Faaliyetler sırasındaki uygunsuz duruşlar KİSR olarak kendini göstermekte, çalışan performansını ve üretim kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışma şekilleri KİSR'in yanı sıra kalbin ve akciğerlerin enerji tüketimini de artırır. Dolayısıyla oturma, ayakta durma, kaldırma, çekme ve itme gibi sıradan duruşlar ve hareketler için görevleri ve işyerini optimize etmek gerekir (Dul ve Weerdmeester, 2008). Bu yüzden çalışma duruşlarının ergonomik olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi personel verimliliği, üretimin devamlılığı, kalitenin korunması, sağlık sorunlarından kaynaklanacak maddi ve manevi kayıpların önlenmesi adına önemli bir yere sahiptir (Parlak, 2017).

Ergonomi insan güvenliği, sağlığı, konforu ve performansını artıracak şekilde cihazlar, teknik sistemler ve görevler tasarlamayı amaçlamaktadır (Dul ve Weerdmeester, 2008). Çalışanların duruşları ve faaliyetleri ergonomik olarak pek çok değişik yöntem (RULA, OWAS, REBA, QEC, PLIBEL, ManTRA vb.) kullanılarak değerlendirilebilmektedir (Mert, 2014). İşyerlerindeki tehlikeleri belirleme ve riskleri değerlendirmede de çeşitli yöntemler (Fine-Kinney, Matris, FMEA vb.) kullanılmaktadır. Bu değerlendirme metotları tek başına tercih edilebileceği gibi bir karma olarak da uygulanabilmektedir. Yapılacak değerlendirmeler sonucunda üretim hattı ve planı değişiklikleri, çalışma ortamına özgü alınabilecek tedbirler, yönetsel ve teknik tedbirler, çalışanların eğitimi gibi uygulamalarla daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulabilir. Ayrıca kullanılan karma değerlendirme yöntemleri ile firmanın kalite yönetim sistemine yön verilebilmekte, müşteri memnuniyetsizlikleri giderilebilmekte ve böylece hizmet kalitesine katkıda bulunulabilmektedir (Kansu, 2017).

Kaynakçılık çalışma şartlarının ağırlığı, iş yoğunluğu ve el becerisi istemesi nedeniyle zorlu mesleklerdendir. Kaynak işlerinde yapılacak işte yetişmiş kalifiye personelin bulunmaması, otomasyona yönelimi %29 artırmıştır (Fryer, 2020). Uluslararası Robotik Federasyonu tarafından 2017 yıl sonu itibarıyla endüstriyel alanda 2 milyondan fazla robot olduğu, bu rakamın 2021 yılında %80 artışla 3,8 milyon olacağı; küresel robotik kaynak pazarının da 2023 yılında %8,91 büyümeyle 5,96 milyar dolara ulaşacağını tahmin edildiği belirtilmiştir (Airikka, 2020). Otomasyon sistemleri işlemin hassasiyeti ve verimliliği, hata payının azalması, üretimin sürekliliği, kullanılan malzeme israfının önlenmesi, üretimde enerji tasarrufu, maliyetin düşmesi gibi konularda olumlu katkı sağlayacaktır. Ayrıca zorlayıcı fiziksel çalışma şartları, tehlikeli çevre faktörleri gibi iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından tehlikeli durumlara maruz kalabilecek çalışanların dolaylı olarak da olsa korunması sağlanabilecektir (Fryer, 2020).

Bu çalışmada kriyojenik tank imalatı yapan bir firmada kaynak operasyonlarında çalışanların ergonomik olarak maruz kaldıkları riskin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışanların yapılan işler esnasında sergilediği duruş ve pozisyonları; yapılan iş, çalışma süresi ve tuttıkları, kaldırdıkları veya taşıdıkları yükün ağırlığı ile orantılı olarak vücutta fiziksel zorlanmalara, yorgunluğa ve dolayısıyla verimsizliğe sebep olmaktadır. Faaliyetler esnasında sergilenen uygunsuz çalışma duruşları uzun dönemde KİSR'i beraberinde getirmektedir. Bu çalışmadaki problem kaynak operasyonlarında çalışanların KİSR'den etkilenmesi olarak tanımlanmıştır. KİSR ile alakalı olası sebeplerin tanımlanması ve probleme genel bir bakış açısı sağlamak amacıyla neden-sonuç diyagramı veya Ishikawa diyagramı olarak da bilinen balık kılıcı diyagramı tekniğinden faydalanılmıştır. Yazarlar ve uygulama yapılan firmadaki mühendisler tarafından beyin fırtınası tekniğinden faydalanılarak oluşturulan balık kılıcı diyagramı ile KİSR ile alakalı olası sebepler makine/malzeme, metot, insan ve çevre faktörleri altında değerlendirilmiştir. KİSR ile alakalı olası sebepler için oluşturulan balık kılıcı diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. KİSR ile alakalı olası sebepler için balık kılçığı diyagramı (Fishbone diagram for possible causes of MSDs)

Balık kılçığı diyagramıyla belirlenen sebeplerden özellikle metot faktörü ve kısmen makine/malzeme faktörü altındaki sebepler ergonomik açıdan uygunsuz duruşların kaynağını oluşturmaktadır. Bu sebeple, ilgili firmanın kaynak operasyonlarında çalışanların uygunsuz çalışma duruşları için REBA metodu kullanılarak ergonomik açıdan risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı gözlemlenmiş, belirlenen faaliyetler esnasında fotoğraflar çekilerek çalışanların duruş, uzanış, zorlanma, yüklenme gibi pozisyonlarda kas ve iskelet sistemlerinde gözlemlenen zorlanmalara sayısal değerler verilerek risk skorları tespit edilmiştir. Tespit edilen risk skorları derecelendirilerek öncelikler belirlenmiş ve risk seviyesi yüksek olan faaliyetler için önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde konuyla ilgili kaynak araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde REBA metodunun uygulanış şekli teknik olarak açıklanmış, ardından kriyojenik tank imalatı sürecinin kaynak işlemlerinde bir uygulaması verilmiştir. Dördüncü bölümde ise elde edilen uygulama sonunda elde edilen bulgular tartışılmış ve Sonuç bölümüyle çalışma sonlandırılmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Hignett ve McAtamney (Hignett ve McAtamney, 2000) tarafından geliştirilen REBA metodu, özellikle sağlık sektörü ve hizmet endüstrisinde yer alan diğer sektörler için, tahmin edilemeyen çalışma duruşlarına duyarlı bir metot ihtiyacına yönelik olarak ortaya koyulmuştur. Günümüzde bu yöntemin hem hizmet hem de imalat endüstrisinde çok çeşitli alanlarda uygulanmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Rud (Rud, 2011) kargo işi yapılan bir şirkette, kutuların kaldırılma yüksekliğini REBA ile incelemiştir. Serratos-Perez ve diğerleri (Serratos-Perez vd., 2011) eksenrik millerinin imalatında çalışanların ergonomik olarak değerlendirilmesinde REBA yönteminden faydalanmıştır. Sağiroğlu, Coşkun ve Erginel (Sağiroğlu vd., 2015) REBA yöntemi ile bir üretim hattında yer alan 10 adet iş istasyonunu değerlendirmiş ve gerekli iyileştirme önerilerini sunmuştur. Atıcı, Gönen ve Oral (Atıcı vd., 2015) otomotiv sektörü için kablo üretimi yapılan bir işyerinde REBA metodu ile değerlendirmeler yapmıştır. Madani ve Dababneh (Madani ve Dababneh, 2016) çalışmasında REBA metodu ile sağlık çalışanlarının duruşları üzerinde inceleme yapmıştır. Erginel, Toptancı ve Acar (Erginel vd., 2018) mobilya üretimi yapılan bir işletmede çalışan duruşlarını bulanık REBA yöntemi ile değerlendirmiştir. Lascano ve ark. (Lascano vd., 2019) Ekvador'da et endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmanın kesim alanında çalışan işçilerin yaptıkları işe bağlı olarak zorunlu duruşlara dayalı risk seviyesini belirlemeyi amaçlamıştır. Kâhya ve Gürleyen (Kahya ve Gürleyen, 2018) kombi imalatı yapan bir işletmenin montaj hattında belirledikleri 15 istasyonun ergonomik açıdan risk değerlendirmesini yapmıştır. Am-Eam ve ark. (Am-Eam vd., 2019) bir bakım atölyesinde çalışan ve günde 22 bozuk makineyi tamir etmek zorunda olan 8 işçi için, bel ağrısı problemlerine sebep olan çalışma pozisyonlarını REBA yöntemi ile değerlendirmiştir. Dwyer ve ark. (Dwyer vd., 2020) çalışmalarında robotik genel cerrahların duruşlarını değerlendirmek için REBA ve RULA yöntemlerini kullanmıştır. Joshi ve Deshpande (Joshi ve Deshpande, 2019) ergonomik risk değerlendirme teknikleri olan OWAS, REBA ve RULA'nın genel bir karşılaştırmasını yapmıştır. Enez ve Nalbantoğlu (Enez ve Nalbantoğlu, 2015) ormancılık işçilerinin hasat sırasındaki farklı çalışma duruşlarını OWAS ve REBA kullanarak incelemiştir. Kee, Na ve Chung (Kee vd., 2020) simetrik ve asimetrik vücut duruşları için maksimum tutma sürelerini ölçmeye ve değerlendirmeye çalışmışlardır. Tüm bunlarla birlikte REBA metodu hem tek başına hem de diğer yöntemlerle birlikte kullanılarak farklı alanlarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Son yıllarda REBA metodunu kullanan araştırmacılar ve çalışma alanları (Researchers who used the REBA method and their fields of study in recent years)

NO	YIL	YAZARLAR	ÇALIŞMA YAPILAN ALAN
1	2005	Coyle (Coyle, 2015)	Süpermarket endüstrisindeki manuel elleçleme işlemleri
2	2006	Janovitz ve ark. (Janowitz, 2006)	Hastane ortamı
3	2006	Sa ve ark. (Sa vd., 2006)	Diş hizmetlerde postüral stres
4	2009	Ghazali ve ark. (Ghazali vd., 2009)	Bilgisayar laboratuvarı
5	2010	Atasoy ve ark. (Atasoy vd., 2010)	Laboratuvar çalışanları
6	2010	Gentzler ve Stader (Gentzler ve Stader, 2010)	İtfaiyeciler ve acil tıp teknikerleri
7	2012	Chiasson ve ark. (Chiasson vd., 2012)	Farklı sektörlerdeki iş istasyonlarının karşılaştırılması
8	2012	Hashim ve ark. (Hashim vd., 2012)	Okul atölyesi
9	2012	Kahraman (Kahraman, 2012)	Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri
10	2013	Shanahan ve ark. (Shanahan vd., 2013)	İnşaat işleri
11	2014	Lasota (Lasota, 2014)	Lojistik sektörde paketleyiciler
12	2014	Mert (Mert, 2014)	Çanta imalat atölyesi
13	2014	Liu (Liu, 2014)	Kas iskelet sistemleri için risk değerlendirmeleri
14	2015	Ayan (Ayan, 2015)	Otomotiv sektörü montaj hattı
15	2015	Bartnicka (Bartnicka, 2015)	Hemşirelerin ve cerrahların cerrahi servisindeki çalışmaları
16	2015	Duran ve Yeşilova (Duran, 2015)	Manuel yüklemeler
17	2015	Mork ve Choi (Mork ve Choi, 2015)	Kimya laboratuvarı
18	2015	Okan ve Kaya (Okan ve Kaya, 2015)	Fidanlık çalışanları
19	2016	Koç ve Testik (Koç ve Testik, 2016)	Mobilya sektörü
20	2016	Vachhani ve ark. (Vachhani vd., 2016)	İnşaat işleri
21	2016	Neşeli (Neşeli, 2016)	Sac kalıp imalatı fabrikası
22	2017	Baba ve ark. (Deros vd., 2017)	Otomotiv sektörü
23	2017	Can ve ark. (Can vd., 2017)	Pim imalatı yapan bir fabrika
24	2017	Çiçek ve ark. (Çiçek vd., 2017)	Mobilya işletmesi montaj hattı
25	2017	Felekoğlu ve Taşan (Felekoğlu ve Taşan, 2017)	Metal sektörü
26	2017	Polat ve ark. (Polat vd., 2017)	Mobilya fabrikası
27	2017	Erçelik (Erçelik, 2017)	Lastik imalat fabrikası
28	2017	Anand ve ark. (Anand vd., 2017)	Tekstil sektöründe hamile çalışanlar
29	2018	Delice ve ark. (Delice vd., 2018)	Tüp üretim fabrikası
30	2018	Özay ve Doğanbatır (Özay ve Doğanbatır, 2018)	Süpermarket
31	2018	Aydın ve ark. (Aydın vd., 2018)	Traktör kabini, tarım makinesi üretimi
32	2018	Oral ve ark. (Oral vd., 2018)	Yem üretim tesisi
33	2019	Yaylı ve Çalışkan (Yaylı ve Çalışkan, 2019)	Orman fidanlığında çalışanlar
34	2019	Kuzucuoğlu (Kuzucuoğlu, 2019)	Otomotiv üstyapı (taşıyıcı araç, araç parçaları, araç üstü ekipman, iş ve inşaat makineleri üretimi vb.) imalatı
35	2019	Çakır (Çakır, 2019)	İnşaat işleri
36	2019	Çoker (Çoker, 2019)	Tekstil işletmesi
37	2019	Kâhya ve Söylemez (Kahya ve Söylemez, 2019)	Jant fabrikası
38	2020	Erdemir ve Eldem (Erdemir ve Eldem, 2020)	Döküm fabrikası, pota döküm aşaması
39	2020	Liaz ve ark. (Ijaz vd., 2020)	Tuğla endüstrisi
40	2020	Berber (Berber, 2020)	Gıda ürünleri (ambalajlama, paketlenme depo sevk vb.) imalatı

Yapılan literatür taramasında REBA metodunun son yıllarda hem üretim hem hizmet sektöründe çalışanların duruş bozukluklarından kaynaklanan ergonomik risk değerlendirmesini yapmak için kullanıldığı ve elde edilen

sonuçlara göre yüksek bulunan risk seviyelerini kabul edilebilir düzeylere düşürmek için çeşitli iyileştirme önerilerinde bulunulduğu görülmektedir. Literatürde depolama tankı imalatı sektöründe kaynak işleri için ergonomik risk değerlendirme çalışmasının bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışma bu alandaki boşluğu doldurma bakımından orijinaldir. Ayrıca imalat sektöründe çokça yer alan kaynak operasyonlarında çalışanların maruz kaldığı ergonomik riskler neticesinde KİSR yaşama olasılığını düşürme bağlamında gerçek bir sanayi kuruluşunda uygulama yapılması bakımından literatüre hem akademik hem de pratik açıdan katkı sağlamaktadır. Hazırlanan bu çalışma ile hem kriyojenik tank imalatı sürecinde hem de farklı sanayi kollarında yer alan kaynak işleri için risk değerlendirme konusunda temel değerlendirme kaynağı olabilecek bir araştırmannın literatürde yer alması hedeflenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan REBA metodu kullanılmıştır. Kaynak faaliyetleri sırasında çalışanların duruş ve pozisyonları fotoğraflanmış, metot bağlamında değerlendirmeye alınmış ve risk skorları tespit edilmiştir. Risk skorunun değerine göre, risk seviyesinin yüksekliği belirlenerek ilgili risk seviyesini düşürmek adına çözüm önerileri sunulmuştur.

3.1. REBA Metodu (REBA Method)













REBA metodu, Hignett ve McAtamney (Hignett ve McAtamney, 2000) tarafından, çalışanların faaliyetleri nedeniyle oluşabilecek, kas iskelet sistemi bozukluklarını ergonomik açıdan değerlendirmek için pahalı ekipmanlara, ileri derecede karışık yöntemlere ihtiyaç duymadan, kolay ve hızlı bir şekilde değerlendirmek üzere önerilmiştir. Ergonomist, fizyoterapist, mesleki terapist ve hemşirelerden bir değerlendirilme ekibi oluşturulmuş, değerlendirme yapılması için 600'den fazla duruş ve çalışma şekli ile ilgili örnek toplanmıştır. Bu örneklerde dinamik ve statik duruşların ve çalışma şekillerinin, çalışma esnasında çalışanın vücuduna uyguladığı yüklemeleri/yüklenmeleri, insan yük eşleşmesi gibi konular değerlendirilmiş, işlemler esnasında uzuvların konumları kodlanmış ve REBA analizinde kullanılmak üzere değerlendirme tabloları oluşturulmuştur (Hignett ve McAtamney, 2000). Bu metot öncelikle sağlık ve diğer hizmet sektörlerinde öngörülemeyen duruşlara karşı tasarlanmış olsa da ilerleyen dönemlerde yaygın bir uygulama alanına kavuşmuştur (Sağiroğlu vd., 2015).

REBA metodu anket benzeri bir uygulama yöntemidir. Çalışmalar esnasında vücudu komple gözlemek ve değerlendirme yapmak için uygundur. Boyun, sırt, kol, bacak ve bileklerin maruziyetleri birlikte analiz edilebilmektedir. Kas iskelet sistemini yapılan iş için değerlendirme imkânı sunar. Hazırlanmış tablolar sayesinde kullanılması ve değerlendirme yapılması kolay ve hızlıdır. Belirlenen duruş, hareket ve faaliyetlerin risk seviyesi sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Dinamik, statik ve kararsız duruşlar, hızlı hareketler gibi etkenlerin kas aktivitesi üzerindeki etkisi puanlanarak değerlendirmeye katılabilir. Bu sayede her bir çalışma şekli ve duruşu için ayrı ayrı risk seviyesi tespiti yapılabilmektedir (Atıcı vd., 2015). Elde edilen risk seviyelerine göre derecelendirme yapılarak gerçekleştirilmesi gereken eylemlerin aciliyeti ön plana çıkartılabilir. Ayrıca değerlendirilmiş bir çalışma duruşu, hareketi için risk seviyesi belirlenip iyileştirme faaliyetleri yapıldığında, öncesi ve sonrası fark göz önünde bulundurularak, uygulanan işlemin faydalı olup olmadığı ortaya çıkarılabilir (Esen ve Fırlalı, 2013).

REBA metodunun uygulanması için, ilk olarak faaliyetler gözlemlenmeli, görsel kayıtlar alınmalı, yapılan çalışma ile ilgili bilgi toplanmalı ve çalışanla görüşülmelidir. İkinci olarak faaliyet esnasındaki duruşlar belirlenmelidir. Sonraki aşamada duruşlar puanlandırılmalıdır. Metot için hazırlanmış olan tablolardan puanlar işlenip skorlar elde edilmelidir. Skora göre nihai REBA risk skoru elde edilmelidir. Sonuç kısmında da elde edilen puana göre risk seviyesi belirlenmelidir. Risk seviyesine göre önlemler ve yapılması gerekenler planlanmalıdır.

Çalışanın, çalışma anındaki duruşunun değerlendirilerek, sayısal bir veriye dönüştürülmesi için, faaliyetten etkilenen vücut kısımları, uzuvları, A Grubu ve B Grubu olarak iki kısma ayrılmıştır. A Grubu olarak nitelendirilen kısım: Boyun, gövde ve bacaklar; B Grubu olarak nitelendirilen kısım: Üst kol, alt kol ve bilekler olarak belirlenmiştir. İlk önce A Grubu için değerlendirme yapılır. Boyun, gövde (sırt) ve bacakların duruş pozisyonlarına ve ilave dönüş ve yana eğilme gibi belirtilen ek puanlar ilave edilir. A Grubu değerlendirmesinde Tablo A değerinin tespit edilmesi için duruşlara karşılık gelen değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tablo A değeri tespiti için duruşlar ve değerler (Postures and values for determination of Table A value) (Hignnet ve McAtamney, 2000)

A Grubu: Boyun, gövde ve bacak analizi					
1. Adım: Boyun değerlendirmesi					
Duruş şekli					
Puan	1	2	2		
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Boyunda dönme varsa ilave				1	
Boyunda sağa-sola eğilme varsa ilave				1	
2. Adım: Gövde değerlendirmesi					
Duruş şekli					
Puan	1	2	2	3	4
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Gövde de dönme varsa ilave				1	
Gövde de sağa-sola eğilme varsa ilave				1	
3. Adım: Bacak değerlendirmesi					
Duruş şekli			İlave değişim için:		
	Yük iki bacak üzerinde eşit dağılım, yürüme veya oturma	Yük tek bacak üzerinde, dengesiz duruşlar			
Puan	1	2			
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Dizler 30° ile 60° arasında bükülüyorsa ilave				1	
Dizler 60°'den fazla arasında bükülüyorsa ilave (otururken hariç)				2	
4. Adım: İlk üç aşama puanlarının Tablo A'da karşılığı olan sayısal değerinin bulunması					


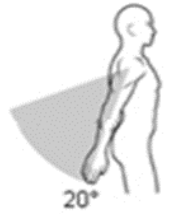


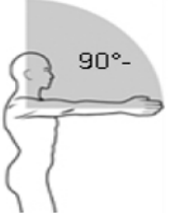
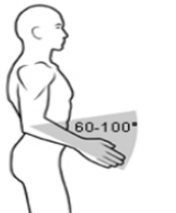
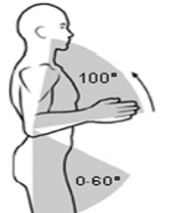
Belirtilen uzuvlar için elde edilen değerler, Tablo 3'te belirtilen, Tablo A kullanılarak sayısal değere dönüştürülür. Bulunan bu Tablo A değerine, uygulanan güç/yük değeri ve ilave durumlar için belirtilen puanlar eklenerek A skoru elde edilir. Boyun, gövde ve bacak puanları kullanılarak Tablo A değerinin tespit edilmesi ve sonrasında taşınan yük/uygulanan güç değerlendirmesinin yapılarak A skorunun belirlenme şekli Tablo 3'te verilmiştir.


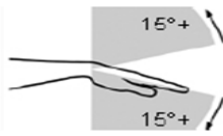
Tablo 3. Tablo A değeri tespiti ve A skorunun belirlenmesi (Determination of Table A value and A score) (Hignnet ve McAtamney, 2000)

Tablo A: Boyun, gövde ve bacak puanı													
		Boyun											
		1				2				3			
Bacak		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Gövde	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9
5. Adım: Taşınan yük ve uygulanan güç için değerlendirme yapılması													
Uygulanan yük/güç 5 kg'dan az ise (yük/güç <5)												0	
Uygulanan yük/güç 5 kg'dan fazla 10 kg'dan az ise (5 <yük/güç <10)												1	
Uygulanan yük/güç 10 kg'dan fazla ise (yük/güç > 10)												2	
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:													
Taşınan yük/uygulanan güçte şok, sarsıntı varsa ilave												1	
Taşınan yük/uygulanan güçte ani değişim varsa ilave												1	
6. Adım: Tablo A'da belirlenen değer ile 5. adımda belirlenen değer toplanır ve A skoru elde edilir. Bu değer Tablo C'de kullanılır.													

Sonraki adımda B Grubu için değerlendirme yapılır. Üst kol, alt kol ve bileklerin duruş pozisyonlarına ve ilave dönüş ve yana eğilme gibi belirtilen ek puanlar ilave edilir. B Grubu değerlendirmesinde Tablo B değerinin tespit edilmesi için duruşlara karşılık gelen değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Tablo B değeri tespiti için duruşlar ve değerler (Postures and values for determination of Table B value) (Hignnet ve McAtamney, 2000)

B Grubu: Üst kol, alt kol ve bilek analizi					
1. Adım: Üst kol değerlendirmesi					
Duruş şekli					
Puan	1	2	2	3	4
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:					
Omuzlar yukarı kalkık çalışma yapılıyorsa ilave					1
Çalışma sırasında üst kolun hareketi engelleniyorsa ilave					1
Çalışma sırasında kollar destekleniyorsa, çalışmaya yardımcı unsurlar varsa ilave					-1
2. Adım: Alt kol değerlendirmesi					
Duruş şekli					
Puan	1	2			

3. Adım: Bilek değerlendirilmesi		
Duruş şekli		
Puan	1	2
Yapılan iş gereği ekstra hareket varsa ilave edilecek puan:		
Bilekler sağa veya sola bükülüyorsa ilave		1
Bilekler döndürülüyorsa ilave		1
4. Adım: İlk üç aşama puanlarının Tablo B'de karşılığı olan sayısal değer bulunması		

Belirtilen uzuvlar için elde edilen değerler Tablo B kullanılarak sayısal değere dönüştürülür. Bulunan bu Tablo B değerine, tutma/kavrama değeri eklenerek B skoru elde edilir. Üst kol, alt kol ve bilek puanları kullanılarak Tablo B değerinin tespit edilmesi ve sonrasında tutma/kavrama değerlendirmesinin yapılarak B skorunun belirlenme şekli Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tablo B değeri tespiti ve B skorunun belirlenmesi (Determination of Table B value and B score) (Hignnet ve McAtamney, 2000)

Tablo B: Üst kol, alt kol ve bilek puanı							
		Alt kol					
		1			2		
Bilek		1	2	3	1	2	3
Üst kol	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9
5. Adım: Tutuş/kavrayış şekli, uygunluğu için değerlendirme yapılması							
Kullanılan ekipmanın tutama yerleri uygun ve orta şiddetli kuvvet uygulaması için							0
Tutuş şekli kabul edilebilir ancak ideal değil veya vücudun başka bir organıyla destekleniyor olması hali için							1
El tutuş şekli kabul edilemez ancak mümkün, zayıf olması hali için							2
Tutma yeri yok, herhangi şekilde elle tutmak veya vücutla desteklemek mümkün değil, güvensiz, kabul edilemez.							3
6. Adım: Tablo B'de belirlenen değer ile 5. adımda belirlenen değer toplanır ve B skoru elde edilir. Bu değer Tablo C'de kullanılır.							

Önceki aşamalarda belirlenen A ve B skorları kullanılarak, Tablo 6'da verilen, Tablo C kullanılarak Tablo C değeri elde edilir.

Tablo 6. Tablo C değerinin elde edilmesi (Obtaining the Table C value) (Higgnet ve McAtamney, 2000)

Tablo C: A ve B skorlarının değerlendirilmesi													
		B Skoru											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A Skoru	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

7. Adım: A ve B skorları kullanılarak Tablo C değerinin elde edilmesi

Bulunan Tablo C değerine, aktivite yoğunluğuna göre ilave puanı eklenerek REBA risk skoru elde edilir. Tablo C değerine ilave edilecek aktivite yoğunluğu değerlendirme tablosu, Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Aktivite yoğunluğu (Activity intensity) (Higgnet ve McAtamney, 2000)

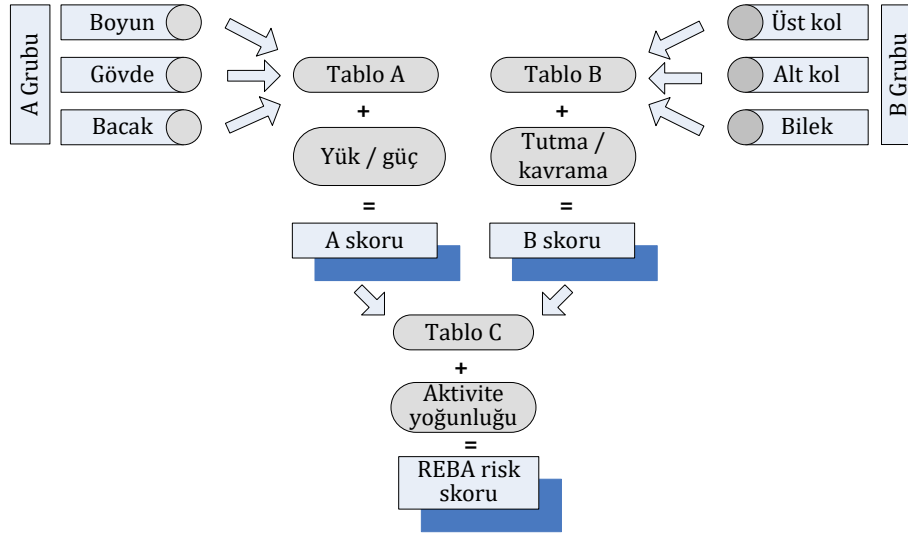
8. Adım: Aktivite yoğunluğuna göre değerlendirme yapılması	
Bir veya daha fazla organın, aynı pozisyonda bir dakikadan fazla kalması durumunda (statik duruş)	1
Küçük aralıklarla tekrarlanan eylemler varsa (dakikada 4 kez veya fazla sayıda)	1
Eylemde, duruşta hızlı bir şekilde değişiklik olması halinde	1

Yapılan işlemler sonucunda elde ettiğimiz REBA risk skorunun; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak derecelendirmesi yapılır ve alınacak tedbirlerin önceliğine karar verilir. REBA risk skorlarına karşılık gelen risk seviyeleri ve ilgili risk seviyesinde alınacak eylem/aksiyon durumları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. REBA risk skoruna göre risk seviyesi ve eylem durumunun tespiti (Determination of risk level and action status according to the REBA risk score) (Higgnet ve McAtamney, 2000)

9. Adım: Tablo C değeri ile aktivite yoğunluğu değeri toplanarak REBA risk skoru belirlenir.			
Risk öncelik seviyesi	REBA risk skoru	Risk seviyesi	Eylem/aksiyon durumu
0	1	Çok düşük	İhmal edilebilir risk
1	2-3	Düşük	Düşük risk. Değişiklik gerekli olabilir.
2	4-7	Orta	Orta şiddetli risk. Daha fazla araştır. Yakın zamanda değişiklik yapılabilir.
3	8-10	Yüksek	Yüksek risk. Araştır ve değişiklikleri uygula
4	11-15	Çok yüksek	Çok yüksek risk. Değişiklik yap.

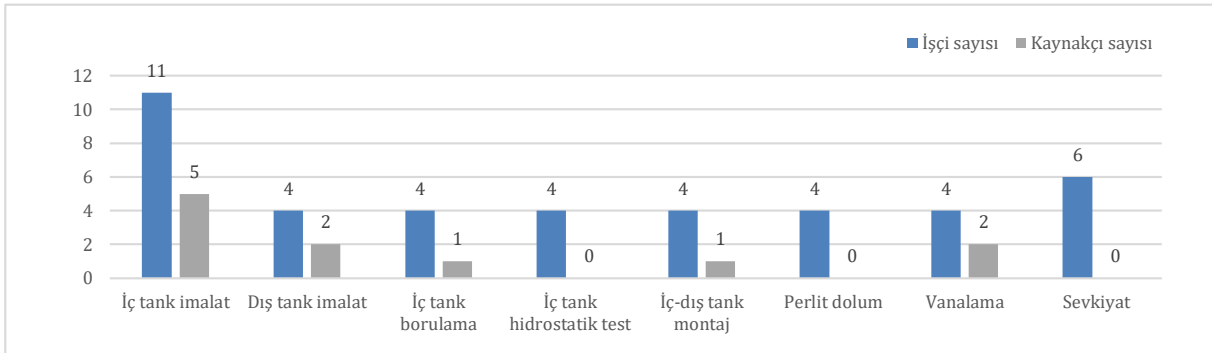
Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan REBA risk skoru puanlama aşamaları Şekil 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. REBA risk skoru puanlama aşamaları (Scoring stages of the REBA risk score)

3.2. Uygulama (Application)

Çalışma, kriyojenik (likit argon, azot, oksijen, lng, karbondioksit vb. için) depolama tankı imalatı yapan bir firmada uygulanmıştır. Depolama tankları, silindir bükme makinelerinde yuvarlatılarak birbirine kaynaklanmış, parçalar halinde paslanmaz çelik silindirlerin, birleştirilip kaynaklanmasıyla imal edilmektedir. Tanklar çift cidarlı ve vakum izolasyonlu olup, iç tank paslanmaz çelik (304L), dış tank karbon çeliğinden imal edilmektedir. Firmadaki üretim süreçleri ise iç tank imalat, dış tank imalat, iç tank borulama, iç tank hidrostatik test, iç-dış tank montaj, perlit dolum, vanalama ve sevkiyat olmak üzere farklı bölümlere ayrılmıştır. Her bir bölümde çalışan işçi ve kaynakçı sayısı Şekil 3'te gösterilmiştir. Çalışma kapsamında firmada çalışan toplam 11 kaynak işçisi katılımcı olarak ele alınarak farklı çalışma duruşları esnasında incelenmiştir.



Şekil 3. Çalışan işçi ve kaynakçı sayısı (Number of workers and welders)

Uygulamada ilgili firmanın imalat sürecinde kaynak operasyonlarına ait 18 iş tanımı ve bu iş tanımlarına ait çalışma duruşları ele alınmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen iş tanımları Tablo 9'da verilmiştir.

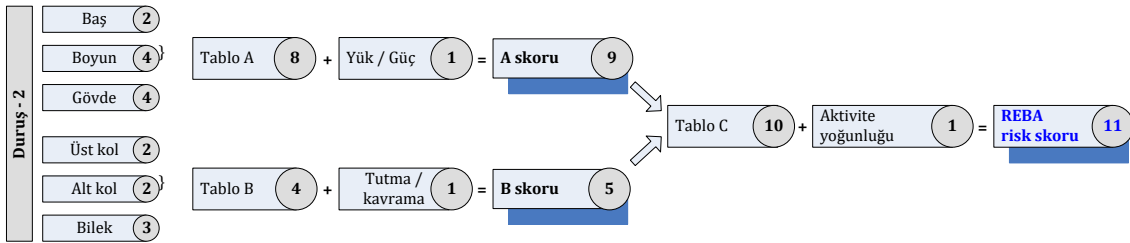
Tablo 9. Çalışma duruşlarının iş tanımları (Job descriptions of working postures)

Duruş No	İş tanımı
1	Galvaniz sac üzerine işaretleme yapılarak, işaretlenen yerlerin taş motoru ile kesilmesi
2	Kutu profilin yüzeyine el matkabıyla delik açılması
3	İşaretlenen yerlerin ufak taş motoruyla düzgünce kesilip, yüzey temizliğinin yapılması
4	Paslanmaz tank bombesinin (kapak) kaynak yapılan ek yerinin boydan boya taşlanarak kaynağın temizlenmesi
5	Paslanmaz çelikten olan iç tankın, iç kaynağının yapılması
6	Dış tankın (siyah tankın) iç kaynaklarının yapılması
7	Paslanmaz bombenin (kapağının) ek kaynağının yapılması
8	Tank ayak profilleri hazırlanması, ölçü ve kesim işlemi
9	Paslanmaz çelik iç tankının, dış yüzeyindeki kaynatılmış parçaların kesilip yüzeyin temizlenmesi
10	İçten kaynatılan siyah tankın dışarıdan birleşme kaynak yerlerinde taş motoruyla kaynak ağzı açılması (toz altı kaynağı için hazırlık)
11	İçten kaynatılan paslanmaz tankın dışarıdan birleşme kaynak yerlerinin taş motoruyla kaynak ağzı açılması (toz altı kaynağı için hazırlık)
12	Tank bağlantı profillerinin yüzey temizliği ve kaynak işlemine hazırlanması
13	Tank etiketi markalama ve numara vurulması
14	Muhtelif torna işleri
15	Paslanmaz tank ayaklarının montajı ve kaynağı
16	Siyah tank montaj ve reglaj işlemi
17	Argon kaynak işlemi
18	Vana, tank ve tesisat sızdırmazlık testi, köpük sıkılarak test yapılması

Çalışma kapsamında ele alınan 18 adet iş tanımına ait çalışma duruşlarını gösteren görseller ise Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 4.** Çalışma duruşları (Working postures)

Kutu profilin yüzeyine el matkabıyla delik açılması iş tanımıyla alakalı olarak, Şekil 4'te verilen Duruş-2 için vücudun etkilenen uzuvları boyun, gövde (sırt), bacak, kol ve bilek olmaktadır. İlgili duruş için yapılan A grubu değerlendirmesinde boyun, gövde ve bacak puanları sırasıyla 2, 4 ve 4 olarak belirlenmiştir. Bu puanlar kullanılarak elde edilen Tablo A değeri 8 olmaktadır. Taşınan yük/uygulanan güç değeri ise 5-10 kg arasında olduğundan 1 puan olarak belirlenmiştir. Elde edilen Tablo A değerine uygulanan güç/taşınan yük değeri ilave edildiğinde A skoru 9 değerini almaktadır. Daha sonra ilgili duruş için yapılan B grubu değerlendirmesinde üst kol, alt kol ve bilek puanları sırasıyla 2, 2 ve 3 olarak belirlenmiştir. Bu puanlar kullanılarak elde edilen Tablo B değeri 4 olmaktadır. Tutma/kavrama değeri ise tutuş şekli vücudun başka bir organıyla destekleniyor olduğundan 1 puan olarak belirlenmiştir. Elde edilen Tablo B değerine tutma/kavrama değeri ilave edildiğinde B skoru 5 değerini almaktadır. A skoru ve B skoru değerleri Tablo C kullanılarak sentezlendiğinde Tablo C değeri 10 olarak elde edilmektedir. Aktivite yoğunluğu değerlendirmesinde bir veya daha fazla organın, aynı pozisyonda bir dakikadan fazla kalması durumu (statik duruş) söz konusu olduğundan aktivite yoğunluğu puanı 1 olarak belirlenmiştir. Son olarak Tablo C değeri ve aktivite yoğunluğu puanının toplanmasıyla Duruş-2 için REBA risk skoru 11 olarak elde edilmiştir. Duruş-2 için yapılan REBA analizi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Duruş-2 için REBA analizi (REBA analysis for working posture - 2)

Çalışmada değerlendirilen 18 çalışma duruşunun REBA metoduyla değerlendirilmesiyle elde edilen tüm puanlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Tüm duruşlar için REBA analizinde elde edilen puanlar (Scores obtained in REBA analysis for all postures)

Duruş No	Boyun	Gövde	Bacak	Tablo A	Yük/güç	A Skoru	Üst Kol	Alt Kol	Bilek	Tablo B	Tutma/kavrama	B Skoru	Tablo C	Aktivite yoğunluğu	REBA risk skoru
1	2	3	4	8	1	9	2	2	3	4	1	5	10	1	11
2	2	4	4	8	1	9	2	2	3	4	1	5	10	1	11
3	2	4	4	8	1	9	2	2	3	4	1	5	10	1	11
4	2	3	4	8	1	9	2	2	3	4	1	5	10	1	11
5	2	4	3	7	0	7	4	1	1	4	1	5	9	1	10
6	2	5	3	8	0	8	4	1	1	4	0	4	9	1	10
7	3	4	2	7	0	7	2	1	2	2	0	2	7	1	8
8	2	2	4	6	1	7	2	1	3	3	0	3	7	1	8
9	1	2	3	4	1	5	3	2	2	5	0	5	6	1	7
10	1	2	3	3	1	4	4	2	2	6	0	6	6	1	7
11	2	2	2	4	1	5	3	2	2	5	0	5	6	1	7
12	3	3	1	5	0	5	1	1	1	1	0	1	4	1	5
13	2	3	1	4	0	4	2	1	1	1	0	1	3	1	4
14	3	2	1	3	0	3	2	2	2	3	1	4	3	1	4
15	1	2	3	4	0	4	1	1	1	1	0	1	3	1	4
16	1	2	2	3	0	3	2	2	1	2	0	2	3	1	4
17	3	2	1	3	0	3	1	1	1	1	0	1	2	1	3
18	1	3	1	2	0	2	2	2	2	3	0	3	2	1	3

Değerlendirmeye alınan iş tanımlarına ait çalışma duruşlarından etkilenen uzuvlar, REBA risk skoru değerleri ve ilgili REBA risk skoruna karşılık gelen risk seviyeleri Tablo 11’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre risk seviyesi;

- 1, 2, 3 ve 4 numaralı duruşlar için çok yüksek,
- 5, 6, 7 ve 8 numaralı duruşlar için yüksek,
- 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 16 numaralı duruşlar için orta,
- 17 ve 18 numaralı duruşlar için ise düşük olarak tespit edilmiştir.

Tablo 11. Çalışma duruşları, REBA risk skorları ve risk seviyeleri (REBA risk scores and risk levels of working postures)

Duruş No	Etkilenen uzuvlar	REBA risk skoru	Risk seviyesi
1	Gövde (Sırt), Bacak	11	Çok yüksek
2	Boyun, Gövde (Sırt), Bacak, Kol, Bilek	11	Çok yüksek
3	Boyun, Gövde (Sırt), Bilek	11	Çok yüksek
4	Boyun, Gövde (Sırt), Bacak, Kol, Bilek	11	Çok yüksek
5	Boyun, Gövde (Sırt), Bacak, Kol	10	Yüksek
6	Boyun, Gövde (Sırt), Bacak, Kol	10	Yüksek
7	Boyun, Gövde (Sırt), Bacak, Kol	8	Yüksek
8	Boyun, Gövde (Sırt), Bacak	8	Yüksek
9	Gövde (Sırt), Bacak, Kol, Bilek	7	Orta
10	Gövde (Sırt), Bacak, Kol, Bilek	7	Orta
11	Gövde (Sırt), Bacak, Kol, Bilek	7	Orta
12	Boyun, Gövde (Sırt)	5	Orta
13	Boyun, Gövde (Sırt)	4	Orta
14	Kol, Bilek	4	Orta
15	Gövde (Sırt), Bacak	4	Orta
16	Gövde (Sırt), Bacak, Kol	4	Orta
17	Boyun, Gövde (Sırt)	3	Düşük
18	Gövde (Sırt), Bacak, Kol, Bilek	3	Düşük

4. Bulgular ve Tartışma (Results And Discussion)

REBA metodu kullanılarak üretim faaliyetleri esnasında çalışanların duruş şekilleri incelenmiştir. Personelin işini ifa ederken görüntüsü alınarak, maruz kaldığı fiziksel zorlanmalar ve vücudunun zorlanan uzuvları tespit edilmiştir. Değerlendirmek amacıyla 18 çalışma duruşu fotoğraflanmıştır. Bu değerlendirmenin sonucunda REBA puanlamalarının 11, 10, 8, 7, 5, 4, 3 olarak gerçekleştiği; bununla birlikte en çok gövde (sırt), bacaklar ve kol kısımlarında zorlanmaların yaşandığı gözlemlenmiştir.

Yerde yapılan ve risk seviyesi çok yüksek olarak belirlenen çalışmalarda (sac kesme, profil hazırlama işlemleri) personelin özellikle boyun, gövde (sırt) ve bacak kısımları için aşırı fiziksel zorlanmaya maruz kaldığı görülmektedir. Çalışanların bu işlemleri uygun yükseklikteki çalışma tezgâhlarında yapması yerinde olacaktır. Tezgâh boyunun ayarlanması için o alanda faaliyet gösteren personelin antropometrik ölçümleri dikkate alınmalıdır. Yapılacak hesaplamalar sonucunda ortalama ideal tezgâh yüksekliği belirlenebilir. Ortalamanın çok üstünde veya altında kalan personel olması durumunda bunlar ayrıyeten değerlendirilmelidir. Yapılacak bu çalışma ile çalışanların boyun, sırt ve bel kısımlarına binecek yükün azaltılması sağlanabilir. Bu sayede daha rahat ve verimli bir çalışma imkânı sağlanabilecektir.

Ayakta gerçekleştirilen kaynak, kesme ve taşıma gibi işlemler için risk seviyesi genel olarak orta seviye olarak belirlenmiştir. Bunda personelin çalışma alanına mesafesi, vücut duruşu ve kullandığı ekipmanın ağırlığı, titreşimi ve güç gereksinimi gibi etkenler söz konusu olmaktadır. Tank içerisindeki çalışmalarda personelin vücut tipine uygun, kayar özellikte oturma yerleri tasarlanabilir. Çalışma alanı çalışan için zor bir bölge olduğundan bu durum için özel uygulama gerekmektedir. Çalışan personelin dinlenme sıklığının artırılması ve dönüşümlü çalışma da hem sağlık ve güvenlik hem de verim açısından katkı sağlayabilecektir. Boyun, sırt, bacaklar gibi vücut kısımlarının zorlanması, yorgunluğa ve bunun sonucunda performans düşüşü ve verim kaybına sebep olacaktır. Bu yüzden personel dinlenme sürelerinin düzenlenmesi, gerekiyorsa yenilenmesi; uzun süreli çalışma yapılacaksa personel rotasyonu düşünülmelidir.

Tank dışarısındaki çalışmalarda ise çalışanların insan ergonomisine uygun çalışma duruşları sergileyebilmesi için boyun, gövde ve bacaklarda dönme, eğilme ve bükülmeleri azaltmak amacıyla çeşitli otomasyon sistemleri kullanılabilir. Kaynak pozisyoneri, robotik tank kaynak otomasyon sistemi ve tank çevirici gibi araç ve makineler kaynak yapılan ürünün dönme ve öne-geri eğilme gibi hareketlerle uygun pozisyonu almasını sağlayarak çalışana rahat ve ergonomik koşullarda kaynak yapabileme imkanı sunmaktadır. Şekil 6'da gösterilen bu gibi araç ve makineler kaynak operasyonları sırasında iş süresini kısaltarak imalat gücünün artırılmasını da sağlamaktadır.



Şekil 6. Çeşitli tank kaynak otomasyon sistemleri (Various tank welding automation systems)

Kaynak işlerinde otomasyon, insan gücünün azalması, yatırım maliyetlerinin fazlalığı gibi hususlarda dezavantaj olarak görülse de kontrol ve denetim, ince işçilik, el becerisi ve hareketliliği gibi konularda insan ihtiyacının devamlılığı sürecektir, imalattaki gelişme ve üretimdeki artış ile yatırım maliyetinin karşılanması sağlanabilecektir. Bu noktada işyeri yönetimi etkin bir çalışma yürütebilir, yatırım planlaması yapılabilir.

Gelişmekte olan iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı, çalışma alanlarında işçinin sağlığı ve güvenliği adına her türlü organizasyonun yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması adına tüm sorumluluğu işverene yüklemiştir. Bu bağlamda teknolojik yenilikleri takip edip uygulamak, iş sağlığı ve güvenliği adına gerekli hizmetin alınması ve uygulamaların gerçekleştirilmesi, çalışma ortamının fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak çalışanlar için iyileştirilmesi, çalışanların sosyal ve psikolojik olarak korunması ve gelişiminin sağlanması, çalışma ortamının ergonomik olarak iyileştirilmesi gibi konular önemli hususlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

5. Sonuç (Conclusion)

Üretimi yapacak olan insandır. İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları da insanı korumak üzere gerçekleştirilen uygulamaları içermektedir. Üretim tamamen otomatik hale getirilemez. İnsan müdahalesini gerektiren hususlar mutlaka olacaktır. Bu durumda, çalışma ve iş güvenliği arasında kesintisiz bir bağın olacağı göz ardı edilemez. İşveren bu noktada etkili olmakla yükümlüdür. İşyerinin geliştirilmesi yeni yatırımların yapılması günün gereklerindedir. Değerlendirmeler sonunda, alınması düşünülen önlemlerin firmaya maliyeti gerçeği göz ardı edilmemelidir. Karar alacak birimlerin ortaklaşa düşünmesi, yasalar ve standartlar çerçevesinde en uygun seçeneklerin belirlenmesi gerekmektedir.

Genel olarak bakıldığında personelin duruş pozisyonlarının uygun olmadığı görülmektedir. Uygunsuz duruşlar KİSR riskini yükselttiğinden, bu konuda teknik olarak müdahale edilmeli, uygun çalışma ortam ve ekipmanı temin edilmelidir. Personele ergonomi, ergonomik çalışma, vücut duruş şekilleri ile ilgili eğitimler verilmelidir. Eğitimlerin uygulamalı ve personel katılımını cezbedici olarak gerçekleştirilmesi, öğrenme ve uygulama adına oldukça etkili olacaktır. Yapılan işin ağırlığı, yoruculuğu göz önünde bulundurularak personelin beslenme şartları gözden geçirilmelidir. Kazanılan ve harcanan enerjinin, çalışanın, işi sağlıklı ve de verimli halde devam ettirebilmesi adına önemli olduğu unutulmamalıdır.

Bu çalışmada alınması önerilen önlemlerin, çalışanlarda KİSR gelişmesi riskini düşürmesiyle vücut sağlığına katkıları olacağı kadar işin güvenli yapılmasına, iş veriminin artmasına, rahatsızlanma ile oluşabilecek iş ve gün kayıplarının azalmasına ve böylece firmanın ekonomik olarak kayıplar yaşamadan, daha verimli bir şekilde faaliyetlerini sürdürmesine katkısının olması beklenmektedir. Bu çalışma kriyojenik depolama tankı imalatı ve diğer üretim sektörlerinde kaynak işlemleri alanında gelecekte yapılacak çalışmalar için temel oluşturabilecek,

bu tip faaliyetlerde diğer ergonomik değerlendirme yöntemleri ile kıyaslamalar yapabilmeye imkânı sağlayabilecek ve genel olarak gerçekleştirilen firma risk değerlendirmelerinde ergonomik değerlendirme olarak özel bir yer edinebilecektir. Sonraki çalışmalarda ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinde teknolojik imkanların daha yaygın kullanılabilmesi, daha etkili sonuçların ortaya çıkmasına katkıda bulunacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- World Health Organization. The Burden of musculoskeletal conditions at the start of the new millennium. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42721/WHO_TRS_919.pdf;jsessionid=7599B5A0905678877D7DD30E25DD60B5?sequence=1. Yayın tarihi 2003. Erişim tarihi Mart 25, 2020.
- Dul J. ve Weerdmeester B., *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide*, CRC Press, 3rd Edition, 2008.
- Parlak T., *Gıda Sanayinde İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları Sakız-Şekerleme Üretim Fabrikası Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gedik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2017.
- Mert E.A., *Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Çanta İmalat Atölyesinde Uygulanması*, Yayınlanmış Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 2014.
- Kansu S., *Servis Sistemleri İçin Bütünleşik Servqual – Kalite Fonksiyon Yayılımı – Hata Türleri ve Etkileri Analizi Yaklaşımı ve Bir Hastane Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
- Fryer R., *Robotic Welding: Is It Worth It?*, <https://pwpind.com/robotic-welding-worth-it/>, Yayın tarihi 2019, Erişim tarihi Mart 25, 2020.
- Airikka S., *Welding Trends 2019*, <https://weldingvalue.com/2019/01/welding-trends-2019/>, Yayın tarihi 2019, Erişim tarihi Mart 25, 2020.
- Hignett S. ve McAtamney L., *Rapid entire body assessment (REBA)*, *Appl. Ergon.*, 31, 201-205, 2000.
- Rud S., *An Ergonomic Analysis of Current Lifting Techniques in Height Restricted Cargo Bins at Company XYZ*, Master's Thesis, The Graduate School University of Wisconsin-Stout, Menomonie, WI, 2011.
- Serratos-Perez J.N., Hernandez-Arellano J.L., Negrete-Garcia M.C., *Task Analysis and Ergonomic Evaluation in Camshaft Production Operations*, *Procedia Manuf.*, 3, 4244-4251, 2015.
- Sağiroğlu H., Coşkun M.B., Erginel N., *REBA ile Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi*, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 339-345, 2015.
- Atıcı H., Gönen D., Oral A., *Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi ile Ergonomik Analizi*, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 239-244, 2015.
- Madani D.A. ve Dababneh A., *Rapid Entire Body Assessment: A Literature Review*, *American Journal of Ergonomics and Applied Sciences*, 9(1), 107-118, 2016.
- Erginel N., Toptancı Ş., Acar İ., *Bulanık REBA ile Bir Mobilya İmalat Firmasında Ergonomik Risk Değerlendirmesi*, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(0), 92-101, (2018).
- Lascano A., Patín G., Larrea A., Antonio T.S., *Ergonomic Evaluation of Risk Level by Exposure to Forced Postures in Cattle Slaughterhouse Workers in Ecuador*, *Advances in Social and Occupational Ergonomics: AHFE 2018*, 212-217, Florida-A.B.D, 21-25 Temmuz, 2019.
- Kâhya E. ve Gürleyen E., *Kombi Montaj Hattında Reba Yöntemi ile Ergonomik Risk Analizi*, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 58-66, 2018.
- Am-Eam N., Jankaew P., Ninthappho K., Noosom T., *An Evaluation of Work Posture by REBA: A Case Study in Maintenance Department*. *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors: AHFE 2019*, 106-114, Washington D.C.-A.B.D, 24-28 Temmuz, 2019.
- Dwyer A., Huckleby J., Kabbani M., Delano A., De Sutter M., Crawford D., *Ergonomic assessment of robotic general surgeons: a pilot study*, *Journal of Robotic Surgery*, 14, 387-392, 2020.
- Joshi M. ve Deshpande V., *A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques*, *Int. J. Ind. Ergon.*, 74, 2019.
- Enez K. ve Nalbantoğlu S., *REBA Yönteminin Ormançılık Faaliyetleri Açısından Değerlendirilmesi*, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 127-131, 2015.
- Kee D., Na S., Chung, M.K., *Comparison of the Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment, and Rapid Entire Body Assessment based on the maximum holding times*, *Int. J. Ind. Ergon.*, 77, 2020.
- Coyle A., *Comparison of the rapid entire body assessment and the New Zealand manual handling 'hazard control record', for assessment of manual handling hazards in the supermarket industry*, *Work (Reading, Mass.)*, 24(2), 111-116, 2005.

- Janowitz I.M., Gillen G., Ryan D., Rempel L., Measuring the Physical Demands of Work in Hospital Settings: Design and Implementation of an Ergonomic Assessment, *Appl. Ergon.*, 37(5), 641-658, 2006.
- Sa F., Nascimento M.A., Melo A.C., Santos J.C., Adissi P.J., Comparison Of Methods Rula and Reba for Evaluation of Postural Stress in Odontological Services, 3rd International Conference on Production Research- Americas' Region, 2006.
- Ghazali F., Salleh M., Zainon N., Zakaria S., Asyraf, C.D.M., RULA and REBA Assessment in Computer Laboratories, National Symposium on Advancements in Ergonomics and Safety (ERGOSYM2009), Perlis, Malaysia, 146-149, 1-2 Aralık, 2009.
- Atasoy A., Keskin F., Başkesen N., Tekingündüz S., Laboratuvar Çalışanlarında İşe Bağlı Kas İskelet Sistemi Sorunları ve Ergonomik Risklerinin Değerlendirilmesi, *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*, 2(2), 90-113, 2010.
- Gentzler M. ve Stader S., Posture stress on firefighters and Emergency Medical Technicians (EMTs) associated with repetitive reaching, bending, lifting and pulling tasks, *Work*, 37(3), 227-239, 2010.
- Chiasson M. E., Imbeau D., Aubry K., Delisle A., Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders, *Int. J. Ind. Ergon.*, 42 (5), 478- 488, 2012.
- Hashim A., Dawal S., Yusoff, N., Ergonomic evaluation of postural stress in school workshop, *Work*, 41(5), 827-831, 2012.
- Kahraman M., Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Önceliklendirilmesi ve Bütünleşik Bir Model Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- Shanahan C., Vi P., Salas E.V., Reider V.L., Hochman L., Moore A.E., A Comparison of RULA, REBA and Strain Index to Four Psychophysical Scales in the Assessment of Non-fixed Work, *Work*, 45(3), 367-378, 2013.
- Lasota A., A REBA-Based Analysis of Packers Workload: A Case Study, *Scientific Journal of Logistics*, 10(1), 87-95, 2014.
- Liu D. R., Comparison of Concepts in Easy-to-use Methods for MSD Risk Assessment, *Appl. Ergon.*, 45(3), 420-427, 2014.
- Ayan B., Montaj hattında ergonomik risk unsurlarının incelenmesi: otomotiv sektörüne yönelik bir uygulama, Yayınlanmış Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 2015.
- Bartnicka J., Knowledge-based ergonomic assessment of working conditions in surgical ward-A case study, *Saf. Sci.*, 71, 178-188, 2015.
- Duran F.M. ve Yeşilova T., Manuel Yükleme Yapılan Bir İstasyonda Ergonomik İyileştirme, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 507-510, 2015.
- Mork M. A. ve Choi S. D., An Ergonomic Assessment of Sample Preparation Job Tasks in a Chemical Laboratory J. *Chem. Health Saf.*, 22(4), 23-32, 2015.
- Okan S. ve Kaya A., Orman Fidanlıklarında Fidan Repikaj İşlerinde Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi ile Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 157-163, 2015.
- Koç, S. ve Testik, Ö.M., Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları ile İncelenmesi ve Minimizasyonu, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 2-27, 2016.
- Vachhani T. R., Sawant S.K., Pataskar S., Ergonomics Risk Assessment of Musculoskeletal Disorder on Construction Site, *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 3(3), 228-231, 2016.
- Neşeli C., Ergonomik Risk Analizi Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Kalıp İmalat Firmasında Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2016.
- Deros B.M., Daruis D.D.I., Rosly A.L., Abd Aziz I., Hishamuddin N.S., Abd Hamid N.H., Roslin S.M., Ergonomic Risk Assessment of Manual Material Handling at an Automotive Manufacturing Company, 2nd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship (WCTIE-2017), İstanbul-Türkiye, 317-324, 12-14 Mayıs, 2017.
- Can G.F., Delice E.K., Özçakmak B.C., Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımıyla Oturma Düzeneği Seçimi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(0), 213-225, 2017.
- Çiçek E., Kazanç N., Kâhya E., Bir Mobilya İşletmesinin Montaj Hattında Ergonomik Risk Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 67-82, 2017.
- Felekoğlu S. ve Taşan Ö., İş ile İlgili Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Yönelik Ergonomik Risk Değerlendirme: Reaktif/Proaktif Bütünleşik Bir Sistemik Yaklaşım, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32(3), 777-793, 2017.
- Polat O., Mutlu Ö., Çakanel H., Doğan O., Özçetin E., Şen E., Bir Mobilya Fabrikasında Çalışan İşçilerin Çalışma Duruşlarının Reba Yöntemi ile Analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 263-268, 2017.
- Erçelik Z., Ergonomik Risk Analizinin Lastik İmalat Fabrikasında Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017.
- Anand N., Gandhi A., Verma V., Kaur, S., Design and Development of Ergonomic Workstation for Pregnant Workers in Readymade Garment Industry, *Dimensional Corporate Governance: An Inclusive Approach*, 1st edition, Capaldi N., Idowu S.O., Schmidpeter R., Springer International Publishing, İsviçre, 235-250,

2017.

- Delice E. K., Ayık İ., Abidinođlu Ö.N., Çiftçi N.N., Sezer Y., Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri ve AHP Yöntemi ile Çalışma Duruşlarının Analizi: Ağır ve Tehlikeli İşler İçin Bir Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(0), 112-124, 2018.
- Özay M.E., ve Doğanbatır Ç.Ş., Perakende Sektöründe Bir Süpermarkette Reba, Nıosh ve Snook Tabloları Yöntemlerini Kullanarak Ergonomik Risk Analizi Vaka Çalışması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(3), 448-459, 2018.
- Aydın F., Çidem Ç., Kâhya E., Kabin Üretimi Yapan Bir İşletmenin Kaynak Atölyesinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi, Ergonomi, 1(3), 137-147, 2018.
- Oral A., Gönen D., Karaođlan A.D., Tuncer C., Kundakçı S.S., Makina Montajında Zaman İsrafının Kaldırılması İçin REBA ve MURİ Çalışması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(0), 102-111, 2018.
- Yaylı D., ve Çalışkan E., Comparison of Ergonomic Risk Analysis Methods for Working Postures of Forest Nursery Workers, European Journal of Forest Engineering, 5(1), 18-24, 2019.
- Kuzucuoğlu M.M., Üst Yapı Sektöründeki Bir İşletmenin Üretim Hattında Ergonomik Risk Faktörlerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- Çakır O., İnşaat İşlerinde Ergonomik Risklerin Reba, Rula ve Nıosh Risk Değerlendirme Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- Çoker İ., Bir İmalat İşletmesinde Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Yönelik Ergonomik Risk Değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019.
- Kâhya E. ve Söylemez S., Jant Sektöründe QEC ve REBA Yöntemleriyle Ergonomik Risk Değerlendirmesi, Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 3(2), 83-96, 2019.
- Erdemir F. ve Eldem C., Bir döküm atölyesindeki çalışma duruşlarının dijital insan modelleme tabanlı REBA yöntemi ile ergonomik analizi, Politeknik Dergisi, 23(2), 443-445, 2020.
- Ijaz M., Ahmad S., Akram M., Khan W.U., Yasin N.A., Nadeem F.A., Quantitative and qualitative assessment of musculoskeletal disorders and socioeconomic issues of workers of brick industry in Pakistan, Int. J. Ind. Ergon., 76, 2020.
- Berber N., Reba, Baua, Nıosh ve Snook Tabloları Yöntemleriyle Ergonomik Risk Analizi İncelemesi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- Esen H. ve Fiğlalı N., Çalışma Duruşu Analiz Yöntemleri ve Çalışma Duruşunun Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Etkileri, Sakarya University Journal Of Science, 17(1), 41-51, 2013.



AKILLI KUMAŞ KONTROL MAKİNESİ İÇİN RAPORLAMA VE ALTYAPI İYİLEŞTİRME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Cihat Okan ARIKAN*

Ege Üniversitesi, Emel Akın Meslek Yüksekokulu, Bornova, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Öz

Akıllı Kumaş Kontrol Makinesi, Kumaş Hata Rapor Sistemi, PLC'li Raporlama Sistemi, Kumaşta Hata Raporlama, Bilgisayarlı Hata Raporlama.

Tekstil alanında, kaliteli bir ürün hazırlanabilmesi için, öncelikle üretilen kumaşın kaliteli ve hatasız olması gerekmektedir. Dokuma ve Örne makinelerinde günümüz teknolojilerindeki iyileşme ve gelişmeler, kumaşın oluşum aşamalarından sonra kalite kontrol aşamasında “Kumaş Kontrol Makineleri” ile analiz edilerek son işlem basamağına gelmektedir. Kumaşın kalitesine ilişkin raporlar, kumaşın ışıklı bir tabla üzerinden geçerken, kontrol eden kullanıcının hataları göz ile tespit etmesi ve bunları kalite kontrol raporlarına kağıt-kalem yardımı ile işlenmesi esasına göre yapılmaktayken, kağıt-kalem kullanımını ortadan kaldırarak, hataların makine üzerinden girilmesini/işaretlenmesini ve bu sayede vakit kazanılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Ayrıca raporlama ve raporların incelenmesi de online olarak yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, kumaş kontrol makinesinde yapılan hata seçim işlemlerinin tamamen yeni bir platform üzerinden tasarlanması ve oluşan raporların daha anlaşılır, daha kullanışlı ve hataların grafiksel olarak kullanıcılara gösterilmesini sağlamayı hedeflemiştir. Çalışma kapsamında 2 farklı işlem uygulanmıştır. İlk olarak, eski dijital panellerden alınan raporların daha kullanışlı hale getirilmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada, giriş panellerinin özel bir tablet ihtiyacını ortadan kaldırmak amacıyla tercihan dokunmatik ekranlı standart bir Windows işletim sistemli PC ile değiştirilmiştir, PLC bağlantısı sayesinde kumaş kontrol makinesi ile direkt olarak haberleşmesi ve hata bilgilerinin anlık olarak alınarak, kalite kontrol biriminin web tabanlı başka bir yazılım üzerinden işlemi takip edebilmesi sağlanmıştır.

DEVELOPMENT OF REPORTING AND INFRASTRUCTURE IMPROVEMENT SYSTEM FOR INTELLIGENT FABRIC CONTROL MACHINES

Keywords

Smart Fabric Inspection Machine, Fabric Defects Reporting, Reporting System With PLC, Defect Reports On Fabrics, Computerized Error Reporting.

Abstract

In order to prepare a high-quality product in the textile field, the produced fabrics should have high quality without defects. Abilities and improvements in weaving and knitting machines are analyzed with “Fabric Control Machines” in the quality control phase after the formation phases of the fabric. Although, the reports on the quality of fabric are carried out on the basis that the control user detects errors with the eye and handles them with the help of paper and pen to quality control reports when passing through an illuminated table, in this study, that is aimed for reporting eliminates the use of paper and pens, allowing errors to be entered/entered through the machine and thus time-consuming and online reporting and examining reports can also be possible. The scope of this study aims to design fault selection operations in the Fabric Control Machine and to view graphical results which more understandable and useful. In this study, two different procedures were applied. In the first phase, reports from older panel were upgraded and input panels were completely replaced by a standard Windows Operating System device with touch screen abilities to eliminate the need for a special tablet. The Fabric Control Machine directly communicate with a PLC to obtain on-line data during the fabric is still processing.

* İlgili yazar / Corresponding author: cihat.arikan@ege.edu.tr, +90-542-244-0647

Alıntı / Cite

Arıkan, C.O., (2021). Akıllı Kumaş Kontrol Makinesi İçin Raporlama ve Altyapı İyileştirme Sistemi Geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 969-982.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C.O., Arıkan, 0000-0002-4255-1711

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.03.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.07.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.07.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Tekstil ve Konfeksiyon alanında önemli yer tutan kalite kontrol çalışmaları, üretimden çıkan malzemenin istenilen karakteristiklere ve özelliklere sahip olup olmadığını test etmek amacı ile uygulanmaktadır. Konfeksiyon sektöründe de önemli bir yer tutan kumaş hammaddesinin, bu kumaştan yapılacak diğer ürünleri etkilemesi nedeni ile, başlangıçta titizlikle test edilmesi ve varsa hataların kumaş kademesinde engellenerek, üretim aşamasında yaşanabilecek diğer problemlerin önlenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Dokuma makinelerinde işlemi biten kumaşların kontrol edilmeleri için genellikle "Kumaş Kontrol Makineleri" kullanılmaktadır. Bu makineler, ışıklı bir yüzey üzerinden kumaşın geçirilmesi ve bu sırada üzerinde varsa görülen hataların işaretlenmesi prensibine göre kullanılmaktadır. Kumaş üzerindeki hatalar, kontrolü yapan ustanın göz performansına bağlı olmakta ve ortamın ışık ve hava koşulları da kumaşın o anki durumunu etkileyebilmektedir. Kontrol ustası, ışık önünden geçen kumaşı izleyerek, kumaş üzerinde olmaması gereken bir leke, iz, delik veya benzeri bir hata tespit ettiğinde, bu hatanın olduğu yere genellikle bir etiket yapıştırmakta ve elindeki kumaş kontrol çizelgelerine söz konusu hata ile ilgili bir sayı eklemektedir. Kontrol sonunda çizelgedeki veriler bir kalite kontrol uzmanı tarafından incelenmekte ve hataların miktarına, yoğunluk derecesine veya yerlerine göre bu kumaşın tamamen veya kısmen kabul edilmesi gibi bir karar verilmektedir. Kısmen kabul edilen kumaşlar daha sonra tekrar açılarak, hasarlı bölgeleri kesilmekte ve geri kalan kısımlar üretimde kullanılabilir. Çalışma kapsamındaki yenilik ve geliştirmeler, bu çerçevede karar mekanizmalarını hızlandırmaya yönelik raporlamaları içermektedir.

Kumaş kontrol makineleri ile ilgili olarak yapılan otomasyon çalışmaları, genellikle makinedeki izleyici konumunda bulunan insan faktörünü devre dışı bırakmak için, kameralar yardımı ile görüntünün analizine yönelik olarak yapılmaktadır. Son zamanlarda makineler üzerindeki otomasyon çalışmalarının artması ile, Kumaş Kontrol Makineleri'nde de bu konuda ilerlemeler kaydedilmiştir. Hataların tespiti ve kumaşın kabul edilebilirlik düzeyleri artık otomasyon sistemleri ile daha kolay hale getirilmeye çalışılmaktadır.

1.1. Kaynak Araştırmaları (Literature Survey)

Bu çalışma kapsamında ele alınan yöntem, makineden alınan sonuçların analiz edilmesi, raporlanması ve bu sonuçların kalite kontrol sorumlusu tarafından incelenmesini kolaylaştırmaktır. Bu nedenle, çalışmanın daha önce yayınlanan ilk bölümünde anlatılan raporlama yazılımı (Arıkan C.O., 2019) haricinde benzer bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Bu çalışmaya öncülük eden ilk kısımda (2019), kumaş kontrol makinesinde oluşturulan hata listelerinin, daha anlamlı hale getirilerek, web tabanlı bir ortamdan izlenmesi amaçlanmıştır (Arıkan C.O., 2019). Ancak yazılımın kullanımı sırasında gelen istekler doğrultusunda, yazılımın daha da gelişmesi ve kalite kontrol sorumlusu için, kontrol edilen kumaş toplarının kullanılabilirliği açısından karar verme noktasına kadar etkin sonuçlar üretilmesi sağlanmıştır.

Md. Tarek Habib (2016) çalışmasında kumaş kontrol makinelerinde kontrol işlemlerini hızlandırmak ve hataları sınıflandırarak kaliteyi arttırmaya yönelik olarak bir yazılım geliştirmiştir (Habib. T., 2016). Bu çalışmada kumaş üzerindeki hatalar önce geometrik şekillere dönüştürülerek istatistiksel analizler ile sınıflandırılmaya çalışılmıştır.

Sungmin Kim (2011) çalışmalarında örme makinelerinde çeşitli sensörler yardımı ile ürün üzerindeki sinyal değişimlerini ölçerek benzer hatalar ile eşleştirme yapabilen bir yazılım ve sistem geliştirmiştir (Kim ve Lee, 2011). Örme makinesi üzerine yerleştirilen PLC kontrol cihazı ile haberleşen sensörler yardımı ile karşılıklı sinyal alışverişleri arasındaki değişim miktarları üzerinden hatanın sınıflandırılması ve tespit edilmesi üzerine çalışılmıştır.

B.K. Behera (2005) çalışmalarında, görüntü işleme tekniklerini kullanarak boncuklanma derecesini raporlayabilen bir sistem geliştirmiştir (H. Balakrishan vd., 1998). Geliştirdikleri sistem kumaş üzerindeki

boncuklanma sayısını bulabilmekte ve alanlarını hesaplayarak büyüklükleri konusunda bilgi vermektedir (B.K. Behera, 2005).

H. Balakrishnan (1998) çalışmasında üretim aşamasında kumaş üzerindeki hataların tespit edilebilmesi için görüntü işleme tekniklerini kullanmış ve benzer örneklerle göre kumaş üzerindeki hataları, görüntüyü farklı tonlarda parçalara ayırarak tespit edebilen bir sistem geliştirmiştir (H. Balakrishnan vd., 1998).

Çalışma sırasında, kontrol edilen kumaşlardan elde edilen hata sonuçları, 4-Puan Kontrol yöntemi'ne (Ala ve İkiz, 2014) göre değerlendirilmektedir. AAMA (Amerikan Giyim İmalatçıları Ortaklığı) puan derecelendirme sistemi olarak varsayılan 4 puan sistemi, kumaş kalitesini belirlemek için giysi kumaş üreticileri ve Birleşik Devletler savunma birimleri tarafından yaygın olarak kullanılır. Basit ve anlaşılır bir sistemdir. Değerler temel alınarak kumaş kusur ve hatalarına puan değerleri verilir. Derecelendirme için 100 yarda kare'deki toplam hata puanları hesaplanır. Bu alandaki 40 puandan yüksek olan kumaş topları ikinci kalite olarak değerlendirilir (Ala ve İkiz, 2014).

Kumaş Kontrol sistemlerinde elde edilen raporların incelenmesi sırasında, sorunların çözümüne yardımcı olabilmesi için Pareto analizleri (Kırık B., 2017) de sisteme eklenmiştir. Pareto analizlerinde veriler hata tiplerine göre sınıflandırılır. Her sınıfa ait toplam ve yüzdeleri belirlenir. Hata sayıları büyükten küçüğe doğru sıralanır. Dikey eksenle toplam, yatay eksenle de gruplar listelenerek bir çubuk diyagram oluşturulur. Sağ üst köşeden itibaren kümülatif toplamı gösteren Pareto eğrisi çizilir. Bu eğri sayesinde, hangi hataların en sık karşılaşılan hatalar olduğu görülebilir ve buna göre firmada önlemler alınması sağlanabilir.

Kumaş kalite kontrol makinelerinde yapılan gelişmeler, günümüzde genellikle yapay zeka çalışmaları kapsamında, görüntü işleme tekniklerinin kullanılması üzerine yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında görüntü işleme tekniklerine yer verilmemiş ancak ilerleyen dönemlerde hata tespitinin kameralar yardımı ile yapılabilmesi için gerekli temel araştırmalar da göz önüne alınmıştır.

1.2. Eski Raporlama Yöntemi (The old reporting method)

Çalışma ile ilgili olarak daha önce hazırlanan yayında anlatıldığı şekilde, makine üzerinde özel bir tablet bulunmakta (Şekil 1) ve kontrol sırasında karşılaşılan hatalar bu tablet üzerinde geliştirilen yazılım ile kayıt altına alınmaktadır (Arıkan C.O., 2019). Kayıtlar, tabletin yeteneklerinin sınırlı olması nedeniyle sadece düz metin dosyaları halinde CSV formatında kaydedilmekte, daha sonra makineden USB bellek veya internet/intranet bağlantısı üzerinden FTP yolu ile alınmaktadır. Direkt olarak çevrimiçi anlık rapor almayı sağlayan çalışma imkanı bulunmamaktadır.



Şekil 1. Kumaş kontrol makinesi akıllı tablet giriş ve ürün tanımlama ekranları (eski sürüm) [1] (Fabric inspection machine smart tablet entry and product identification screens (old version) [1])




Makineden alınan CSV dosyaları (Şekil 2), analiz edilerek kumaş topuna ait sipariş, parti, top ve hata bilgileri ayrıştırılmakta ve sonuçta daha rahat okunabilecek hale getirilmektedir. Eski yazılımda, CSV dosyası içerisinde kumaş gramaj bilgisi, hataların yer bilgisi ve bazı ek bilgiler bulunmamaktadır.

No.000	Dec - 5 09:46, 836.BOYAABBİTİS, 0
Dec - 5 09:29,35423,171205 92933, 0	Dec - 5 09:46, 836. İPTAL, 0
Dec - 5 09:29,35423,SEMBOL, 0	Dec - 5 09:46, 836.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,12020, 0	Dec - 5 09:46, 872.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,308, 0	Dec - 5 09:47, 1604.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,7258, 0	Dec - 5 09:47, 1633.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,1, 0	Dec - 5 09:49, 2714.LİKRA KACIGI, 0
Dec - 5 09:29,35423,7, 0	Dec - 5 09:49, 2868.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,162,95, 0	Dec - 5 09:49, 2915.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,, 0	Dec - 5 09:51, 3646.LİKRA KACIGI, 0
Dec - 5 09:29,35423,LIGHT SMOKED, 0	Dec - 5 09:51, 3853.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,30/1LYCPNYSUPREM, 0	Dec - 5 09:52, 4413.LEKE, 0
Dec - 5 09:29,35423,MURAT MENGUC, 0	Dec - 5 09:52, 4449.LEKE, 0
Dec - 5 09:35, 167.LEKE, 0	Dec - 5 10:00, 4597.LİKRA KACIGI, 0
Dec - 5 09:41, 664.LEKE, 0	Dec - 5 10:01, 4691.KALIN İP, 0
Dec - 5 09:45, 688.LEKE, 0	Dec - 5 10:05, 6331.TOP UZUNLUGU, 0
Dec - 5 09:45, 718.LEKE, 0	

Şekil 2. Kumaş kontrol makinesinde bakılan bir toptan alınan CSV rapor dosyası (eski sürüm) (CSV report file (old version) which received from a bulk checked in the fabric inspection machine)

Eski yazılımda (Arıkan C.O., 2019), Delphi ve web sürümü olarak iki farklı yapı bulunmasına rağmen, genellikle kullanımı daha kolay ve ağ bağlantısı olan her yerden erişilebilir olması nedeniyle web sürümü tercih edilmektedir. Yeni sürümde masaüstü bilgisayarlar için hazırlanan Delphi tabanlı yazılım tamamen kaldırılmış ve yapı web sürümü üzerinden geliştirilmeye devam edilmiştir.

Eski web raporlarında hataların kumaş boyunca dağılım grafikleri ve 4-Nokta yöntemine göre değerlendirme grafikleri, analiz sonucunda gerekli olan raporlar bulunmamakta, sadece kumaş siparişlerine göre parti ve top bilgileri gösterilmektedir (Şekil 3 a/b).

+ Ana sayfa Rapor Görünümü Excel olarak Kaydet Hata Grafiği Dağılım Grafiği ★ Puan Grafiği EN				
Parti Detayları				
Sipariş içerisindeki Parti Bilgileri				
Sipariş No.	1765	1765	1765	
Parti No.	1505-2-1	1505-3-1	1505-5-1	
Parti Adı				
Kumaş Cinsi				
Brüt Kilo	0	0	0	
Net Kilo	0	0	0	
Toplam Top Sayısı	24 / 2	30 / 2	23 / 2	
Model	C.TREADERS	C.TREADERS	ASOS	
Renk	beyaz puanli	laci puanli	KAHVE	
Parti Ağırlığı	0	0	0	
Ortalama Gramaj	0 / 190	0 / 205	0 / 210	
Toplam Ağırlık	80 / 40	120 / 40	40 / 40	
Kalite	30/1 penye rib	30/1 penye rib	polyester lyc	
Açıklama				
İrsaliye No.	TSA202100000348	TSA202100000326	TSA202100000348	
Firma Adı	GREEN TEKNİK	GULLE TEKSTİL	GREEN TEKNİK	
Fatura No.				
Fatura Sevki Tarihi	0000-00-00	0000-00-00	0000-00-00	
Tanzim Tarihi	2021-04-21 08:46:26	2021-04-19 13:40:51	2021-04-21 13:56:09	
Kontrol Eden	Zafer ORHAN	Zafer ORHAN	Zafer ORHAN	
Top Toplam Uzunluk	112.5	79	117	
Ort. 100m² Puan	0	0	0	
	 Sil	 Sil	 Sil	

Şekil 3. (a) Web yazılımından alınan sonuç raporu parti detayları ekranı (v5.41) [1] (Result report lot details screen from web software (v5.41) [1])

Parti Adı	Top Adı	Dosya Tarihi	Top Uzunluğu (m)	Top Eni-1 (cm)	Top Eni-2 (cm)	Top Eni-3 (cm)	Ort.En (cm)	Top Ağırlığı (Kg)	Top Gramajı	Top Brüt Kg	Top Paket No	Çekme Oranı En (%)	Çekme Oranı Boy (%)	Renk Onayı	Toplam Hata Sayısı	Toplam Hata Puanı	100 m ² Puanı	Hatalar		
																		İgne Kir.	Yırtık	
1505-2-1	001 (i) Sil	2021-04-21 08:56:29	56,50	157,00	0,00	0,00	0	20,00	190,00	10,55		0	0	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0
	002 (i) Sil	2021-04-21 09:19:40	56,00	157,00	0,00	0,00	0	20,00	190,00			0	0	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0
Ara Toplam:			112.50				0	40.00	380.00											
1505-3-1	017 (i) Sil	2021-04-19 16:12:11	18,00	165,00	0,00	0,00	0	20,00	205,00			0	0	<input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0
	035 Sil	2021-04-19 13:40:51	61,00	165,00	0,00	0,00	0	20,00	205,00			0	0	<input type="checkbox"/>	5	11	10,93		2	2
Ara Toplam:			79.00				0	40.00	410.00											

Şekil 3. (b) Web yazılımından alınan sonuç raporu top detayları ekranı (v5.41) [1] (Result report roll details screen from web software (v5.41) [1])

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma kapsamında, KonsanTech firmasına ait standart donanımlı bir Kumaş Kontrol Makinesi üzerinde donanımsal olarak değişiklikler yapılmıştır. Başlangıçta ek bazı sensörler ilave edilerek; makinede ağırlık ve en ölçüm sensörleri yardımı ile kumaş toplarının ağırlığı ve tarama sırasındaki en değişimleri otomatik olarak tespit edilebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, kumaş bitmesi durumunda da bir sensör yardımı ile kontrol işlemi otomatik olarak durdurulabilmesi sağlanmıştır. Ancak çalışma sırasında yapılan esas gelişme, makinede daha önce hataların kaydedilmesi için kullanılan basit bir tabletin (Arıkan C.O., 2019), çok daha büyük ve dokunmatik ekranlı, istenilen özelliklerin daha kolay entegre edilebildiği Windows tabanlı komple bir bilgisayar otomasyon sistemine çevrilmesi olmuştur.

Makinede kaydedilen hatalar, online olarak web tabanlı geliştirilen yazılıma aktarılmakta ve burada kalite kontrol sorumlusunun top, parti ve hatta sipariş hakkında kararlar vermesini kolaylaştırmaktadır. Yazılım 4-Nokta yöntemine göre (Balakrishnan vd., 1998) sonuçları analiz ederek kumaşa ait tüm partilerinin ve her bir kumaş topunun aldığı puanlara göre genel bir sonuç üretmektedir. Ayrıca, kumaş üzerinde bulunan hataları, grafik ortamında kumaş boyunca hangi bölgede daha yoğun hata olduğunu açıkça gösterebilmektedir. Çalışma kapsamındaki yazılımlar, işlemler sırasında ortaya çıkan farklı ihtiyaçlara göre güncellenerek firmalara yansıtılmaktadır.

Çalışma içerisinde önceki yayında (Arıkan C.O., 2019) hazırlanan web tabanlı sistemin geliştirilmesi ve sistemi kullanan firmaların kontrol aşamalarını kolaylaştıracak şekilde geri bildirimler alınarak, yeni özellikler eklenmesi ve raporlar ile donatılması sağlanmıştır. Raporların web aracılığı ile erişilebilmesi sağlandıktan sonra, hata kayıt işleminin yapıldığı panel sisteminin (tablet) iyileştirilmesi için, yerine tamamen Windows tabanlı bir bilgisayar sistemi ve burada çalışacak yeni bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni sistem, KonsanTech tarafından üretilen Kumaş Kontrol Makinesinin donanımsal olarak değiştirilmesi ve yeni sistemde kontrol aşamalarının yeni bilgisayar sistemi ile yapılması sağlanmıştır. Makinenin tüm donanımları (ışıklar, motorlar vb.) artık Windows tabanlı yeni yazılım üzerinden kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Yeni geliştirilen bu sistem, içlerinde şu an bu çalışmaya veri sağlayan Mert İpek Tekstil ve AEM Tekstil gibi Türkiye’de ve yurt dışında bulunan birçok farklı firmada kullanılmaya başlanmıştır. Firmalardan gelen geri bildirimlere göre sistemde iyileştirme ve geliştirme çalışmaları da halen devam etmektedir.

Çalışma kapsamında, eski yazılımda yapılan iyileştirmeler ve donanımsal olarak yapılan yenilikler ile ilgili bilgiler aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

2.1. Yeni sistemde web ara yüzünde yapılan güncelleme ve yenilikler (Updates and improvements on the new web-based interface)

Yazılım tarafında yapılan güncellemelerde, Türkçe dili yanında İngilizce dili de aktif olarak kullanılabilir hale getirilmiş ve istenirse kullanıcı tarafından farklı dillerin de eklenebilmesi sağlanmıştır. Kumaş kontrol makinesi üzerinde yapılan çalışmalarda, öncelikle kullanılan tabletin yeteneklerinin sınırlı olması nedeniyle, sadece bazı yeni alan girişleri ilave edilmiş ve bu şekilde oluşan CSV dosyasına yeni veriler eklenmiştir. Bu değişiklikler, hata

girişleri sırasında ekrandan kumaş ağırlığının ve top gramajının girilmesi, hatanın boyutunun girilmesi, hatanın makine eni boyunca kenara olan uzaklığının girilmesi şeklinde sağlanmıştır. Ayrıca, makinedeki en değişim sensörleri herhangi bir boyut değişikliği tespit ettiğinde CSV üzerinde otomatik olarak yeni bir kayıt satırı eklemektedir. Uzun hatalarda, başlangıç ve bitiş noktaları (aynı bölgede birden çok aynı hata olması durumunda B1-S1, B2-S2, B3-S3 şeklinde numaralandırılarak) işaretlenmekte ve CSV'de bu bilgiler eklenmektedir. Dolayısı ile CSV üzerinde yeni sürüme özel yapısal değişiklikler yapılmıştır (Şekil 4).

No.000	June-11 14:42, 0,200611144259, 0, 0,	June-11 14:56, 832, IGNE KIRIGI, 0, 1060,B1
June-11 14:42, 0,EKSPRESTEKSTIL, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,MERT IPEK, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,798Q, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,7980, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,1, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,KETEN, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,90510 EKRU, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,33K341 008, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,HAMIDE, 0, 0,		
June-11 14:42, 0,173, 0, 0,		
June-11 14:52, 310, KUMAS ENI, 1440, 0,		
June-11 14:56, 832,IGNE KIRIGI, 0, 1060,B1		

Şekil 4. Kumaş kontrol makinesinde bakılan bir toptan alınan CSV rapor dosyası (yeni sürüm) (CSV report file (new version) received from a bulk checked in the fabric inspection machine)

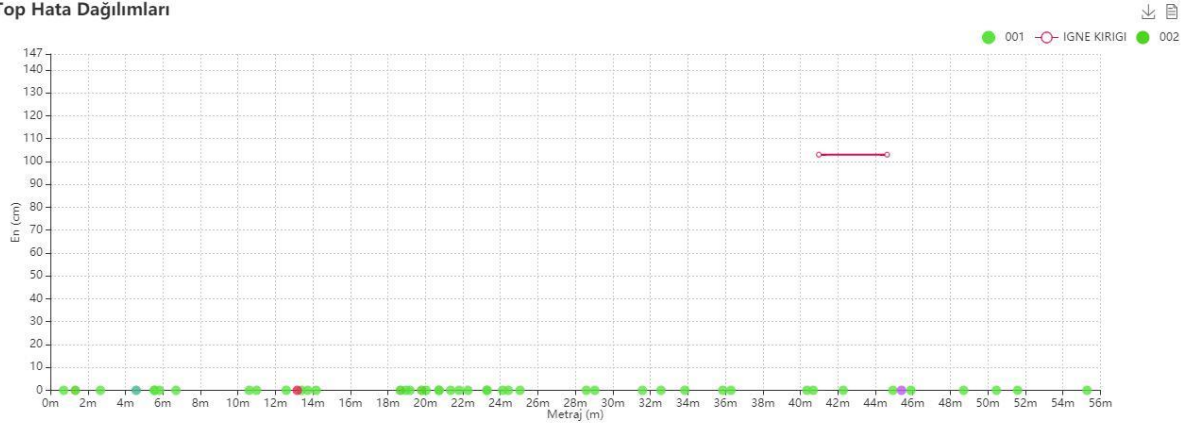
Önceki sürümlerde, hata ile ilgili 4 bilgi içeren her bir satır, yeni sürümde 6 bilgi içerecek hale getirilmiştir. Ayrıca, toplam kumaş ağırlığı ile ölçümü yapılan kumaş topunun gramaj değerleri ilave edilmiştir. Alt kısımda hatanın bulunduğu noktadaki büyüklüğü (çapı), hata tipine bağlı olarak devam eden hata sınıfını gösteren bir bilgi (0 veya B1-S1, B2-S2, B3-S3 gibi) ve ilgili hatanın kumaşın sol kenardan olan mesafesinin yazılması sağlanmıştır. Bu veriler, kumaş kontrolü yapan kontrolcünün makinedeki hatayı belirtmesi sırasında, hatanın türüne göre girilmektedir.

Kumaş kontrol makinesi üzerinde kullanılmakta olan akıllı tablet üzerinden yapılan kontrol aşamaları sonucunda elde edilen sonuç dosyaları (CSV), otomatik olarak web tabanlı yazılıma aktarılmakta ve burada veriler sınıflanarak, kalite kontrol sorumlusunun karşılaştırma yapabileceği formata çevrilmektedir. Eski sürümde sadece sipariş, parti ve top bazında hata sınıflandırılmaları yapılmakta iken, yeni sürümde bunlara ilave olarak birçok seçenek eklenmiştir. Örnek olarak, "Ayarlar" bölümünde ekranda listelenecek tablolarda gösterilmesi istenen başlıkların seçilebilmesi sağlanmış ve kullanılmayan alanların gösterilmesi engellenmiştir. Firma içerisinde birden çok kumaş kontrol makinesi üzerinden veri alınması ve aynı ekrandan takip edilebilmesi sağlanmıştır. Grafik görünümüleri sayfada direkt açılmadan, üst kısımdaki menü üzerinden açılıp-kapanarak görüntülenecek hale dönüştürülmüştür. Sol yandaki menüde analiz için kullanılacak yeni Raporlar eklenmiştir. Ayrıca, top bilgileri bölümünde, etiket basımı için gereken butonlar, sadece tek bir topa ait grafiklerin alınabilmesi için butonlar ve hatalar bölümünde ilgili toptaki tüm hataların detaylarını gösteren blokların açılıp-kapanarak gösterilmesi sağlanmıştır.

Sonuç grafiklerinde önceki sürümlerde sadece hata sayıları verilirken, yeni sürümde, hataların kumaş boyunca dağılım grafikleri (Şekil 5) ve kontrol işlemi tamamlandığında, makinede girilmemiş veri var ise (kontrol sırasında kumaş en değişimlerinin 3 ayrı noktada işaretlenmemesi durumunda) gereken eksik top bilgilerinin ekrandan eklenmesinin ardından 4-nokta sistemine göre parti bazında değerlendirme grafiği ve puanları eklenmiştir.

Sipariş Hataları Yerleşimdeki Dağılım Grafiği
Seçilen siparişe ait tüm partilerdeki hataların yerleşimi
9471/T (9471/T)

Top Hata Dağılımları



Şekil 5. Kumaş boyunca tespit edilen hataların grafiksel dağılımı (v5.41) (Graphical distribution of defects detected across the fabric (v5.41))

Hesaplamalar sırasında, kumaş kontrol makinesinde en ölçüm modülü aktif ise, kumaş boyunca ende oluşan değişimler otomatik olarak rapora eklenmektedir. Ancak bu modül aktif değilse, kumaş boyunca en az 3 noktada kontrol ustasının ölçüm yaparak makinede ilgili butonlar ile bu bilgileri rapora kaydetmesi gerekmektedir. Bu kaydın da yapılmaması durumunda, 3 farklı kumaş en bilgisinin rapor ekranından el ile girilmesi gerekmektedir. İşleme başlamadan önce yapılan ayarlar ile aradaki bu en değerlerinin ortalaması karşılaştırılarak, bir uyumsuzluk olması durumunda ekranda “Ortalama En” sütununda renkli olarak uyarı biçiminde gösterilmektedir.

Yeni sürümde, sağ menüde yeni raporlar eklenmiş ve bu raporlar sayesinde kontrol işlemlerinin çok daha hızlı ve verimli hale gelmesi sağlanmıştır. “Hata puanları” ile, kontrol sırasında ortaya çıkan hataların toplam tespit edilme oranları ve bu hataların grafiklerde renk tanımlamalarının yapılması sağlanmıştır. “Tarihe göre raporlar” ile, işletmenin belirli bir tarih aralığındaki ölçümlerine ait veriler değerlendirilebilmektedir. “Pareto diyagramı” ile istenilen tarih aralığında yapılan ölçümlere göre tespit edilen hataların yoğunluk dereceleri incelenebilmektedir. “Kalite/Hata raporu” ile istenilen tarih aralığında çalışılan ürünler bazında oluşan hata detayları ayrıntılı olarak gösterilebilmektedir. “Müşteri sevk raporu” ile firmanın belirli tarih aralığında kontrol ederek sevk ettiği kumaşların kalite raporlarının elde edilmesi sağlanmış ve böylece tedarikçi firma bazında hata oranlarının görülebilmesi mümkün olmuştur. “CSV Raporu” ile de firmada kullanılan farklı otomasyon sistemleri için veri transferi yapılabilmesi sağlanmıştır. Bahsedilen raporlardan en sık kullanılan “Tarihe göre raporlar” Şekil 6’da gösterilmiştir.

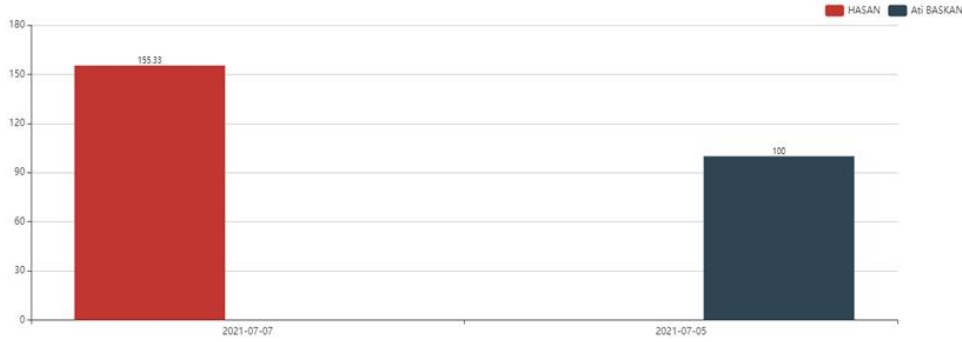
Tarihe Göre Ölçüm Raporu [-]

Ölçüm yapılan Toplam Ağırlık ve Metraj Bilgileri

[X]	Tümünü Göster	2021-06-30 - 2021-07-07	Raporu Yenile	
Tarih	Kontrolcü	Toplam Ağırlık	Toplam Metraj	Toplam Adet
2021-07-07	HASAN	0	155,33	57
2021-07-05	Ati BASKAN	0	100	7
		0	255,33	64

Kontrolcü	Toplam Ağırlık	Toplam Metraj
Ati BASKAN	0	100
HASAN	0	155,33

Tarihe Göre Ölçüm Raporu



Tarihe Göre Kontrol Raporu [-]



Şekil 6. Yeni sürümde alınabilen analiz raporları örnekleri (v5.41) (Examples of analysis reports available in the new version (v5.41))

2.2. Akıllı tabletin yeni PC ve kontrol yazılımı ile değiştirilmesi (Replacing the old tablet by a PC and control software)

Kumaş kontrol makinesi üzerinde kullanılan akıllı tabletin yetenekleri kısıtlı olduğundan, yapılması istenilen bazı işlemler tam olarak gerçekleştirilememekte, mecburen cihazın yeteneklerine göre işlem yapılmaktadır. Bu nedenle, kumaş kontrol makinesinin daha verimli çalıştırılması ve istenen özelliklere cevap verebilmesi için söz konusu tablet yerine geçebilecek alternatif donanımlar araştırılmıştır. Bu noktada, endüstriyel PC olarak isimlendirilen ve standart bir Windows tabanlı PC özellikleri barındıran ancak kullanım açısından daha zorlu şartlara uygun bir bilgisayar ile çalışma yöntemi seçilmiştir.

Bilgisayar görünüşte standart bir masaüstü bilgisayar özelliklerindedir. Ancak donanım olarak dokunmatik ekranlı ve standart PC'lere göre birçok bağlantı imkanı olan, birçok noktadan anlık veri iletişimi yapılmasını mümkün hale getiren, aynı zamanda Windows 10 işletim sistemi ile çalıştığı için farklı sunucu tabanlı yazılımları da kendi üzerinde çalıştırabildiğinden, yapılandırılan hizmetlerin aynı anda kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Kumaş kontrol makinesi ile yeni bilgisayar arasındaki veri iletişimi özel bir PLC ile sağlanmakta ve makineden gelen veriler incelemenin bitmesini beklemeye gerek kalmadan anlık olarak kayıt altına alınarak, raporlama için kullanılan web tabanlı yazılıma veya işletmenin istediği bir formatta farklı ERP yazılımlarına aktarılabilir. Önceki sürümler ile uyumluluk açısından, kontrol işlemi sonunda benzer bir rapor dosyası (CSV) oluşturulmakta, ancak yeni sistemde bu csv dosyaları kullanılmamaktadır.

Yeni sistemde, çoklu dil desteği ile Türkçe ve İngilizce kullanım sağlanmıştır. Kumaş kontrol makinesindeki PLC'den gelen sensör bilgileri de yazılım tarafından kontrol edilerek ekranda anlık uyarılar verilebilmekte ve ekrandan verilen komutların anında kumaş kontrol makinesinde işleme alınması mümkün olmaktadır. Ayrıca arka planda çalışan web uygulaması ile de farklı lokasyondaki bir kalite kontrolcü sonuçları anlık olarak izleyebilmektedir. Kontrol işlemi devam eden kumaş toplarının, kalite kontrol sorumlusu tarafından web tabanlı sistem üzerinden canlı olarak izlenebilmesi ve daha kontrol işlemi bitmeden ilgili top hakkında onay/ret verilmesi sağlanmaktadır.

Kumaş kontrol makinesi üzerine monte edilebilen sistem sayesinde, eski tablet üzerinden yapılabilen işlemlerin tamamı, endüstriyel PC dokunmatik ekranı üzerinden yapılabilen ve kumaş kontrol makinesi direkt olarak PLC bağlantısı ile bu bilgisayar üzerinden kontrol edilebilmektedir. Kumaş kontrol makinesindeki ışıkların, motorların, hizalama işlemleri ve kumaş kesim aparatı çalıştırma işlemlerinin de yeni sürümde (v1.52) yazılım üzerinden yapılabilmesi sağlanmıştır.

Kumaş toplarının kontrol işlemleri, çalışma kapsamında hazırlanan yeni yazılım aracılığı ile yapılmaktadır. Yeni yazılım temelde 3 bölümden oluşmaktadır: "Hata seçim" sekmesi, "Top bilgileri tanımlama" sekmesi ve "Ayarlar" sekmesi. Yazılımın kalite kontrol makinesi ile çalışması için gerekli tüm parametreler ve kontrol sırasında kullanılacak hata tanımlamaları ile web tabanlı uygulama ile yapılacak veritabanı bağlantılarının tamamı "Ayarlar" sekmesi üzerinden değiştirilmektedir. Buradaki ayarların bazıları, kumaş kontrol makinesinin çalışmasını etkileyen ayarlar olduğu için özel bir şifre ile koruma altına alınmış olup, yetkili personel dışında değiştirilmesine izin verilmemektedir.

Yeni yazılım, dokunmatik ekranlı endüstriyel PC'ye göre hazırlandığından, kullanıcı tarafından girilmesi gereken bilgiler için, fare ve klavye takılmasına gerek kalmadan, ekrandaki sanal klavye ile işlem yapılabilir. Sanal klavye, girilecek verinin türüne göre sayısal veya alfanümerik şekilde ekrana gelmektedir ancak istenirse sanal klavye kullanımı ayarlar üzerinden kapatılabilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Endüstriyel PC üzerinde çalışan yazılım ve yeni tanımlama ekran görüntüleri (Software running on industrial PC and new definition screens)

Kalite kontrol makinesinde yeni bir top kontrol edileceği zaman, önceki sürümdekine benzer şekilde yazılımın "Ürün tanımlama" ekranından, sipariş, parti ve top ile ilgili detaylar girilmektedir. Bu ayarların bazıları, raporlardaki veri sınıflandırmayı mümkün kılabilen için veritabanı bağlantılı olarak seçilebilecek şekilde tanımlanabilmekte ve yazım hatalarının oluşması engellenebilmektedir. Hangi alanların serbest hangilerinin veritabanı bağlantılı olacağı, "Ayarlar" kısmında kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir.

Varsa makinenin çalışması ile ilgili parametreler “Ayarlar” sekmesinden kontrol edilmekte, kontrol sırasında çıkabilecek hata çeşitleri kullanıcı tarafından ayarlanabilmekte (ekrandaki düğmeler otomatik olarak güncellenmekte) ve “Genel” sekmesi ekranına dönmektedir. Bu ekranda üst kısımda fotosel hizalama düğmeleri, kontrol işlemini başlatma ve durdurma düğmeleri bulunmaktadır. Motorlar harekete başladıktan sonra, kontrolcü kumaşa bir hata gördüğünde, direkt olarak ekrandaki ilgili hata butonuna basmakta ve gerekiyorsa hatanın boyutu ile kenardan olan mesafesini girmektedir. Basılan hata eğer ek bir parametre gerektirmiyor ise bu durumda hata listesine otomatik olarak ilave edilmekte ve kontrol işlemi bu şekilde kumaş bitene kadar devam etmektedir.

Çalışma sırasında kumaş eninde oluşan hatalar, makinedeki sensörler yardımı ile kontrolcünün müdahalesine gerek kalmadan hata listesine otomatik olarak eklenmektedir. Eğer web tabanlı uygulamaya veri aktarımı yapılıyor ise (veri tabanı bağlantısı ayarlanmış ise), aynı zamanda, ayarlar bölümünde bulunan grafikte hataların isimleri ve adetleri de anlık olarak gösterilmektedir ve web tabanlı uygulama üzerinde kontrolü yapılan kumaş topunun da bilgileri anlık olarak görüntülenebilmektedir. Böylece daha topun kontrol işleminin bitmesini beklemeye gerek kalmadan, çok fazla hata içeren kumaşların istenildiği anda kullanımının engellenebilmesi ve sonraki aşamalar için vakit tasarrufu yapılması sağlanmaktadır.

3. Araştırma Sonuçları (Research Results)

Tekstil işletmelerinde, üretim maliyetini etkileyen önemli faktörlerden biri kumaş kontrol işlemleridir. Bu nedenle, bu işlem ne kadar iyi yapılırsa işletme için o kadar kârlı bir işlem yapılmış olmaktadır. Bu noktada, kumaşların kontrol aşamalarının hızlı ve güvenilir şekilde optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında yazılımların geliştirilmesinde büyük fayda sağlayan Mert-İpek Fantezi kumaş üretimi yapan firmada 2019 yılında kalite kontrol işlemi 4 puan sistemine göre manuel olarak makinalarda yapıp kumaş hataları Şekil 8’deki Görsel Hata Tablosunun bulunduğu A4 çıktısına el ile işaretleme yapılarak kayıt altına alınmakta iken, 2020 Mart ayında çalışma kapsamında kurulumlar yapılarak kullanılmaya başlanmıştır.

GÖRSEL KUMAŞ KONTROL / Top																Tarih:						
Siparis No :		Rapor No:				Kumaşçı: MERT İPEK				Müşteri:												
Kalite																						
Renk																						
Top No																						
Lot No																						
Renk		D65	TL83	A					D65	TL83	A					D65	TL83	A				
Onaylı																						
Baş-son																						
Kenar-orta-kenar																						
Metraj		Etiket		Ölçülen		Etiket		Ölçülen		Etiket		Ölçülen		Etiket		Ölçülen		Etiket		Ölçülen		
Kesilebilir En		Etiket	Baş	Orta	Son	Etiket	Baş	Orta	Son	Etiket	Baş	Orta	Son	Etiket	Baş	Orta	Son	Etiket	Baş	Orta	Son	
Gramaj																						
Hata Puanı		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Atkı kopuğu																						
Çözücü kopuğu																						
Çözücü çift ip																						
Atkıda çift ip																						
Atkıda kalın ip																						
Çözücü kalın ip																						
Uçuntu																						
Delik																						
Balık / Düğüm																						
Leke																						
Kırık																						
Parça																						
Atkı bant																						
Sürtme/Beyazlık																						
Baskı hatası																						
Abraj																						
İplik çekmesi																						
Kafes																						
Hare																						
Ara toplam		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Top puanı		0				0				0				0				0				
Notlar:																						

Şekil 8. Firma içerisinde sistem uygulamasından önce yapılan kayıt tablosu (Record table made before system implementation within the company)

Firmada, kalite kontrol makinaları öncesinde Kumaş Kalite Kontrol süreci aşağıdaki gibi işlemektedir:

- 1- 4 puan sistemine göre manuel makinada kalite kontrolün yapılması
- 2- Kumaş hatalarının A4 çıktısı olan “Görsel Kumaş Kontrol” tablosuna işaretlenmesi
- 3- Kontrolü tamamlanan kumaş topuna kuşakların yapıştırılması
- 4- Topun üzerine top no ve metraj bilgisinin el ile yazılması
- 5- Kontrolü tamamlanan kumaş topunun bekleme yerine konulması
- 6- Siparişe ait tüm topların kalite kontrollerinin tamamlanması

- 7- Tüm toplara ait kalite, müşteri, top no, en, gramaj bilgilerinin muhasebe programına girilmesi
- 8- Tüm toplara ait etiketlerin çıkartılması
- 9- Bekleme alanındaki Siparişe ait tüm toplara etiketlerin yapıştırılması
- 10- Kumaş toplarının paketlenmesi
- 11- "Görsel Kumaş Kontrol" tablosundaki kontrol bilgilerinin Excel ortamına geçirilmesi

Kalite kontrol makinaları yazılımları sonrasında Kumaş Kalite Kontrol süreci aşağıdaki gibi değiştirilmiştir:

- 1- 4 puan sistemine göre Kalite kontrol makinasında kalite kontrolün yapılması
- 2- Kumaş hatalarının dokunmatik ekranda işaretlenmesi
- 3- Kontrolü tamamlanan kumaş topuna kuşakların yapıştırılması
- 4- Top etiketinin web yazılımından çıkartılması
- 5- Topa ait etiketin yapıştırılması
- 6- Kumaş topunun paketlenmesi

Görülebileceği gibi, kalite kontrol yazılımı sayesinde kumaş hatalarının anlık olarak işlenmesi, kumaş topuna ait etiketin anlık olarak çıkartılması ve siparişe ait çeki listesinin ve hata verilerinin anlık olarak oluşması kontrol sürecinin tamamlanma sürecini 11 adımdan 6 adıma düşürmüştür. Bu artırım sayesinde metre başına kalite kontrol süresi azalmış ve personelin günlük kalite kontrol metraj miktarı artış göstermiştir.

Aşağıda 45'er metrelik 2 adet toptan oluşan bir siparişe ait kumaş kontrol yazılımı öncesi ve sonrası kalite kontrol süreci adımlarını gösteren donatı tipi iş akış diyagramı analizi verilmiştir. Kalite Kontrol makinaları ve yazılımları öncesi Kumaş Kalite Kontrol süreci adımları Şekil 9'da incelenmiştir.

Şema No: 1	Sayfa No: 1	Özet							
Konu: Kumaş Kalite Kontrol İşlemi		Etkinlik	Mevcut	Önerilen	Arttırım				
İş:		İşlem	12						
Yöntem: Mevcut		Taşıma	3						
Yer: Kalite Kontrol Bölümü		Gecikme	0						
Hazırlayan : PLANLAMA BİRİMİ Onaylayan :		Yoklama	0						
		Birleşik faaliyet	0						
		Depolama	2						
		Uzaklık (mt)	6						
		Zaman (dk)	59						
TANIM	Miktar	Uzaklık	Zaman	Simge			Açıklamalar		
	(m)	(m)	(dk)	○	⇒	D	□	▽	
1- 1.Top Kalite Kontrolü	45	-	15	*					
2- Hata kayıtlarını işleme	45	-	5	*					
3- Kuşakları yapıştırma	45	-	1	*					
4- Top no ve Metraj yazma	45	-	1	*					
5 - Bekleme alanına taşıma	45	2	1		*			*	
6- 2.Top Kalite Kontrolü	45	-	15	*					
7- Hata kayıtlarını işleme	45	-	5	*					
8- Kuşakları yapıştırma	45	-	1	*					
9- Top no ve Metraj yazma	45	-	1	*					
10 - Bekleme alanına taşıma	45	2	1		*			*	
11- Sipariş Bilg. Muh. Programına işleme	90	-	4	*					
12- Top etiketlerinin çıkartılması	90	-	2	*					
13- Bekleme alanına gitme	-	2	1		*				
14- Top etiketlerinin yapıştırılması	90	-	2	*					
15- Topların paketlenmesi	90	-	4	*					
TOPLAM	90	6	59						

Şekil 9. Kalite Kontrol makinaları ve yazılımları öncesi Kumaş Kalite Kontrol süreci adımları (Fabric Quality Control process steps before Quality Control machines and software)

Kalite Kontrol makinaları ve yazılımları kullanımından sonraki Kumaş Kalite Kontrol süreci adımları Şekil 10'da incelenmiştir.

Şema No: 2		Sayfa No: 1		Özet					
Konu: Kumaş Kalite Kontrol İşlemi			Etkinlik	Mevcut	Konsan Sonrası	Arttırım			
İş:			İşlem	12	12	0			
Yöntem: Konsan Sonrası			Taşıma	3	2	1			
Yer: Kalite Kontrol Bölümü			Gecikme	0	0	0			
Hazırlayan : PLANLAMA BİRİMİ Onaylayan :			Yoklama	0	0	0			
			Birleşik faaliyet	0	0	0			
			Depolama	2	2	0			
			Uzaklık (mt)	6	4	2			
			Zaman (dk)	59	27,4	31,6			
TANIM	Miktar	Uzaklık	Zaman	Simge				Açıklamalar	
	(m)	(m)	(dk)	○	⇒	D	□	▽	
1- 1.Top Kalite Kontrolü	45	-	9	*					
2- Hata kayıtlarını işleme	45	-	1	*					
3- Kuşakları yapıştırma	45	-	1	*					
4- Top etiketi çıkarma	45	-	0,5	*					
5- Top etiketini yapıştırma	45	-	0,2	*					
6- Topun paketlenmesi	45	-	1	*					
7 - Bekleme alanına taşıma	45	2	1	*	*			*	
8- 2.Top Kalite Kontrolü	45	-	9	*					
9- Hata kayıtlarını işleme	45	-	1	*					
10- Kuşakları yapıştırma	45	-	1	*					
11- Top etiketi çıkarma	45	-	0,5	*					
14- Top etiketini yapıştırma	45	-	0,2	*					
12- Topun paketlenmesi	45	-	1	*					
13 - Bekleme alanına taşıma	45	2	1	*	*			*	
TOPLAM	90	4	27,4						

Şekil 10. Kalite Kontrol makinaları ve yazılımları kullanımından sonraki Kumaş Kalite Kontrol süreci adımları (Fabric Quality Control process steps after the use of Quality Control machines and software)

Şekil 9'da yazılım öncesi mevcut durumda kalite kontrol sürecinin tamamlanması 59 dk zaman alırken Şekil 10'de Kalite Kontrol makinaları ve yazılımları kullanımından sonraki kalite kontrol sürecinin 27,4 dk ya düştüğü görülmekte olup incelenen siparişin kalite kontrol sürecinde 31,6 dk artırım sağlandığı ortaya çıkmaktadır.

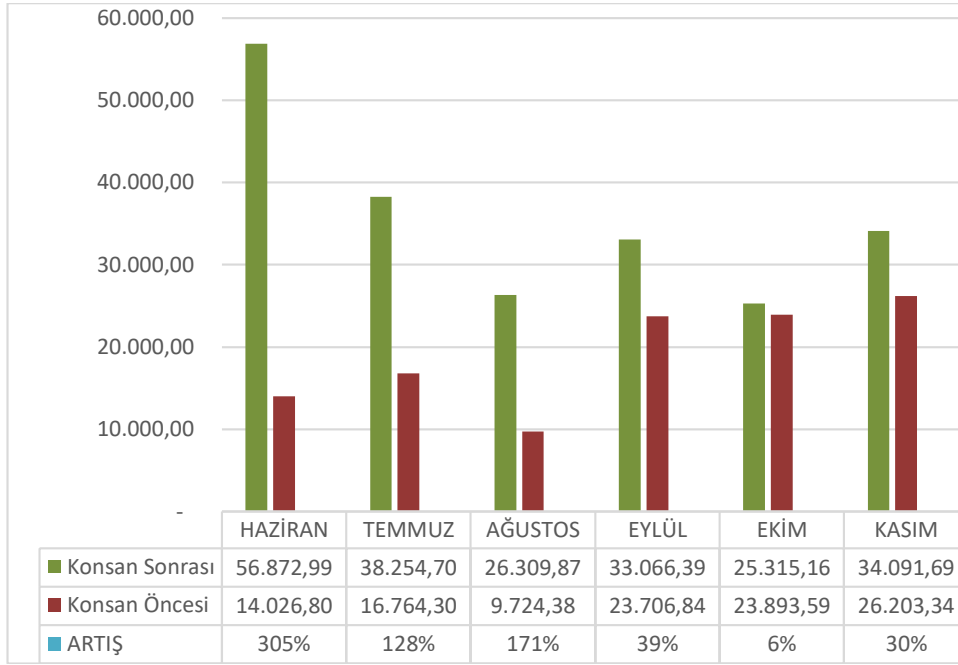
Yukardaki yazılım öncesi ve sonrası kalite kontrol süreçleri analizi sonucunda, yazılım öncesinde 1 personelin 8 saatlik mesai süreci içerisinde günlük kumaş kontrol kapasitesi 720 metre iken, yazılımın kullanılmaya başlanması sonrası günlük kumaş kontrol kapasitesi %119 artışla 1.576 metreye çıkmıştır (Şekil 11).

Kumaş Kontrol Sistemi Öncesi			
Süre (dk)	Metraj (m)	Mesai (saat)	Günlük Kontrol (m)
59	90	8	720

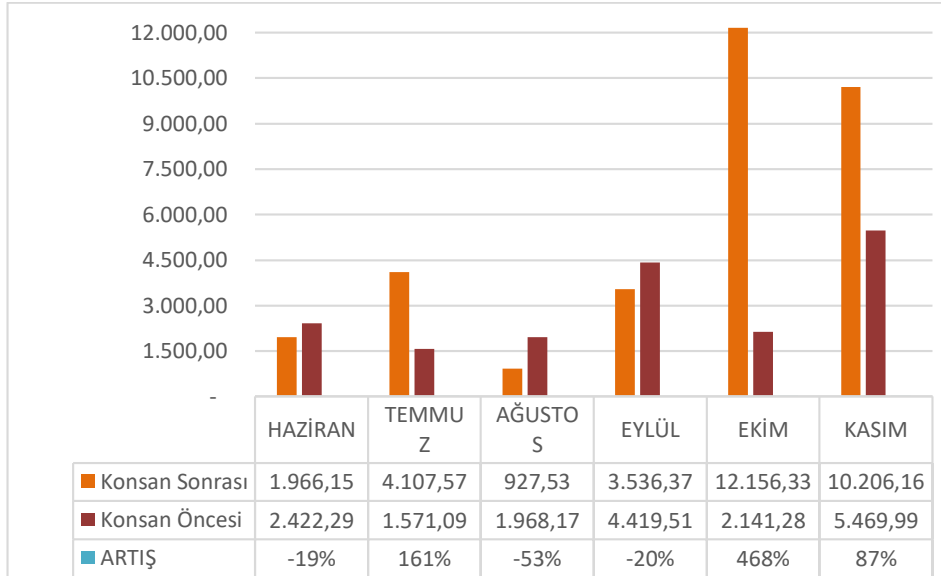
Kumaş Kontrol Sistemi Sonrası			
Süre (dk)	Metraj (m)	Mesai (saat)	Günlük Kontrol (m)
27,4	90	8	1576,00

Şekil 11. Kumaş kontrol sistemi öncesi ve sonrası ölçüm sonuçları (Measurement results before and after fabric control system)

Çalışmanın yürütüldüğü Mert-İpek Fantezi Kumaş Sanayi ve Tic.Ltd.Şti. işletmesinde, Kalite kontrol makinaları 2020 Mart ayı itibariyle aktif kullanılmaya başlanmıştır. 2020 Mart-Nisan-Mayıs aylarında Pandemi süreci nedeniyle fabrika 3 aylık süreçte kapanmıştır. Bu nedenle yeni sistemdeki kalite kontrol makinalarında veriler 2020 Haziran ayı itibariyle oluşmaya başlanmıştır. 2019 ve 2020 yılına ait Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım aylarında Kalite kontrol personeli tarafından yapılan metre bazlı kontrol miktarları Şekil 12'de ve Kilogram bazlı kontrol miktarları da Şekil 13'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre firmada yazılım güncellemelerinden sonra günlük kumaş kontrol miktarları, metre ve toplam kumaş gramajları bazında büyük oranda artışla sonuçlanmıştır.



Şekil 12. Firmada 2019 ve 2020 yılına ait metraj karşılaştırmaları (Quantity comparisons for 2019 and 2020 in the company)



Şekil 13. Firmada 2019 ve 2020 yılına ait kilogram karşılaştırmaları (Kilogram comparisons for 2019 and 2020 in the company)

Şekil 12 ve Şekil 13'deki sonuçlara bakıldığında, 2019 yılında manuel olarak yapılan işlerin, firmada 2020 yılında yeni sistemin kullanılmaya başlamasından sonra, pandemi dönemine girilmesi ile çalışma saatleri düşmüş ancak yapılan kumaş kontrolleri metre olarak büyük oranda artış göstermiştir. Bunun anlamı daha fazla kumaş topu aynı gün içerisinde kontrol edilebilir hale gelmiştir. Kilogram değerlerinin de buna bağlı olarak artış gösterdiği görülse de, genellikle benzer özellikteki kumaşlar kontrol edildiğinden, kilogram bazında da günlük kontrol imkanının artması ile büyük oranda artışlar gözlemlenmiştir. Ancak bir önceki yıla göre bazı aylarda daha fazla çalışma yapılmış olması sonuçların kötü gidişatını değil, sadece o aylarda 2020 yılında daha az çalışma yapıldığını göstermektedir.

Firmada yapılan çalışmalar göstermiştir ki, çalışma kapsamında hazırlanan sistemler firmalardaki kumaş kontrol süreçlerini büyük oranda hızlandırmış ve firmadaki çalışma kalitesinin de artmasına yardımcı olmuştur. Pandemi süreci nedeni ile çalışmanın sürdüğü diğer firmalardan henüz sayısal çalışma sonuçları alınamamış ancak yapılan görüşmelerde benzer iyileşmelerin oluştuğuna dair görüşler alınmıştır.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında yapılan iyileştirme çalışmaları ile kumaş kontrol işlemlerinin daha verimli yapılabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Öncelikle kalite sorumlularının, kumaş kontrol aşamalarını anlık olarak izleyebilmesi sağlanmıştır. Verilerin standartlaştırılması ve raporların bu kapsamda daha anlamlı hale gelmesi mümkün hale getirilmiştir. Kumaştaki problemlerin kumaşların daha kontrol aşamasında iken hata ve puanlamalarının görülebiliyor olması neticesinde, kumaşın üretimde kullanılması yönünde olumlu veya olumsuz olarak karar verilmesinin hızlanmasına destek olunmuştur.

Yapılan iyileştirmeler doğrultusunda yeni bir sistem geliştirilmiş ve yeni yazılım ile birlikte, çok sayıda kumaş üreten büyük tekstil firmalarında (hem Türkiye’de hem yurt dışında), kumaş kontrol makinelerinin yenilenmesi ile kullanılmaya başlanmıştır. Firmaların kalite kontrol sorumlularından geri dönüşler alınarak yazılımlardaki eksikler giderilmektedir. Böylece yeni özellikler de geliştirilmeye devam edilmektedir (şu an web sürümü v5.41 ve PC sürümü v1.52 olarak kullanılmaktadır). Bazı firmaların kendi içlerinde kullandıkları ERP yazılımları ile entegrasyon çalışmalarına da başlanmış olup, firmaların kendi içerisinde anlık veri izlemelerine olanak sağlanmıştır.

Çalışmanın sonraki aşamalarında, kontrol edilen kumaş topları için belirlenen zamanlarda, verilerin sonuçlarına göre e-posta ile otomatik raporların gönderilmesi, kumaş kontrol makinelerinde görüntü işleme çözümleri ile bütünlük olarak çalışır hale getirilmesi planlanmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma kapsamında Kumaş Kontrol Makinelerindeki çalışmaların yapılması için fırsat sağlayan KonsanTECH firmasına; hazırlanan makinelerin kullanımını sağlayarak geri dönüşler sağlayan AEM Tekstil ve Mert-İpek Ltd.Şti. yetkililerine ve kalite sorumlularına teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Arıkan C.O., 2019, Developing an Intelligent Automation and Reporting System for Fabric Inspection Machines, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29 (1), pp:86-93. DOI: 10.32710/tekstilvekonfeksiyon.491362
- Habib, T., 2016, Automated Textile Defect Classification by Bayesian Classifier Based on Statistical Features, *International Workshop on Computational Intelligence (IWCI)*, Bangladesh, pp: 101-105, 978-1-5090-5769-6/16/\$31.00 ©2016 IEEE
- Kim, S., Lee, J.S., 2011, Development of a Versatile Controller System for Textile Machinery, *Fibers and Polymers* Vol.12, No.4, 550-555, DOI 10.1007/s12221-011-0550-1
- B.K. Behera, T.E. Madan, Mohan, 2005, Objective Measurement Of Pilling By Image Processing Technique, *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 17 No. 5, 2005, pp. 279-291, DOI 10.1108/09556220510616156
- H. Balakrishnan , S. Venkataraman & S. Jayaraman, 1998, FDICS: A Visionbased System for the Identification and Classification of Fabric Defects, *Journal of the Textile Institute*, 89:2, 365-380, DOI: 10.1080/00405009808658623
- Ala, D.Mutlu. İkiz, Y., 2014, Kadife Kumaşların Hata Kontrolü ve Hata Puan Sistemlerine Göre Sınıflandırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 288-295, DOI: 10.5505/pajes.2014.54154
- Kırık, B., 2017, Bir Konfeksiyon İşletmesindeki Son Kontrol Hatalarının İstatistiksel Yöntemlerle Analizi, *Naim Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.



OPTİMİZE EDİLMİŞ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN SABİT VE MOBİL UYGULAMALARDA KULLANIMININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Ali KEÇEBAŞI^{1*}, Barış GÜREL², Bayram DEVLET³

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

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

³Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Elektrikli Taşıt, PV Paneli, Yoğunlaştırıcı PV, Faz Değişken Malzeme, Elektriksel Verimlilik.</i>	Güç üretim verimi en yüksek fotovoltaik (PV) panelinin tespiti için yapılan bu çalışmada, 3 farklı özellikte optimize edilmiş PV panelin 3 ayrı durum kapsamında karşılaştırmalı testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Normal (N-PV), FDM'li (FDM-PV) ve FDM'li-Yoğunlaştırıcı (FDM-YPV) olmak üzere kullanılan üç ayrı nitelikteki PV panelinin 4 gün boyunca saat 10:30'dan saat 16:30'a kadar birer saat arayla sırasıyla güneşe Sabit Açılı (SA), taşıt Park Durumu (PD) ve taşıtın Sürüş Durumu (SD) olmak üzere 3 farklı durum kapsamında elektriksel güç ölçümleri multimetre aracılığıyla yapılmıştır. Sonuç olarak sabit açılı FDM-YPV panelinin sabit açılı N-PV paneline göre elektriksel güç üretiminde %47 verim artışı elde ettiği görülmüştür. Elektrikli taşıt park durumundaki FDM-PV panelinde, taşıt park durumundaki N-PV paneline göre %22 daha fazla verim artışı gözlemlenmiştir. FDM-PV panelin taşıt sürüş durumunda ise taşıt sürüş durumundaki N-PV paneline göre %7 daha fazla verim artışı gözlemlenmiştir.

COMPARATIVE STUDY OF THE USAGE OF OPTIMIZED PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS IN FIXED AND MOBILE APPLICATIONS

Keywords	Abstract
<i>Electric Vehicle, PV Panel, Concentrated PV, Phase Change Material, Electrical Efficiency.</i>	In this study, which was conducted to determine the photovoltaic (PV) panel with the highest power generation efficiency, comparative tests of 3 different optimized PV panels were carried out in 3 different cases. Within the scope of the study, three different types of PV panels' used as Normal (N-PV), with PCM (PCM-PV) and with PCM-Concentrator (PCM-CPV) electrical power measurements were made by means of a multi-meter for 4 days, from 10:30 to 16:30 with one hour intervals under 3 different situations, namely, Fixed Angle (FA) to the sun, while Vehicle Parking State (PS) and while vehicle Driving State (DS). As a result, it was seen that fixed angle PCM-CPV panel achieved 47% efficiency increase in electrical power (P) production compared to fixed angle N-PV panel. A 22% more efficiency increase was observed in the PCM-PV panel in the electric vehicle park state compared to the N-PV panel in the vehicle park state. In the vehicle driving state of the PCM-PV panel, 7% more efficiency increase was observed compared to the N-PV panel in vehicle driving condition.

Alıntı / Cite

Keçebaş, A., Gürel, B., Devlet, B., (2021). Optimize Edilmiş Fotovoltaik Güneş Panellerinin Sabit Ve Mobil Uygulamalarda Kullanımının Karşılaştırmalı İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 983 – 991.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
A. Keçebaş, 0000-0003-4809-2461	Başvuru Tarihi / Submission Date 06.11.2020
B. Gürel, 0000-0002-1780-2603	Revizyon Tarihi / Revision Date 26.07.2021
B. Devlet, 0000-0001-8180-6417	Kabul Tarihi / Accepted Date 26.07.2021
	Yayın Tarihi / Published Date 21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: alikecebas@mu.edu.tr, +90-252-211-5471

1. Giriş (Introduction)

Yerkürede enerjiye gereksinim hızının, nüfus ve ekonomik büyüme hızıyla doğrusal bir bağı vardır. Alternatif enerji kaynaklarına olan ilginin artmasındaki ana nedenler; fosil temelli kaynak rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve küresel ısınma sebepli sorunların artış göstermesidir. Türkiye'nin fosil kaynaklarda dışa bağımlılığını minimize etme potansiyeline sahip alternatif enerji kaynağı, güneştir. Bundan dolayı Türkiye'nin güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi zorunluluktur (Kaşkaş, 2010). Güneş enerjisi sera etkisi benzeri çevreyi kirletici gazlar yaymayan, hammadde maliyeti sıfır olan, montajı kolay olan sınırsız bir alternatif enerji kaynağıdır. Ayrıca Türkiye'nin coğrafik pozisyonu nedeniyle, güneş enerjisinin kullanım kapasitesi açısından çoğu ülkeye göre artıları mevcuttur (Cebeci, 2017).

Bugünlerde fosil bazlı yakıt maliyetinin sürekli artması ve zorunlu salınım regülasyonları nedeniyle içten yanmalı motorlu taşıt üreticileri, çevreci elektrikli taşıtların üretimine yönelmeye başlamıştır (Serin, 2011). Öbür taraftan şarj istasyonlarına monte edilmiş güneş panellerinden şarj edilebilen elektrikli taşıtların kullanımına ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye ve dünya çapında fotovoltaik (PV) panelli taşıt yarışmaları, bünyesinde güneş panellerinden park ve sürüş halinde şarj olabilen taşıtların yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Bu olgular, PV panellerinin elektrik üretim verimliliğini yükseltme çabalarının da itici gücünü oluşturmaktadır (Gören, 2014).

2. Kaynak Araştırması(Literature Survey)

Turmuş (2018) yapılan çalışmada, montajını yaptığı YPV panelinin oluşturduğu parçaları açıklayarak PV üzerine doğrudan ve yansıyarak gelen güneş radyasyonunun etkisini karşılaştırmıştır. Daha sonra güneş takip sistemli ve güneşe sabit açılı YPV'lerin karşılaştırmalı verimlilik analizini yapmıştır. Kapsalis vd. (2016) yapılan çalışmada, ısı transferi konusunda FDM bazlı ilerlemeleri sıralayarak güneş kaynağı bazlı ısı enerjisinin depolanmasında FDM çözümünden yararlanmışlardır. Günaydın (2018) yapılan çalışmada, 3 adet farklı özellikte PV paneli test edilmiştir. Aynı şartlar altında birinci panelde konsantratör, ikinci PV panelinin arkasına ısı transferi için parafin bazlı FDM malzemesi ve üçüncü PV panelinin arkasına da parafine %5 oranında Alüminyum Oksit nanotoz katkılanarak eklenmiştir. Eşit şartlarda 3 PV panelinin ısı ve elektriksel performansı analiz edilmiştir. Yüksel (2016) yapılan çalışmada, PV panel elektrik verimini değişen ve sabit güneş ışınımı altında ölçmek için PV panelinin arkasına değişik ölçülerde FDM hazneleri eklenerek panellerin verimliliği FDM'li ve FDM'siz olarak ölçülmüştür. PV panellerinde m²'den 9 Watt'lık güç artışı elde edilmiştir. Ayrıca FDM haznesine ek olarak ısı transferini arttırmak amacıyla PV panelin arka yüzeyine kanat yapısı monte edilerek panel verimine etkisi incelenmiştir ve düşük güneş ışınımında, kanat yapısı kullanımının önemli bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Karaipekli (2006) yapılan çalışmada, ısı iletkenliğini yükseltmek amacıyla genişletilmiş grafit ve karbon fiberin parafin ve stearik asit bazlı FDM'lerin içerisine farklı yüzdelerde katkılanmıştır. Termal iletkenliği ölçülen karışımların içine genişletilmiş grafit ve karbon fiber ilavesinin, yüzde oranıyla termal iletkenlik artışı arasında doğrusal bir bağı olduğunu sonucuna varılmıştır. Daneshazarian vd. (2018) YPV panelinin normal panellere kıyasla yüksek miktarda ısı kazanç sunduğu ve elektrik ürettiğini yaptıkları analizlerle gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında farklı ölçülü konsantratörlü panellerin performanslarını, elektriksel ve ısı kapasitelerini, teoride ve gerçek hayatta karşılaştırmışlardır. Jesumathy vd. (2012) yapılan deneysel çalışmada, parafin bazlı FDM içerisine ısı iletkenliğini yükseltmek için farklı yüzdelerde bakır oksit nanotoz eklemişlerdir. Varılan neticeye göre, bakır oksit eklenmiş olan parafinin saf parafinle karşılaştırıldığında erime ve katılma süresinde azalma ve ayrıca ısı iletkenliğinde de artış olduğu yönündedir. Jakhar vd. (2016) YPV panellerin konvansiyonel N-PV panellere göre %40 daha verimli olduğunu yaptıkları çalışmalarla göstermişlerdir. Ancak YPV panellerindeki sıcaklık artışının ilgili panellerin verimliliğini ve panel ömrünü azalttığı sonucuna varmışlardır. Soğutma çözümüyle panellerdeki ilgili sorunun çözülebileceğini ifade ederek YPV panellerindeki olası soğutma çözümlerini üzerinde çalışmışlardır. Yang vd. (2018) düşük YPV düzeneği üreterek yansıtıcı aynalardan oluşan konsantratörün PV paneli üzerine düşen güneş ışınım miktarının artırılmasını sağlamışlardır. YPV panelinin N-PV paneline göre güneş ışınımını 5-6 kat oranında maksimize ettiğini gözlemlemişlerdir. Ulaşılan sonuçlara göre YPV panelinin elektrik üretim verimliliğinde %59 oranında artış olduğunu belirtmişlerdir. Llorente vd. (2011) yapılan çalışma ile verimli, minimum yer tutan ve minimum malzeme maliyetli iki aynadan meydana gelen YPV düzeneğini imal ederek 2,5 kW elektriksel güç üretmişlerdir. Lin ve Al-Kayiem (2016) yapılan çalışmada 20 nanometre boyutundaki bakır nanotozları parafin içine katkılanmışlardır. Hazırladıkları 5 farklı numunede, ilgili nanotozun, parafinin fazını değiştirerek ısı transferi yaptığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca nanotoz katkısının verimlilikte %1,7'lik artış sağladığını bulmuşlardır. Parafin ve nanopartikül olarak bakır kullanıldığında termal niteliklerin artacağını gözlemlemişlerdir. Şen (2017) tarafından yapılan çalışmada, PV panellerinin üzerine düşen güneş ışınımını maksimize edilerek, daha fazla elektrik enerjisi üretmek hedeflenmiştir. 4 katmanlı konsantratör imal edilerek her katman için PV panelinde farklı verim sonucuna ulaşılmıştır. Ancak güneş ışınım miktarı maksimize edildiğinde PV panelinin sıcaklığını da aynı doğrultuda yükselterek ilgili panel veriminde azalmayı netice verdiğini tespit etmiştir. Wu vd. (2010) parafinin ısı iletim katsayısını iyileştirmek için bakır,

alüminyum ve karbon/bakır melez nanotozlar kullanarak farklı özelliklere sahip FDM malzemesi hazırlamışlardır. Isı transferi için en iyi performans gösteren çözümün, bakır nanotozu olduğu sonucuna varmışlardır. Bolat (2016) yapılan tez çalışmasında, yoğunlaştırıcı ve yoğunlaştırıcısız iki farklı PV paneli test edilmiştir. Bu PV panellerden birine parafin ekleyerek panelin soğutulması amaçlanmıştır. Parafinli PV panelinin verimi %7 iken parafinsiz panelinin ise %10 olduğu görülmüştür. Eyiç (2018) yapılan çalışmada sırasıyla herhangi FDM malzemesi kullanılmayan, sadece parafin kullanılan ve nanotozkatkılılandırılmış parafinli olmak üzere üç farklı PV panel kullanmıştır. Nanotozkatkılılandırılmış parafin karışımı PV panelinde, elektriksek ve termal verimliliğin daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Literatür çalışması sonucunda, farklı özelliklere sahip konsantratörlü ve farklı özelliklerdeki FDM'li güneş panellerinin testlerinin yapıldığı sonucuna varılmıştır. Fakat ilgili özellikteki güneş panellerinin elektrikli taşıt üzerinde park halinde ve sürüş halinde analiz edilmesine yönelik yapılan herhangi bir çalışmaya rast gelinmemiştir. Literatürdeki bu eksikliği dikkate alarak, bu çalışmada termal iletkenliği yüksek bakır partikül eklenmiş parafin bazlı FDM malzemeli ve konsantratör destekli PV sistemleri imal edilerek güneşe sabit açılı ve taşıt üzerinde park ve sürüş durumlarında kullanımı test edilerek verimliliği karşılaştırmalı analiz edildikten sonra literatüre kazandırılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmayla, enerji sektöründe PV güneş paneli bazlı yatırımların ve ulaşım sektöründe ise bünyesinde PV panel destekli elektrikli taşıtların yaygınlaşmasına katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Elektriksel güç üretim verimliliği en yüksek PV panelinin tespiti amacıyla yapılan bu çalışmada eşdeğer nominal güçte ve farklı özelliklerde 3 adet PV paneli kullanılmıştır. Testler kapsamında sırasıyla referans olması amacıyla üzerinde herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmamış Normal PV (N-PV) paneli, %20 bakır tozu katkılılandırılmış 100 gr parafin bazlı FDM malzemesi eklenmiş FDM'li PV (FDM-PV) paneli ve son olarak ta ortasında bulunan PV paneline güneş radyasyonunu 2 kat yoğunlaştırabilen yansıtıcı levhalar monte edilmiş ve aynı zamanda FDM-PV panelinin arkasına eklenmiş aynı özellikteki FDM malzemesi eklenmiş FDM'li-Yoğunlaştırıcı PV (FDM-YPV) paneli kullanılmıştır. Deneylerde Mobilsolar markalı polikristal yapıları 10 Watt nominal gücünde, açık devre voltajı (Voc) 21,6 V, optimum çalışma voltajı (Vmp) 17 V, kısa devre akımı (Isc) 0,68 A ve optimum çalışma akımı (Imp) 0,58 A olan güneş panelleri kullanılmıştır. Deneyler kapsamında, ilgili PV panelleri güneşe Sabit Açılı (SA), taşıt bünyesinde Park Durumu (PD) ve taşıt bünyesinde Sürüş Durumu (SD) olmak üzere 3 adet senaryo kapsamında, 30 Ekim ile 2 Kasım 2019 arasında 4 gün boyunca sabah saat 10:30'dan akşam saat 16:30'a kadar birer saat arayla ilgili testleri gerçekleştirilmiştir. İlgili tarih ve saatlerdeki anlık güneş ışınım miktarı Tablo 1'de verilmiştir. Optimize edilmiş üç panel, sabit açıda ve mobil kullanımda anlık güçlerinin ölçülmesi amacıyla multimetre cihazına bağlanmıştır. Ölçümler için Uni-t Ut 89XD marka dijital multimetre kullanılmıştır. Doğru akım voltaj aralığı 600 mV-1000 Volt'tur ve doğru akım aralığı ise 60µA-20 Amper'dir.

Tablo 1. Ölçüm yapılan tarih ve saatlerdeki anlık güneş ışınım miktarı (Instant solar radiation amount on the date and time of the measurement)

Saatler	30 Ekim	31 Ekim	1 Kasım	2 Kasım
	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)
10:30	47,6	27,3	34,3	37,8
11:30	54,5	32,9	29,4	48
12:30	29,4	40,6	49,1	102,4
13:30	158,9	105,7	149,8	80,5
14:30	105,7	17,5	104,3	136,5
15:30	88	68,6	82,7	44,1
16:30	37,1	16,8	62,3	20,3

Böylece yapılan bu çalışmada, elektrik şebekesine bağlı (on-grid) veya şebekeye bağlı olmayan (off-grid) bireysel ve kurumsal güneş enerji yatırımları için geleneksel biçimde kurulacak güneşe sabit açılı ve elektrikli taşıtların şarj edilmesi amacıyla kullanılacak N-PV, FDM-PV ve FDM-YPV panellerinin elektriksel güç karşılaştırması incelenmiştir.

3.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Güneş ışını, PV yarıiletken hücrelerine girerek Amper (I) olarak elektrik akımına ve Voltaj (V) olarak elektrik gerilimine dönüşmektedir (Sayın ve Ko, 2011).

$$P = V \times I \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de; P, PV panelden üretilecek Watt (W) biriminde güç miktarını, V, PV panelin gerilim miktarını ve I, PV panelin akım (A) miktarını göstermektedir.

Görüldüğü üzere herhangi bir güneş panelinden elde edilebilecek maksimum elektrik gücün, maksimum gerilim ve akım sonucunda olacağı aşikârdır. Testlerde PV panellerin akımını ölçmek için multimetre, ampermetre modunda ilgili panellere seri olarak bağlanmışken gerilimini ölçmek için ise voltmetre modunda paralel olarak bağlanmıştır. Ölçülen akım ve gerilim miktarlarını Eşitlik (1)'de olduğu gibi birbirine çarparak, ilgili panelin elektriksel gücü Watt cinsinden tespit edilmiştir. 4 gün boyunca sabah saat 10:30'dan akşam saat 16:30'a kadar birer saat arayla 3 farklı özellikteki PV panelinin sırasıyla güneşe SA, taşıt PD ve taşıt SD olmak üzere 3 farklı senaryo kapsamında, Söke/Aydın iklim şartlarında elektriksel güç ölçümleri karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Multimetre ile ulaşılan sonuçlar, ilgili paneller arasında anlık güç açısından yüzdesel verim değerlendirmesi yapılması amacıyla genel ortalamaları hesaplanarak karşılaştırması yapılmıştır.

Sabit açıda kurulacak güneş panellerinin eğim açısı, ilgili panellerin kurulacağı yerin konumuna göre belirlenmektedir. Türkiye, kuzey yarım kürede yer aldığından güneş panelleri güneye bakacak şekilde kurulmaktadır. Enlem değeri yardımıyla, güneş panellerinin eğim açısı hesaplanabilmektedir. Türkiye'de sabit açılı güneş paneli kurulumlarında Eşitlik (2)'deki formül kullanılmaktadır.

$$\text{Panel Eğimi} = \text{Enlem Değeri} \times 0,87 + 3,1 \quad (2)$$

Deneyler Söke/Aydın şartlarında yapıldığı için Söke'nin enlem değeri 37,7 olup güneş panel eğimi= $37,7 \times 0,87 + 3,1=35,8$ 'dir. Dolayısıyla deneyler sırasında sabit açıdaki (SA) panellerin eğimi 36 derece olarak alınmıştır.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Güneş panelinin akım ve gerilim miktarı ilgili panelinin üzerine düşen güneş ışınım miktarına ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Altaş, 1998). Bu durumda diğer değişkenler aynı kalmak şartıyla sıcaklık ve güneş ışınımın miktarına bağlı olarak, güneş panellerinden üretilen güçte de azalmalar veya artışlar meydana gelebilmektedir (Duman vd., 2014).

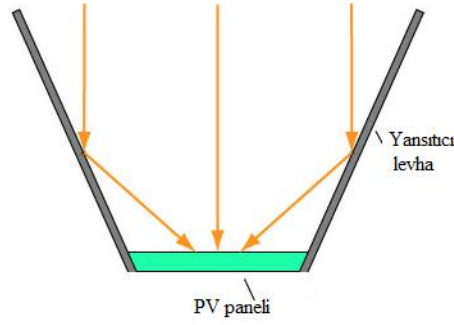
Birimi W/m^2 olan ışık miktarının artmasına bağlı olarak, standart PV panelinin ürettiği akımda da doğru orantılı bir şekilde artış olduğu ve panel geriliminde ise önemli bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir (Renaudineau vd., 2011; Chen ve Ming, 2012).

YPV panelleri, konvansiyonel güneş panellerinde olduğu gibi ışınımı elektrik enerjisine çevirir ancak daha yüksek elektrik üretebilmek amacıyla her panelin bünyesine güneş radyasyonunu daha geniş alandan toplayarak odaklaması için yansıtıcı optik çözümler kullanır. Tablo 2'de YPV türlerinde konsantratör katsayısı/oranı ve soğutma ihtiyacı görülmektedir. Piyasada düşük YPV, orta YPV ve yüksek YPV gibi yansıtıcı katsayısı ile farklılaşan farklı YPV çözümleri mevcuttur (Özen, 2015). YPV güneş panelleri, elektrik üretim verimliliklerini daha da yükseltmek amacıyla güneşi tek veya çift ekseninde takip mekanizmalı ve aktif/pasif soğutma çözümlü gibi türlerini tekil veya melez bir şekilde kullanılabilir (Gürbüz, 2018).

Tablo 2. YPV türlerinde yoğunlaştırma oranı ve soğutma gereksinimi (Condensation ratio and cooling requirement in CPV types)

Yoğunlaştırıcı tipi	Yoğunlaştırma oranı	Soğutma gereksinimi
Düşük YPV	1-10	Pasif
Orta YPV	10-100	Pasif veya Aktif
Yüksek YPV	100-1000	Aktif

Şekil 1'de YPV panelinin çalışma prensibi gösterilmiştir (Web1, 2020). Panellerin üzerine yansıtılan güneş radyasyonu N-PV panellerine göre daha fazla olduğundan, YPV panelleri normal PV panellerine göre daha fazla elektriksel güç üretebilmektedirler (Matsushima vd., 2003).Talep edilen enerjinin üretimi için N-PV panellerine göre daha az kurulum alanına gereksinim duymasının yanı sıra kullanılan optik maliyetinin PV paneline göre düşük olması, YPV panelinin artılarıdır.



Şekil 1. YPV panelinin çalışma prensibi (Working principle of CPV panel)

Bu çalışmada PV paneli üzerine düşen güneş radyasyonunu pasif şekilde yükseltmek amacıyla, iki adet yansıtıcı özelliğe sahip krom-çelik levha kullanılmıştır. Böylece V parabolü şeklinde geometrik tasarıma sahip olan ilgili konsantratörler, daha geniş alandan topladığı güneş ışığını, V parabolünün odağındaki YPV paneline yönlendirmiştir/odaklamıştır.

Herhangi bir tür güneş panelinin üzerine düşen ışınım, ilgili panelin verimlilik yüzdesiyle elektriğe dönüşürken, elektriğe dönüşmeyen kısmı ise ilgili panel bünyesinde ısıya çevrilmektedir. PV panellerinin gerilimi ile ilgili panelin sıcaklığı arasında ters orantı varken ilgili panelin akımı üzerinde benzer değişiklik söz konusu değildir. Böylece örneğin uygun bir soğutma çözümüyle panel sıcaklığı azaltılırsa ilgili panelden elde edilecek gerilimde dolayısıyla buna bağlı olarak elektriksel güçte de artış meydana gelecektir (Çarkıt, 2016). PV panel sıcaklığının düşmesine bağlı olarak ilgili PV panelinin geriliminde de artış olduğu bildirilmiştir (Duman vd., 2014).

Faz değişken malzemeleri (FDM), tersinir bir doğaya sahip oldukları için herhangi bir sıcaklık kaynağından ısıyı bünyelerine alarak katı, sıvı veya gaz olarak hal değiştirirler (Çevik, 2013). FDM'ler; organik, inorganik ve bunların çeşitli yöntem ve oranlarda melezleştirildiği ötektikler olmak üzere üç kategoriye sınıflandırılır (Günaydın, 2018). FDM'ler içinde organikler grubunda yer alan parafin, mumsu yapıda olup ucuz maliyetli, kimyasal kararlılığa sahip olmasının yanı sıra korozif veya toksik etki göstermeyen özellikte bir malzemedir. Günümüzde parafin, ısı enerjisi depolaması ve iletimi uygulamalarında geniş bir sıcaklık skalasında kullanılmaktadır. Parafinin kullanımındaki temel problem, ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasıdır (Çevik, 2013). Isıl iletkenlik, herhangi bir malzemenin ısıyı iletmesinin ölçüsü olup katsayısı 'k' ile gösterilmektedir (Web2, 2020). Tablo 3'te bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir (Web3, 2020).

Tablo 3. Bazı malzemelerin k değerleri (k values of some materials)

Malzeme	Isıl İletkenlik (k)	Malzeme	Isıl İletkenlik (k)
Elmas	2300	Demir	80,2
Gümüş	429	Cıva	8,54
Bakır	401	Cam	0,78
Altın	317	Su	0,6
Alüminyum	237	Hava	0,026



Şekil 2. Farklı özellikteki PV panelleri (PV panels with different properties)

Parafinin termal transferinin yükseltilmesi amacıyla ısı iletkenlik katsayısı yüksek mikro veya nano boyutlu partiküllerin katılması, literatürde üzerinde çalışılan bir olgudur. Bu kapsamda 100'er gram parafin, ocakta eritilerek içine kütlelerinin %20'una karşılık gelen 20'er gram ağırlığında, iletkenlik katsayısı 401 olan 120 mikron çapındaki bakır tozu eklendikten sonra metal çubukla homojen bir şekilde karıştırılmıştır ve ilgili karışım, N-PV haricindeki panellerden sırasıyla FDM-PV ve FDM-YPV panellerinin arkasına eşit bir şekilde

dökülmüştür. Testler sırasında, üç adet 10 W nominal güçteki polikristal silikon bazlı güneş paneli kullanılmıştır. Karşılaştırmalı verimlilik testleri yapılan ve farklı yöntemlerle optimize edilmiş PV panelleri Şekil 2'de görülmektedir. İlgili şekilde soldaki N-PV paneli, ortadaki FDM-PV paneli ve sağdaki ise FDM-YPV panelidir.



Şekil 3. N-PV panelli elektrikli taşıt (Electric vehicle with N-PV panel)



Şekil 4. FDM-PV panelli elektrikli taşıt (Electric vehicle with PCM-PV panel)

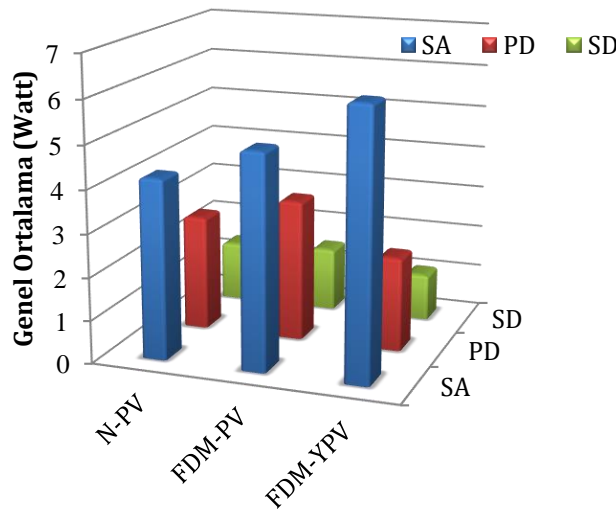


Şekil 5. FDM-YPV panelli elektrikli taşıt (Electric vehicle with PCM-CPV panel)

Şekil 3'te N-PV paneli, Şekil 4'te FDM-PV paneli ve Şekil 5'te de FDM-YPV paneli elektrikli taşıtlar görülmektedir. İlgili taşıtta optimizasyonu yapılmış farklı özelliklerdeki 3 adet PV panelinin PD ve SD senaryolarında test verileri toplanarak elektrik üretim verimleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen verilerden, ışınım miktarının yüksek ve panel sıcaklığının da az olduğu durumlarda, güneş panelinin elektriksel güç performansının daha iyi olacağı anlaşılmaktadır (Altaş, 1998).

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu çalışmada sabit ve mobil uygulamalar için maksimum güç üretim verimliliğine sahip güneş paneli tespit çalışmaları yapılmıştır. Şekil 6'da tüm senaryo ve özellik bağlamında 3 adet PV panelinin, Tablo 1'deki güneş ışınımına karşılık gelen Watt cinsinden genel ortalama güç grafiği görülmektedir. Güneşe SA FDM-YPV panelinin, diğer özellik, tarih ve senaryolar kapsamındaki PV panellere göre daha fazla elektriksel güç ürettiği görülmektedir. Şekil 6, verimlilik açısından incelendiğinde SA durumunda FDM-YPV panelinin ölçü olarak kullanılan SA'daki N-PV paneline göre verim artışının %47 olduğu görülmektedirken SA'daki FDM-PV panelinin SA durumundaki N-PV paneline göre %19 daha fazla güç ürettiği görülmektedir. Taşıt PD halindeki FDM-PV panelinin ölçü olarak kullanılan taşıt PD'daki N-PV paneline göre %22 daha fazla güç ürettiği ve taşıt PD'daki FDM-YPV panelinin ise taşıt PD'daki N-PV paneline göre %22 daha az elektrik ürettiği tespit edilmiştir. Taşıt SD'daki FDM-PV panelinin, ölçü olarak kullanılan taşıt SD'daki N-PV paneline göre %7 daha fazla elektrik ürettiği ve taşıt SD'daki FDM-YPV panelinin ise taşıt SD'daki N-PV paneline göre %27 daha az güç ürettiği görülmüştür.



Şekil 6. Genel ortalama güç grafiği (Overall average power chart)

Şekil 6'da görüldüğü üzere, güç yoğunluğu en yüksek olan alternatif; 6,2 Watt'la güneşe SA kurulmuş FDM-YPV panelidir. PV panellerinin elektrikli taşıtların park ve sürüş durumlarında şarjı için üzerine monte edilmesi halindeyse, en iyi seçeneğin PD'da 3,3 Watt'la ve SD'da da 1,5 Watt'la FDM-PV paneli olduğu görülmektedir.

FDM-YPV panelinde kullanılan yansıtıcılar sayesinde ilgili panel üzerinde pasif bir şekilde güneş radyasyonunun artırılması, panel sıcaklığında yükselmeye sebep olarak güç üretiminde azalmayı netice vermesi gerekirken, kütüce %20 bakır toz ekleyerek ısıl iletkenliği artırılmış 100 gr'lık parafin bazlı FDM kullanılarak çevreye pasif olarak panel sıcaklığının tahliyesi gerçekleştirildiğinden böyle negatif bir sonuç meydana gelmemiştir. FDM-YPV panelinin elektrikli taşıt üzerinde kullanımının negatif sonuç vermesinin sebebi ise kullanılan yansıtıcı levhaların ilgili güneş paneline gölge etkisi nedeniyle olduğu gözlemlenmiştir. Taşıtın PD ve SD hallerinde güneş ışınımının geliş açısının sürekli değişmesinden kaynaklı konsantratörlerin ilgili panele gölge etmesi nedeniyle ilgili negatif sonuç meydana gelmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Analiz sonuçlarına göre sabit uygulamalar için elektriksel güç miktarının en yüksek olan alternatifin, genel ortalaması 6,2 Watt'la güneşe sabit bir açıyla kurulmuş FDM-YPV paneli olduğu gerçeğidir. FDM-YPV panelinde ilgili panel ölçüsünde konsantratörler kullanıldığından panele yansıyan ışık miktarı diğer panellere göre 2 katına çıkmıştır. Panele gelen ışınım miktarının yükseltilmesi, ilgili panelin arka sıcaklığında da yükselmeye sebep olarak ilgili panelin güç üretiminde azalmanın görülmesi gerekirken, bakır toz katkılı FDM'li soğutma çözümü kullanılması dolayısıyla böyle bir olumsuz durum yaşanmamıştır. SA'daki FDM-YPV panelinin elektrik üretim verimliliği artışı ise ölçü olarak kullanılan SA N-PV paneline göre %47 olduğu görülmüştür. Verimlilikte bu yükselişin diğer bir sebebi, pasif soğutma çözümünün yanı sıra yoğunlaştırıcıların ilgili panelin sol ve sağına olmayıp, altına ve üstüne monte edilmesinden dolayı güneşin sabah doğumu ve akşam batışı esnasındaki hareketinden kaynaklanan açı değişimlerinden dolayı ilgili panelde elektrik üretimini azaltan gölge etkisinin oluşmamasıdır.

Elektrikli taşıtların batarya şarjı amacıyla PV panellerinin taşıt üzerinde monte ederek mobil kullanımındaysa, en iyi alternatifi FDM-PV paneli olduğu tespit edilmiştir. Bakır toz ekleyerek termal iletkenliği artırılmış FDM'li soğutma çözümü nedeniyle, taşıt PD ve SD'daki FDM-PV panelinin ölçü olarak kullanılan taşıt PD ve SD'daki N-PV paneline göre sırasıyla %22 ve %7 daha fazla elektrik ürettiği görülmüştür.

Verimlilik sonuçları, aşağıda önerilen metotlarla daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir:

- PV panellerinde kullanılmak amacıyla farklı nitelikteki FDM'lerin farklı ısı iletkenliğine sahip farklı yüzdelerdeki nano malzemelerle birlikte kullanılması farklı neticeler doğurabilir.
- Farklı nitelikteki aktif ve pasif soğutma çözümleri, tek başına veya bir arada kullanıldığında farklı sonuçlar sağlayabilir.
- Yoğunlaştırma ve ışınım yansıtma oranı krom-çelikten daha yüksek optik levhalarla testler gerçekleştirilebilir.
- DeneySEL ölçüm sistemi, güneş ışınımı ve sıcaklık ölçümü gibi daha hassas hesaplamalar için geliştirilebilir.
- Mobil uygulamalarda güneş panellerinin yerleştirme açısının aylara göre optimize edilmesiyle farklı verimlilik değerlerine ulaşılabilir.
- Güneş takip cihazlı analizlerde, daha fazla verimliliğe yaklaşılabılır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar(References)

- Altaş, İ.H., 1998. Fotovoltaik güneş pilleri: yapısal özellikleri ve karakteristikleri, Ener., Elektr., Elektromek-3e, 47, 66-71.
- Bolat, B., 2016. Yoğunlaştırıcı güneş panellerinde ısı deposu olarak parafin wax kullanılmasıyla ilgili deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 145s.
- Cebeci, S., 2017. Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, Planlama Uzmanlığı Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, 185s.
- Çarkıt, T., 2016. PV panellerin yapısı ve panellerden elektrik üretimine sıcaklığın etkisi, Elektr. Müh. dergisi, 457, 65-68.
- Çevik, M., 2013. Faz değiştiren maddelerle duvar ısı yalıtımının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 53s.
- Chen, Q., Ming, Z., 2012. Photovoltaic Module Simulink Model for a Stand-alone PV System, Physic Procedia, 24, 94-100.
- Daneshazarian, R., Cuce, E., Cuce, P.M., Sher F., 2018. Concentrating photovoltaic thermal (CPVT) collectors and systems: Theory performance assessment and applications, Renew.Sust.Energ.Rev., 81, 473-492.
- Duman, S., Yörükere, N., Altaş, İ.H., 2014. Fotovoltaik enerji sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve uygulaması, İleri Tekn. Bilim Dergi, 3, 9-23.
- Eyinc, H., 2018. Nanopartikül ve faz değiştiren malzemeli bir fotovoltaik termal sistemin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 83s.
- Gören, A., 2014. Güneş enerjisi ile çalışan araçlar için polimer kompozit gövde tasarımı ve imalatı, PUTech&Comp, 5/22, 40-48.
- Günaydın, A., 2018. Yoğunlaştırılmış nano parçacıklı pvt/fdm sistemin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 90s.
- Gürbüz, D., 2018. Kir ve tozlanmanın fotovoltaik sistem verimi üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 74s.
- Jakhar, S., Soni M.S., Gakkhar N., 2016. Historical and recent development of concentrating photovoltaic cooling technologies, Renew.Sust.Energ. Rev., 60, 41-59.
- Jesumathy, S., Udayakumar, M., Suresh, S., 2012. Experimental study of enhanced heat transfer by addition of CuO nanoparticle, Heat Mass Trans., 48, 965-78.
- Kapsalis, V., Karamanis, D., 2016. Solar thermal energy storage and heat pumps with phase change materials, Appl. Therm. Eng., 99, 1212-1224.
- Karaipekli, A., 2006. Faz değişimli enerji depolama maddelerinde ısı iletkenliğinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 74s.
- Kaşkaş, A., 2010. Güneş enerjili araç projesi, Bilimsel araştırma projesi kesin raporu, Ankara Üniversitesi, Ankara, 11s.
- Lin, S.C., Al-Kayiem H.H., 2016. Evaluation of copper nanoparticles - Paraffin wax compositions for solar thermal energy storage, Sol.Energ., 132, 267-278.
- Llorente, J., Ballestrin, J. ve Vazquez, A. J., 2011. A new solar concentrating system: Description, characterization and applications, Sol Energ. 85: 1000-1006.
- Matsushima, T., Setaka, T., Muroyama S., 2003. Concentrating solar module with horizontal reflectors, Sol.Energ. Mater.& Sol. Cell, 75, 603-612.
- Özen, Y., 2015. III-V grubu güneş hücresi geliştirilmesi ve prototip yoğunlaştırıcı fotovoltaik modül üretimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 169s.
- Renaudineau, H., Houari, A., Martin, J.-P., Pierfederici, S., Meibody-Tabar, F., Gerardin, B., 2011. A new approach in tracking maximum power under partially shaded conditions with consideration of converter losses, Sol.Energ., 85 (11), 2580-

2588.

- Sayın, S., Ko, İ., 2011. Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, S.Ü.Müh-Mim Fak.Derg., 26, 89-106.
- Serin, O., 2011. Güneş arabası yarış simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 117s.
- Şen, S., 2017. Çok katmanlı yoğunlaştırıcı güneş panelli tasarımı ve deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 59s.
- Turmuş, A., 2018. Düzlemsel yansıtma destekli düzlemsel güneş paneli tasarımı elektrik üretimi ve verim analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ. 139s.
- Wu, S., Zhu, D., Zhang, X., Huang, J., 2010. Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/Paraffin nanofluid as phase change material (PCM), *Energ. Fuel*, 24, 1894-1898.
- Yang, F., Wang, H., Zhang, X., Tian, W., Hua, Y., Dong, T., 2018. Desing and experimental study of a cost-effective low concentrating photovoltaic/thermal system, *Sol.Energ.*, 160, 289-296.
- Yüksel, C., 2016. A numerical study on passive cooling system of a photovoltaic panel, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, 79s.
- Web1, 2020.http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php, Erişim tarihi: 03.11.2020.
- Web2, 2020.http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/hulyacakmak_03.10.2018_8D5P.pdf, Erişim tarihi: 30.10.2020.
- Web3, 2020.http://w3.bilecik.edu.tr/makineveimalat/wp-content/uploads/sites/27/2017/02/B%C3%B6l%C3%BCm-1_Giri%C5%9F.pdf, Erişim tarihi: 30.10.2020.



RÖLE YARDIMLI AŞAĞI YÖNLÜ NOMA SİSTEMLERİNİN BİLİŞSEL RADYO AĞLARDAKİ ERGODİK KAPASİTE ANALİZİ

Fatma Kebire BARDAK, Mustafa NAMDAR* Arif BAŞGÜMÜŞ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Aşağı Yönlü NOMA,
Bilişsel Radyo,
Ergodik Kapasite,
Röle Ağlar.

Öz

Bu çalışmada, röle yardımcı aşağı yönlü dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA) sistemlerinin bilişsel radyo ağlardaki ergodik kapasite analizi incelenmektedir. Önerilen sistem modelindeki matematiksel çıkarımlar, ikincil ağdaki yakın ve uzak kullanıcılar için tam ve yaklaşık ergodik kapasite kapalı form denklemlerinin üstel dağılımlı kanal göz önüne alınarak türetilmesiyle elde edilmektedir. Hem rölede, hem de yakın ve uzak kullanıcılarda ardışık girişim iptali gerçekleşmesi durumunda, toplam ergodik kapasite performansı düğümler arası mesafe, güç paylaşım katsayısı, iletim gücü ve yol kaybı üssü parametreleri dikkate alınarak, 10^6 tekrarlı Monte Carlo benzetimleriyle analiz edilmektedir. Elde edilen nümerik sonuçlar, yakın kullanıcıya atanan güç tahsisinin artması ile ergodik toplam kapasitenin arttığını göstermektedir. Birincil ağ vericisinin röleden uzaklaşmasının sistem performansını iyileştirdiği de gözlenmiştir. Yakın kullanıcı için tam olarak hesaplanan ergodik toplam kapasite başarımının, yaklaşık olarak hesaplanan ergodik toplam kapasite performansı ile örtüşmesi, ancak yüksek işaret gürültü oranı (SNR) bölgesinde mümkün olmaktadır. Bu durum, ikincil ağ olarak kurgulanan aşağı yönlü NOMA sisteminin, ortak kanal girişimi olarak etki gösteren birincil ağ ile aynı frekans bandını kullanmasının etkisi olarak değerlendirilmiştir.

ERGODIC CAPACITY ANALYSIS OF THE RELAY ASSISTED DOWNLINK NOMA SYSTEMS IN COGNITIVE RADIO NETWORKS

Keywords

Downlink NOMA,
Cognitive Radio,
Ergodic Capacity,
Relay Networks.

Abstract

In this study, the ergodic capacity analysis of the relay assisted downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) systems in cognitive radio networks is investigated. Mathematical inferences in the proposed system model are obtained by deriving the closed-form equations of the exact and approximate ergodic capacities for the far and near users in the secondary network by considering exponentially distributed channels. In case of successive interference cancellation is implemented in both relay, far and near users, the ergodic sum capacity performances are analyzed with 10^6 repeated Monte Carlo simulations, considering the distance between nodes, power allocation coefficient, transmission power, and path loss coefficient parameters. The numerical results show that the ergodic total capacity increases with the increase in power allocation assigned to the near user. It has also been observed that moving the primary network transmitter away from the relay improves the system performance. The exact calculation of the ergodic total capacity performance for the near user is only possible in the high signal-to-noise ratio (SNR) region to coincide with the approximately calculated ergodic total capacity performance. This situation is evaluated as the effect of the downlink NOMA system designed as a secondary network using the same frequency band as the primary network acting as a co-channel interference.

Alıntı / Cite

Bardak, F.K., Namdar, M., Başgümüş, A., (2021). Röle Yardımlı Aşağı Yönlü Noma Sistemlerinin Bilişsel Radyo Ağlardaki Ergodik Kapasite Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 992-1002.

* İlgili yazar / Corresponding author: mustafa.namdar@dpu.edu.tr, + 90-274-443-4226

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
F. K. Bardak, 0000-0002-9380-2330	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.11.2020
M. Namdar, 0000-0002-3522-4608	Revizyon Tarihi / Revision Date	06.08.2021
A. Başgümüş, 0000-0002-0611-3220	Kabul Tarihi / Accepted Date	18.08.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Dikgen olmayan çoklu erişim (NOMA, Non-Orthogonal Multiple Access) beşinci nesil (5G, 5th Generation) telsiz ağlarda önemli bir radyo erişim tekniği olarak değerlendirilmektedir. Yeni nesil telsiz haberleşme sistemleri için spektral kaynakların verimliliğini destekleyen, kapasite kullanımını iyileştiren, yüksek trafik hacmini yönetebilme ve kullanıcı bağlantılarını artırabilme özellikleri ile öne çıkan NOMA, yeni nesil telsiz iletişimde anahtar radyo teknolojisi olarak kabul edilmekte ve son dönemde hem akademi hem de endüstri tarafında yoğun ilgi görmektedir (Ding vd., 2020). Geleneksel dikgen çoklu erişim (OMA, Orthogonal Multiple Access) tekniklerinden farklı olarak NOMA'da, her kullanıcının radyo kaynaklarının (zaman, frekans) tümünü kullanması ile hem spektral verimliliğin gelişmesine katkı sağlanır hem de kullanıcı servis alma eşitliği (adillliği) desteklenir. NOMA temel olarak, bir kaynak bloğundaki birden çok kullanıcı arasında spektrum paylaşımını teşvik etmektedir. Bunu vericinin, kullanıcıların önceliğine veya kanal koşullarına (kalitesine) bağlı olarak farklı güç düzeylerine sahip birden çok NOMA alıcısına, üst üste bindirilmiş işaretler göndermesi (süper pozisyon kodlaması) yoluyla gerçekleştirir. Alıcı tarafta ise daha iyi kanal durumuna sahip olan kullanıcıların, zayıf güç paylaşım faktörleri olan kullanıcılarından gelen girişimi gidermek ve üst üste bindirilmiş işaretleri ayırmak amacıyla, ardışık girişim iptali (SIC, Successive Interference Cancellation) uygulandığı görülmektedir. NOMA odağındaki bu tasarım, 3. Nesil ortaklık projesi (3GPP, 3rd Generation Partnership Project) standartlarına da girmiştir (Dai vd., 2018; Dai vd., 2015).

Frekans spektrumunun daha verimli şekilde kullanılmasının, ikincil kullanıcıların (İK, secondary user-SU) kullanım lisansı birincil kullanıcılara (BK, primary user-PU) ait olan bir spektrum bandına erişmek için çalışma parametrelerini akıllıca uyarladıkları, bilişsel radyo (BR) yaklaşımı ile fırsatçı ve işbirlikli yöntemlerle mümkün olabildiği ifade edilmektedir. BR teknolojisi, alt sınırlı spektrum paylaşım modeli sayesinde, ikincil ağ (İA) kullanıcılarının oluşturduğu girişim belirli bir eşik seviyesinin altında kaldığı sürece, frekans spektrumunu öncelikli kullanma lisansına sahip olan birincil ağ (BA) kullanıcıları için tolere edilebilir bir işbirlikli haberleşme desteği verir (Haykin, 2005; Namdar ve İlhan, 2018). Öte yandan, NOMA ve BR ağlar işbirliğinde çalışılan konuların, yapılan araştırmaların, yüksek spektral verimlilik, yoğun kitlesel bağlantılar, düşük gecikme gibi 5G yeni nesil telsiz haberleşme için öngörülen gereksinimleri karşılama motivasyonunda olduğunu da göstermektedir. Hem NOMA'nın hem de BR'nin girişim sınırlı olduğu düşünüldüğünde, etkili bir BR-NOMA sistem modelini oluşturmanın girişimi en aza indirmek ve spektral kaynakları daha verimli kullanmak anlamında önemli olduğu da gözlenmektedir.

Telsiz haberleşme sistemlerinde, işbirlikli iletim ile performansın iyileştirildiği belirtilen ve literatürde sıklıkla kullanılan kuvvetlendir-ve-aktar (AF, Amplify-and-Forward) ile çöz-ve-aktar (DF, Decode-and-Forward) yöntemlerinden bahsedilmektedir. Rölenin kendisine gelen gürültülü işareti kuvvetlendirerek yeniden hedef düğüme ilettiği AF ile, rölenin kaynaktan gönderilip üzerine gürültü bindirilmiş işareti çözerek ardından yeniden kodlayıp ve hedefe tekrardan gönderdiği DF yöntemlerinde amaç, sistem kapasitesini ve çeşitleme kazancını artırmaktır (Guo vd., 2011; Zhang vd., 2015; Ucar-Gul vd., 2020).

BR ağlar ile önerilen NOMA çözümünün farklı performans analizleri literatürde yer almaktadır: (Mohammadi vd., 2018)'de tam çift yönlü çok antenli rölenin, bir erişim noktasından bilişsel uzak kullanıcıya (UK) iletim yapmasına yardımcı olduğu BR-NOMA ağı düşünülmüş, aynı zamanda erişim noktasından bilişsel yakın kullanıcıya da (YK) iletim yapıldığı varsayılmıştır. Önerilen sistem modelinde YK ve UK için veri hızları analiz edilmiştir. Ayrıca, huzmeleme ve güç paylaşım yaklaşımlarından da yararlanan çalışma, yüksek işaret gürültü oranı (SNR, signal-to-noise ratio) varsayımında anten sayısı, tolere edilebilir girişim seviyesi gibi anahtar parametrelerin değerlendirilmesine ve kesinti olasılığı çıkarımlarına yer vermiştir. Aşağı yönlü alt sınırlı DF temelli işbirlikli BR-NOMA ağı üzerinden (Arzykulov vd., 2019)'da önerilen sistem modelinde iki hedef kullanıcı için kesinti olasılığı performans analizi mükemmel olmayan kanal durum bilgisi (CSI, Channel State Information) altında kapalı formdaki matematiksel denklemlerle sunulmuştur. Röle yardımlı iletimde, hedef kullanıcılar için en uygun güç paylaşım faktörünün tespit edilmesi sağlanmıştır. (Kader vd., 2017)'de iki atlamalı işbirlikli röle temelli NOMA sistem modelinde iki kaynak terminalin karşılıklı hedef alıcılarına tek bir röle üzerinden aynı frekans bandında iletim yaptığı mimari kullanılmıştır. Bu çalışmada, mükemmel SIC ve mükemmel olmayan SIC durumlarında uçtan uca her bir kaynak kullanıcı için ergodik kapasite analizi gerçekleştirilmiştir. Mükemmel SIC konfigürasyonunda, geleneksel OMA tekniğine göre, NOMA'nın kapasite artışı sağladığı ve güç paylaşım

faktörünün sistem performansına önemli etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. İşbirlikli röle yaklaşımının BR-NOMA sistem modeli için kurgulandığı alt sınırlı (underlay) ve yer paylaşım (overlay) farklı ağ modelleri (Lv vd., 2018)'de verilmiştir. Aynı çalışma BR-NOMA odağındaki gelecek dönem olası araştırma konularını ve açık noktaları da adreslemektedir. İşbirlikli NOMA sisteminin mükemmel olmayan SIC konfigürasyonunda alt sınırlı BR ağlar için performans analizi (Im ve Lee, 2019)'da çalışılmıştır. Kaynak BK ile alıcı İK düğümleri arasındaki iletim kanalının Rayleigh dağılımlı olduğu düşünülerek kesinti olasılığı için temel matematiksel denklemlerin çıkarımı yapılmış, girişim ve iletim gücü kısıtları altında asimptotik yaklaşım değerlendirilmiştir. (Wang vd., 2018)'de yazarlar, aşağı yönlü NOMA sisteminde, vericinin her bir alıcı düğümdeki kullanıcı için istatistiksel CSI'yi bildiği bir senaryoda, kesinti olasılığı performansını Nakagami- m sönümlenme kanalı için sunmuşlardır. Bu çalışmada ayrıca, her bir alıcı için kullanılan güç paylaşım faktörü ile toplam veri hızı optimize edilmiştir. Maksimum ergodik kapasiteyi elde etme motivasyonundaki (Sun vd., 2015)'deki çalışma çok-girişli çok-çıkışlı (MIMO, Multi-Input Multi-Output) sistemlerde Rayleigh sönümlenmeli kanal üzerinde, vericide istatistiksel CSI'nin bilindiği varsayımı altında gerçekleştirilmiştir. Toplam verici gücü ve UK için veri oranı kısıtı altında, düşük karmaşıklıkla en iyiye yakın bir çözüm önerilmiştir. (Wu, 2019)'da yazarlar, çoklu erişimde güç düzleminde, girişimi ortadan kaldırmak amacıyla geleneksel aşağı yönlü NOMA sisteminde kullanılan SIC çözümünden ziyade kod yardımcı çok kullanıcı aşağı yönlü iletimde MIMO-NOMA yapısı önermişlerdir. Kullanıcı düğümlerinin tek bir yöne içinde bulunan fazla küme ile gruplandığı ve her bir küme için ortogonal kodların üretildiği çözümde, kümeler arası girişimin giderilmesi başarımından bahsedilmektedir. Burada ayrıca, her bir kümedeki kullanıcı düğümleri için en uygun güç paylaşım yaklaşımı uygulanarak, maksimum veri oranı başarımları sağlanmıştır. Karşılıklı kullanıcıların röle yardımıyla bilgi paylaşımı için NOMA ve fiziksel katman ağ kodlamasını (PNC, Physical Layer Network Coding) kullandıkları (Ho ve Leow, 2019)'daki çalışma, dinamik güç paylaşım yaklaşımını kullanarak spektral verimliliğe ve kesinti performansının iyileşmesine dikkat çekmektedir. Büyük ölçekli alt sınırlı BR ağlarda rastgele dağılmış kullanıcılar için NOMA'nın uygulandığı (Liu vd. 2016)'da aktarılan sistem modelinde, stokastik geometri araçları ile kesinti olasılığına ait kapalı form matematiksel denklemler elde edilmiş ve BK vericisi için tanımlanan farklı güç kısıtları altında NOMA kullanıcıları için çeşitleme derecesi incelenmiştir. Tam çift yönlü röle yardımcı işbirlikli NOMA sisteminin iki kullanıcı bir sistem modelinde uygulanması (Zhong ve Zhang, 2016)'da çalışılmış, mükemmel olmayan SIC varsayımı altında, her iki kullanıcı için kesinti olasılığı başarımları ve ergodik kapasite analizi, analitik çıkarımlarla sunulmuştur. (Arzykulov vd., 2019)'da yazarlar, röle yardımcı alt sınırlı BR-NOMA ağını incelemişlerdir. İK vericisinin DF röleleme modeli ile mükemmel olmayan CSI durumunda, M adet NOMA alıcı düğümüne iletim yaptığı, kesinti olasılığına ait kapalı form matematiksel denklemlerin çıkarıldığı görülmektedir. (Wang vd., 2010)'daki çalışma anten seçimi algoritmasından yararlanarak, İK için kapasite analizini değerlendirmiştir. Burada İA kapasitesinin; BA alıcısı ile İA vericisi arasındaki mesafenin, İA vericisi ve İA alıcısı arasındaki mesafeye oranı olarak ifade edilen coğrafi bir ilişki ile belirlendiği gösterilmiştir. Spektrum paylaşım modeline göre en iyi anten seçimi algoritması yardımıyla kapasite için matematiksel çıkarımlar türetilmiştir. Küçük hücreleri içeren makro hücredeki bir baz istasyonunun, sırasıyla, doğrudan ve röle üzerinden son kullanıcılara eriştiği spektral verimliliği artırmak için tasarlanan NOMA temelli sistem modeli üzerinden, (Kim ve Lee, 2015)'te kesinti olasılığı ve ergodik kapasiteye ilişkin analitik çıkarımlar sunulmaktadır. Her biri iki kullanıcıdan oluşan iki grup arasındaki veri iletiminin iki-yönlü DF röle üzerinden gerçekleştiği NOMA sistemi ise (Yue vd., 2018)'de verilmiştir. Bu çalışmada mükemmel SIC ve mükemmel olmayan SIC yaklaşımı dikkate alınarak NOMA kullanıcıları için kesinti olasılığı kapalı form denklemleri çıkarılmıştır. Asimptotik performans analizini değerlendiren yazarlar ergodik kapasiteye ve çeşitleme derecesine ait matematiksel denklemler elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, röle yardımcı aşağı yönlü NOMA sistemlerinin BR ağlardaki ergodik kapasitesi analiz edilmiştir. Hem rölede, hem de hedef düğümlerde SIC gerçekleşmesi durumunda, UK ve YK için ergodik kapasite başarımları analitik çıkarımlarla sunulmaktadır. Yazarların bildiği kadarı ile tasarımı literatürde ilk olarak önerilen bu sistem modelinde, uçtan uca ergodik toplam kapasite için de kapalı form matematiksel denklemlerin elde edilmesi sağlanmıştır. Üstel dağılımlı kanal göz önüne alınarak yapılan, UK ve YK için tam ve yaklaşık ergodik kapasite çıkarımları; kullanıcılar arası mesafe, güç paylaşım katsayısı, iletim gücü, işaret gürültü oranı ve yol kaybı üssü parametreleri dikkate alınarak analiz edilmektedir. Çalışmanın 2. bölümünde sistem modeline yer verilmektedir. Performans analizinin yer aldığı 3. bölüm, önerilen sistem modeli için UK'ya ve YK'ya ait tam ve yaklaşık ergodik kapasite çıkarımlarını aktarmaktadır. Aynı bölümde, toplam ergodik kapasite için elde edilen analitik ifadeler sunulmaktadır. Nümerik sonuçlarının incelendiği 4. bölümde, performans analizi çıktılarına detaylı şekilde değinilmiştir. Son bölümde ise çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve yorumlar verilmiştir.

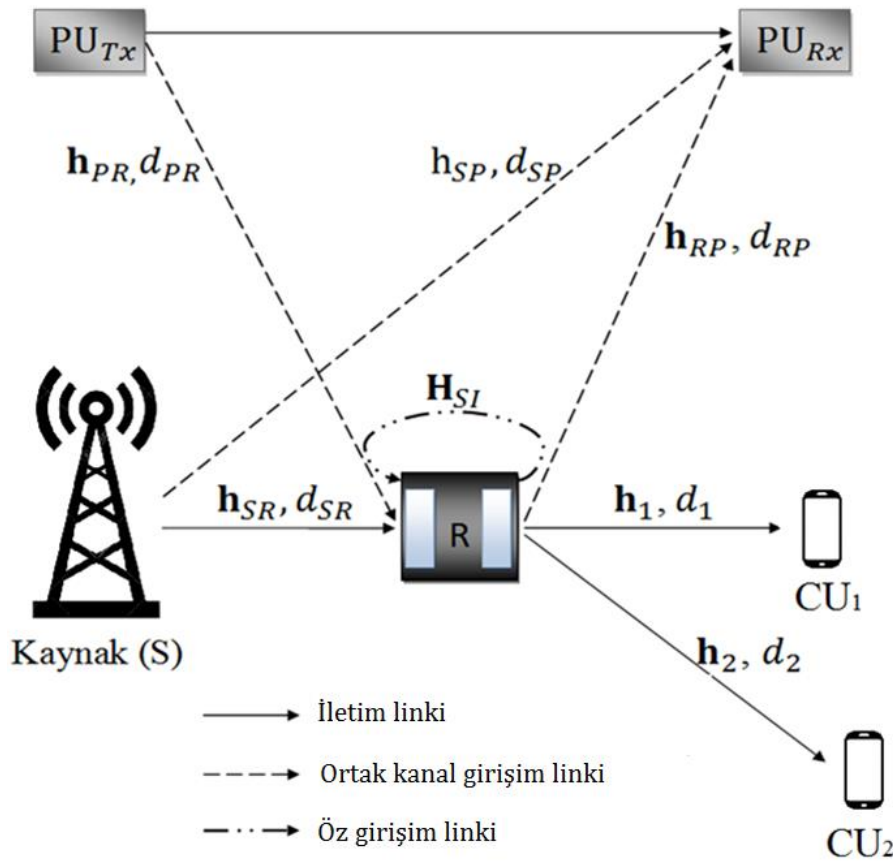
2. Sistem Modeli (System Model)

Bu çalışmada, Şekil 1'de görüldüğü gibi, kaynağın (S), çöz-ve-aktar çift yönlü rölenin (R), BA için tanımlı verici-alıcı kullanıcılarının ($P_{U_{Tx}}, P_{U_{Rx}}$) yanı sıra iki adet hedef İA kullanıcısının (C_{U_1}, C_{U_2}) yer aldığı aşağı yönlü (downlink) BR-NOMA sistemi incelenmektedir. Önerilen sistem modelinde İA kullanıcılarının, BA kullanıcıları ile

aynı frekans bandını kullandıkları varsayılmaktadır. S ile R arasında doğrudan bir iletim linkinin olduğu, öte yandan S ile İA kullanıcıları (CU₁, CU₂) arasında ise direkt bir iletim linkinin olmadığı kabul edilmektedir. S'nin, İA kullanıcıları ile DF röle üzerinden NOMA tekniği yardımıyla haberleştiği düşünülmektedir. CU₁ yakın kullanıcı, CU₂ ise uzak kullanıcı olarak tanımlanmıştır. Kullanıcı düğümleri arasında karşılık gelen mesafeler d_{PR} , d_{SP} , d_{RP} , d_{SR} , d_1 ve d_2 olarak verilmektedir. S'nin tek verici antene, CU₁ ve CU₂ kullanıcılarının tek alıcı antene, R'nin ise N_T adet verici ve N_R adet alıcı antene sahip olduğu değerlendirilmiştir. Rölede, CU₁ ve CU₂ kullanıcılarında SIC uygulandığı varsayılmaktadır. İA'da yer alan S'nin ve R'nin işaretlerini aynı zamanda ve aynı frekans bandını kullanarak ilettiği ve dolayısı ile S'nin ve R'nin, BA alıcısına (PU_{Rx}) girişim (ortak kanal girişim linki) oluşturdukları değerlendirilmektedir. Öte yandan çoklu anten yapısına sahip olan R'nin verici çıkışındaki işaret kaçığının, kendi girişi için öz girişim linki ile tanımlandığı, H_{SI} görülmektedir. Buna göre, S'nin ve R'nin iletim güçlerinin aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibi sınırlandırılması gerektiği söylenebilir (Bardak vd., 2020).

$$\max \left(\frac{P_S}{d_{SP}^\tau} |h_{SP}|^2, \frac{P_R}{d_{RP}^\tau} |\mathbf{h}_{RP}^T \mathbf{w}_t|^2 \right) \leq I_{th} \quad (1)$$

$$s[n] = \sqrt{\frac{P_S}{d_{SR}^\tau}} a_1 x_1[n] + \sqrt{\frac{P_S}{d_{SR}^\tau}} a_2 x_2[n] \quad (2)$$



Şekil 1. Röle yardımlı aşağı yönlü BR-NOMA tabanlı sistem modeli (Relay assisted downlink CR-NOMA based system model)

Burada, S ve R için iletim güçleri sırası ile P_S ve P_R , yol kaybı üssü τ , PU_{Rx} için tolere edilebilen girişim eşik seviyesi I_{th} ile gösterilmektedir. S ve PU_{Rx} arasındaki kanal linki h_{SP} ile, R ve PU_{Rx} arasındaki link ise \mathbf{h}_{RP} ($N_T \times 1$) kanal vektörü ile ifade edilmektedir. R'deki verici huzmeleme vektörü $\mathbf{w}_t \in \mathbb{C}^{N_T \times 1}$ ile temsil edilmektedir. $(\cdot)^T$ matematiksel operatörü matris transpozunu (transpose), $|\cdot|$ ise mutlak değer operatörünü tanımlamaktadır. BA kullanıcılarının (PU_{Tx}, PU_{Rx}), İA kullanıcıları olan CU₁'den ve CU₂'den uzak oldukları, dolayısıyla, BA kullanıcılarının CU₁ ve CU₂ üzerinde girişim oluşturmayacakları varsayılmaktadır. Bu durumda $s[n]$, aşağı yönlü NOMA yönteminin kullanıldığı BR sistem modeline göre, S'nin R'ye göndereceği toplam işaret olarak tanımlanabilir. Burada, $x_i[n]$, $i \in \{1,2\}$ CU_i için bilgi sembolünü ve a_i , $a_1 < a_2$ ve $a_1 + a_2 = 1$ olmak üzere, güç paylaşım katsayısını belirtmektedir. Kaynak ile CU₁ ve kaynak ile CU₂ hedef kullanıcıları arasındaki iletimin, R yardımıyla iki fazlı olduğu düşünüldüğünde, ilk fazda R'de alınan işaret

$$y_R[n] = \mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR} s[n] + \sqrt{P_R} \mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{H}_{SI} \mathbf{w}_t s[n - \mu] + \sqrt{\frac{P_P}{d_{PR}^T}} \mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR} x_P[n] + \mathbf{w}_r^\dagger n_R[n] \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, \mathbf{h}_{SR} ($N_R \times 1$) S ile R arasındaki kanal vektörünü, $\mathbf{H}_{SI} \sim \text{CN}(0, \sigma_{SI}^2)$ rölenin alıcı ve verici antenleri arasında meydana gelen $N_R \times N_T$ boyutunda, birbirinden bağımsız ve eş dağılımlı girişim kanal matrisini, P_P , PU_{Tx} için iletim gücünü, \mathbf{h}_{PR} ($N_R \times 1$), PU_{Tx} ile R arasındaki kanal vektörünü, $\mathbf{w}_r \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ röledeki alıcı huzmeleme vektörünü, $x_P[n]$, PU_{Tx} 'in ilettiği bilgi sembolünü, μ , DF röleme işleminin sebep olduğu zaman gecikmesini ve $n_R[n] \sim \text{CN}(0, \sigma_n^2)$ ise, σ_n^2 gürültü varyansı olmak üzere, röledeki toplamsal beyaz Gauss gürültüsünü (AWGN, Additive White Gaussian Noise) tanımlamaktadır. $(.)^\dagger$ matematiksel operatörü, eşlenik devriği (conjugate transpose) temsil etmektedir.

R, S'den aldığı $y_R[n]$ işaretinden, SIC yöntemini uygulayarak öncelikle $x_2[n]$ bilgisini, ardından $x_1[n]$ bilgisini çözer. Bu durumda, $x_2[n]$ için R'deki işaret-girişim gürültü oranı (SINR, signal-to-interference noise ratio) ifadesi ile

$$\gamma_{R,2} = \frac{\frac{P_S}{d_{SR}^T} a_2 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2}{\frac{P_S}{d_{SR}^T} a_1 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2 + P_R |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{H}_{SI} \mathbf{w}_t|^2 + \frac{P_P}{d_{PR}^T} |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2 + \sigma_n^2} \quad (4)$$

tanımlanabilir iken, $x_1[n]$ için R'deki SINR bilgisi ise

$$\gamma_{R,1} = \frac{\frac{P_S}{d_{SR}^T} a_1 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2}{P_R |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{H}_{SI} \mathbf{w}_t|^2 + \frac{P_P}{d_{PR}^T} |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2 + \sigma_n^2} \quad (5)$$

olarak verilmektedir. $x_1[n]$ ve $x_2[n]$ bilgileri R tarafından çözüldükten sonra, iletimin ikinci fazında, yine R tarafından yeniden kodlanarak CU_k , $k \in \{1,2\}$ kullanıcılarına gönderilmektedir. CU_k kullanıcıları için alınan işaret,

$$y_k[n] = \sqrt{\frac{P_R}{d_1^T}} a_1 \mathbf{h}_k^T \mathbf{w}_t x_1[n - \mu] + \sqrt{\frac{P_R}{d_2^T}} a_2 \mathbf{h}_k^T \mathbf{w}_t x_2[n - \mu] + n_k[n] \quad (6)$$

şeklinde verilmektedir. Burada, \mathbf{h}_k , $k \in \{1,2\}$ ($N_T \times 1$) röle ile CU_k kullanıcıları arasındaki kanal vektörünü, $n_k[n] \sim \text{CN}(0, \sigma_n^2)$ CU_k kullanıcılarında oluşan AWGN'yi tanımlamaktadır. Böylelikle, CU_1 aldığı işaretten, kendi bilgisini girişim olarak kabul ederek, $x_2[n]$ bilgisini çözer. Sonrasında SIC yöntemini uygulayan CU_1 , kendi bilgisi olan $x_1[n]$ 'i çözmektedir. Bu durumda $x_2[n]$ bilgisi için CU_1 'de hesap edilen SINR,

$$\gamma_{1,2} = \frac{\frac{P_R}{d_1^T} a_2 |\mathbf{h}_1^T \mathbf{w}_t|^2}{\frac{P_R}{d_1^T} a_1 |\mathbf{h}_1^T \mathbf{w}_t|^2 + \sigma_n^2} \quad (7)$$

şeklinde bulunmaktadır. Mükemmel SIC yöntemi uygulanıp, CU_1 'de $x_1[n]$ bilgisi doğru olarak çözüldüğünde SINR,

$$\gamma_1 = \frac{\frac{P_R}{d_1^T} a_1 |\mathbf{h}_1^T \mathbf{w}_t|^2}{\sigma_n^2} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Öte yandan, CU_2 kullanıcısı $x_1[n]$ bilgisini (röleden aldığı işaretteki CU_1 kullanıcısının bilgisini) girişim olarak kabul ederek kendi bilgisi olan $x_2[n]$ 'i çözer. Bu durumda, CU_2 'deki SINR ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\gamma_2 = \frac{\frac{P_R}{d_2^T} a_2 |\mathbf{h}_2^T \mathbf{w}_t|^2}{\frac{P_R}{d_2^T} a_1 |\mathbf{h}_2^T \mathbf{w}_t|^2 + \sigma_n^2} \quad (9)$$

3. Performans Analizi (Performance Analysis)

Bu bölümde, röle yardımlı NOMA sisteminin BR ağlardaki ergodik kapasite analizi üstel dağılımlı kanal üzerinden incelenmektedir. Sırasıyla, uzak ve yakın kullanıcılar için ergodik kapasite çıkarımları, tam ve yaklaşık toplam ergodik kapasite hesaplamaları ile desteklenmektedir.

3.1 Uzak Kullanıcı için Ergodik Kapasite (Ergodic Capacity for the Far User)

$x_2[n]$ ile ilişkilendirilen erişilebilir kapasite (4), (7), ve (9) numaralı denklemler kullanılarak,

$$C_{x_2} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \min(\gamma_{R,2}, \gamma_{1,2}, \gamma_2)) \quad (10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, $X = \gamma_{R,2}$, $T = \min(\gamma_{R,2}, \gamma_{1,2}, \gamma_2)$ olarak tanımlansın ve logaritma fonksiyonu $\log_2(\cdot)$ ile gösterilsin. Bu durumda, X rastgele değişkeninin birikimli dağılım fonksiyonu (CDF, Cumulative Distribution Function) (Zhong ve Zhang, 2016, Eşitlik 22) yardımıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_X(x) = 1 - \frac{(\rho_S \tilde{\lambda}_{SR})(a_2 - a_1 x) e^{\frac{-x}{(a_2 - a_1 x) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR}}}}{(a_2 - a_1 x) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR} + x \rho_P \tilde{\lambda}_{PR}} \quad (11)$$

Yukarıda (11)'in çıkarımı, detaylı şekilde Ek-A'da verilmektedir. Burada, $\rho_S = \frac{P_S}{d_{SR}^2 \sigma_n^2}$, $\rho_P = \frac{P_P}{d_{PR}^2 \sigma_n^2}$, $\rho_1 = \frac{P_R}{d_1^2 \sigma_n^2}$, $\rho_2 = \frac{P_R}{d_2^2 \sigma_n^2}$, $\mathbf{h}_{SR} \sim CN(0, \lambda_{SR})$, $\mathbf{h}_{PR} \sim CN(0, \lambda_{PR})$, $\mathbf{h}_1 \sim CN(0, \lambda_1)$, $\mathbf{h}_2 \sim CN(0, \lambda_2)$ olarak tanımlanmaktadır. \mathbf{h}_{SR} , \mathbf{h}_{PR} , \mathbf{h}_1 ve \mathbf{h}_2 kanal vektörlerine ait varyans ifadeleri sırası $\lambda_{SR} = d_{SR}^{-2}$, $\lambda_{PR} = d_{PR}^{-2}$, $\lambda_1 = d_1^{-2}$ ve $\lambda_2 = d_2^{-2}$ olarak belirtilmektedir. Öte yandan $\mathbf{w}_r = \mathbf{h}_{SR}$, $E[|\mathbf{h}_{SR}^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2] = (\mathbf{h}_{SR}^\dagger \mathbf{h}_{SR})^2 = \tilde{\lambda}_{SR}$ olduğu varsayılmaktadır. Benzer yaklaşım ile $E[|\mathbf{h}_{PR}^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2] = \tilde{\lambda}_{PR}$, $E[|\mathbf{h}_1^\dagger \mathbf{h}_1|^2] = \tilde{\lambda}_1$, $E[|\mathbf{h}_2^\dagger \mathbf{h}_2|^2] = \tilde{\lambda}_2$ şeklinde yazılabilir. $E[\cdot]$ beklenen değer operatörü olarak belirtilmektedir. (11) ile birlikte en az iki üstel dağılımlı rastgele değişkenler için tanımlanan CDF ifadesi kullanılarak ve

$$P(T > a) = P(\min(X, Y, Z) > a) = P(X > a, Y > a, Z > a) = P(X > a) P(Y > a) P(Z > a) \quad (12)$$

yardımlarıyla, T rastgele değişkeninin CDF'si,

$$F_T(t) = 1 - \left(\frac{(a_2 - a_1 t) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR}}{(a_2 - a_1 t) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR} + t \rho_P \tilde{\lambda}_{PR}} e^{-t \left(\frac{1}{(a_2 - a_1 t) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR}} + \frac{1}{(a_2 - a_1 t) \rho_1 \tilde{\lambda}_1} + \frac{1}{(a_2 - a_1 t) \rho_2 \tilde{\lambda}_2} \right)} \right) \quad (13)$$

şeklinde elde edilmektedir. $\int_0^\infty \log_2(1+x) f_x(x) dx = \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \frac{1-F_x(x)}{1+x} dx$ eşitliği kullanılarak (Kader, 2017), S ve CU_2 arasındaki ergodik kapasite

$$\bar{C}_{x_2} = \frac{1}{2 \ln(2)} \int_0^\infty (1+t)^{-1} \left(\frac{(a_2 - a_1 t) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR}}{(a_2 - a_1 t) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR} + t \rho_P \tilde{\lambda}_{PR}} e^{-t \left(\frac{1}{(a_2 - a_1 t) \rho_S \tilde{\lambda}_{SR}} + \frac{1}{(a_2 - a_1 t) \rho_1 \tilde{\lambda}_1} + \frac{1}{(a_2 - a_1 t) \rho_2 \tilde{\lambda}_2} \right)} \right) dt \quad (14)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada $\ln(\cdot)$, doğal logaritma operatörünü temsil etmektedir. Öte yandan, (14)'ün kapalı bir forma sahip olmadığı görülmektedir. Bu amaçla, $T = \min(\gamma_{R,2}, \gamma_{1,2}, \gamma_2)$ ifadesini gerçekleştirebilmek için ρ_j 'nin, $j \in \{1, 2, P, S\}$ yüksek bir değere sahip olduğu yaklaşımı ile, $T \triangleq \min\left(\frac{\rho_S a_2 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2}{\rho_S a_1 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2 + \rho_P |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2 + 1}, \frac{\rho_1 a_2 |\mathbf{h}_1^\dagger \mathbf{w}_t|^2}{\rho_1 a_1 |\mathbf{h}_1^\dagger \mathbf{w}_t|^2 + 1}, \frac{\rho_2 a_2 |\mathbf{h}_2^\dagger \mathbf{w}_t|^2}{\rho_2 a_1 |\mathbf{h}_2^\dagger \mathbf{w}_t|^2 + 1}\right) \approx \min\left(\frac{a_2 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2}{a_1 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2 + |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2}, \frac{a_2}{a_1}\right) \approx \min\left(W, \frac{a_2}{a_1}\right)$ şeklinde çıkarılmaktadır. İki üstel rastgele değişkenin birbirine oranının olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF, Probability Density Function) kullanılarak (Wang vd., 2010, Eşitlik 5), W rastgele değişkeni için PDF ifadesi

$$f_W(w) = \frac{(\tilde{\lambda}_{PR} - a_1 \tilde{\lambda}_{SR})(-w a_1 \tilde{\lambda}_{SR} + a_2 \tilde{\lambda}_{SR})}{(w \tilde{\lambda}_{PR} - w a_1 \tilde{\lambda}_{SR} + a_2 \tilde{\lambda}_{SR})^2} + \frac{a_1 \tilde{\lambda}_{SR}}{w \tilde{\lambda}_{PR} - w a_1 \tilde{\lambda}_{SR} + a_2 \tilde{\lambda}_{SR}} \quad (15)$$

olarak bulunmaktadır. $f_W(w)$ yardımıyla ve (Kim ve Lee, 2015, Eşitlik 15) kullanılarak, S ve CU_2 arasındaki yaklaşık ergodik kapasite aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$\bar{C}_{x_2} \sim \frac{1}{2} \int_u^\infty \log_2(1+u) f_W(w) dw + \frac{1}{2} \int_0^u \log_2(1+w) f_W(w) dw. \quad (16)$$

Burada $u = \frac{a_2}{a_1}$ olarak tanımlanmaktadır. Mathematica programı yardımıyla (16) için hesaplama yapıldığında ve temel matematiksel işlemlerin ardından, S ve CU₂ arasındaki yaklaşık ergodik kapasiteye ilişkin kapalı form ifadesi

$$\bar{C}_{x_2}^{yaklaşık} \sim \frac{(a_2 \tilde{\lambda}_{PR} \tilde{\lambda}_{SR})(\ln[u \tilde{\lambda}_{PR}] - \ln[a_2 \tilde{\lambda}_{SR}] - \ln[1+u])}{2 \ln(2)(-\tilde{\lambda}_{PR} + a_1 \tilde{\lambda}_{SR})(-\tilde{\lambda}_{PR} + (a_1 + a_2) \tilde{\lambda}_{SR})} \quad (17)$$

şeklinde bulunmaktadır.

3.2 Yakın Kullanıcı için Ergodik Kapasite (Ergodic Capacity for the Near User)

$x_1[n]$ ile ilişkilendirilen erişilebilir kapasite (5) ve (8) numaralı denklemler kullanılarak,

$$\bar{C}_{x_1} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \min(\gamma_{R,1}, \gamma_1)) \quad (18)$$

ile hesaplanmaktadır. $K \triangleq \min(\gamma_{R,1}, \gamma_1) = \min\left(\frac{\rho_S a_1 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2}{\rho_P |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2 + 1}, \rho_1 a_1 |\mathbf{h}_1^T \mathbf{w}_t|^2\right)$ olarak kabul edilmiştir. K rastgele değişkeninin CDF'si, Ek-A'daki yaklaşım kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$F_K(k) = 1 - \left(\frac{\rho_S a_1 \tilde{\lambda}_{SR}}{\rho_P \tilde{\lambda}_{PR} k + \rho_S a_1 \tilde{\lambda}_{SR}} \right) \times \left(e^{-k \left(\frac{1}{\rho_1 a_1 \tilde{\lambda}_1} + \frac{1}{\rho_S a_1 \tilde{\lambda}_{SR}} \right)} \right). \quad (19)$$

Ayrıca, $\int_0^\infty \log_2(1+x) f_x(x) dx = \frac{1}{\ln(2)} \int_0^\infty \frac{1-F_x(x)}{1+x} dx$ eşitliği kullanılarak, S ve CU₁ arasındaki ergodik kapasite ifadesi kapalı formda

$$\bar{C}_{x_1}^{tam} = \frac{1}{2 \ln(2)} \left(\frac{1}{A-B} A \left(-\exp(n) \text{Ei}(-n) - \exp\left(\frac{An}{B}\right) \left(-\text{Ei}\left(-\frac{An}{B}\right) + \ln\left(\frac{B}{A}\right) - \ln(n) + \ln\left(\frac{An}{B}\right) \right) \right) \right) \quad (20)$$

şeklinde bulunmaktadır. Burada $A = \rho_S a_1 \tilde{\lambda}_{SR}$, $B = \rho_P \tilde{\lambda}_{PR}$, $n = \frac{1}{\rho_1 a_1 \tilde{\lambda}_1} + \frac{1}{\rho_S a_1 \tilde{\lambda}_{SR}}$ olarak tanımlanmaktadır. (20)'nin matematiksel çıkarım detayları Ek-B'de verilmektedir. ρ_j 'nin, $j \in \{1, P, S\}$ yüksek bir değere sahip olduğu varsayımıyla, küçük x değerleri için $\text{Ei}(-x) \approx E_c + \ln(x)$ ve $e^x \approx 1 + x$ yaklaşıklığı kullanılarak, gerekli temel matematiksel işlemlerin ardından, S ve CU₁ arasındaki yaklaşık ergodik kapasite,

$$\bar{C}_{x_1}^{yaklaşık} \sim \frac{1}{2 \ln(2)} \left(\frac{A}{A-B} \left(\left(\frac{An}{B} - n \right) (E_c + \ln(n)) - \left(\frac{An}{B} + 1 \right) \ln\left(\frac{B}{A}\right) \right) \right) \quad (21)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada, $\text{Ei}(\cdot)$ eksponansiyel integral fonksiyonu, E_c Euler sabiti olarak tanımlanmaktadır (Gradshteyn ve Ryzhik, 2007, Eşitlik 8.212.1).

Röle yardımlı aşağı yönlü NOMA sistemlerinin BR ağlardaki, tam ve yaklaşık ergodik kapasite analizine ilişkin etkileri, aşağıdaki ifadelerle verilmektedir. Hem rölede, hem de hedef düğümlerde SIC gerçekleşmesi durumunda, (17), (20) ve (21) kullanarak, uzak ve yakın kullanıcı için toplam ergodik kapasite ifadeleri

$$C_{top,1} = \bar{C}_{x_2}^{yaklaşık} + \bar{C}_{x_1}^{tam} \quad (22)$$

$$C_{top,2} = \bar{C}_{x_2}^{yaklaşık} + \bar{C}_{x_1}^{yaklaşık} \quad (23)$$

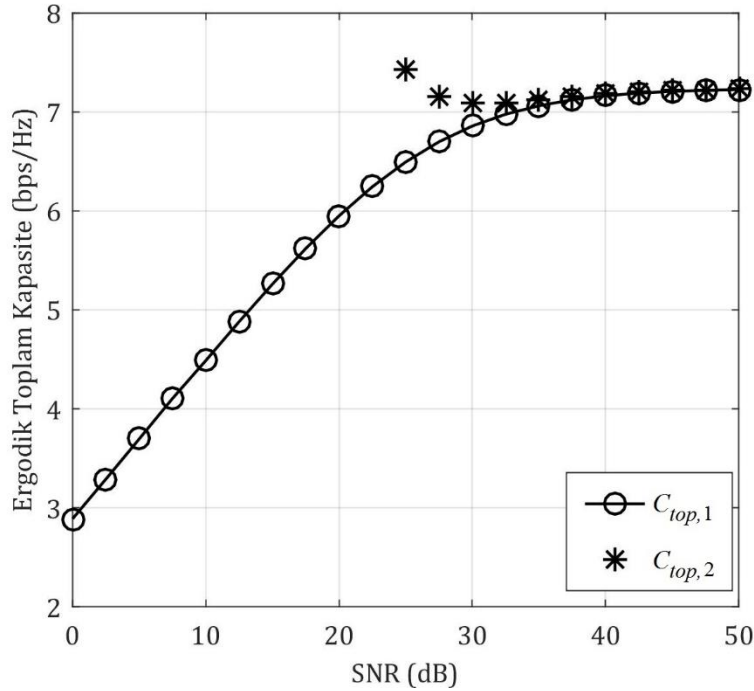
şeklinde hesaplanmaktadır.

4. Nümerik Sonuçlar (Numerical Results)

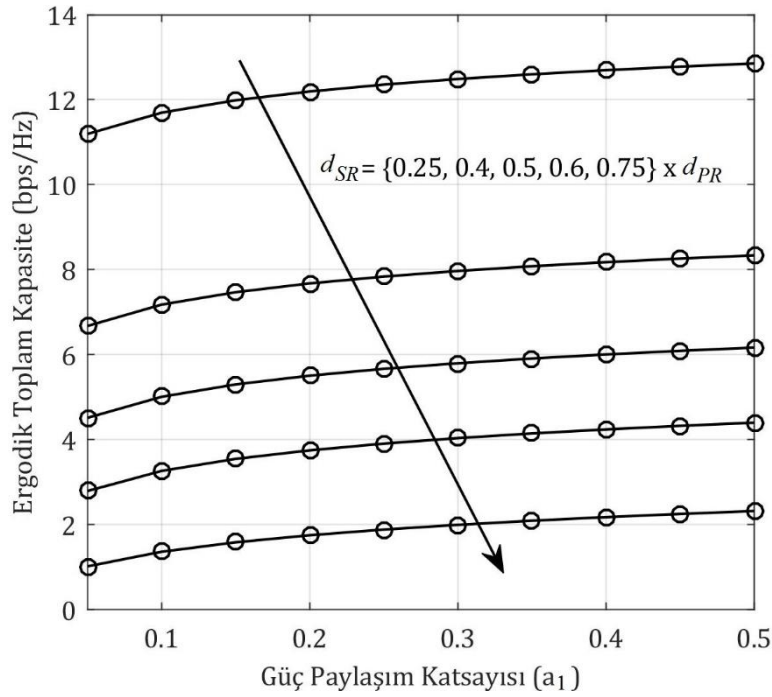
Bu bölümde, röle yardımlı aşağı yönlü NOMA sistemlerinin BR ağlarda önerilen modelinde, yakın ve uzak kullanıcılar için elde edilen ergodik toplam kapasite analizine ait analitik çıkarımlara ilişkin, performans incelemesi sunulmaktadır. Farklı sistem parametreleri kullanılarak elde edilen nümerik sonuçlarda yol kaybı üssü $\tau = 2.7$, gürültü varyansı $\sigma_n^2 = 1$, iletim güçleri $P_P = P_S = P_R = 1/3$ ve tekrarlamaya sayısı 10^6 olarak alınmıştır.

Hem rölede, hem de hedef düğümlerde SIC gerçekleşmesi durumunda, (22) ve (23) yardımıyla, yakın ve uzak kullanıcı için ergodik toplam kapasitenin SNR ile değişimi Şekil 2’de verilmektedir. Burada, güç paylaşım katsayısı $a_1 = 0.4$ alındığında ve kullanıcı düğümleri arasındaki mesafeler $d_{PR} = 2.25d_1 = 2.25d_{SR}$ şeklinde kullanıldığında, sistem başarımı analiz edilmektedir. Şekilden, işaret gürültü oranı arttığında ergodik toplam kapasitenin de arttığı dolayısıyla sistem performansının iyileştiği görülmektedir. Öte yandan, yakın kullanıcı için tam olarak hesaplanan ergodik toplam kapasite başarımının, yaklaşık olarak hesaplanan ergodik toplam kapasite performansı ile örtüşmesi, ancak yüksek SNR bölgesinde mümkün olmaktadır. Bu durumun, küçük x değerleri için yapılan $Ei(-x) \approx E_c + \ln(x)$ ve $e^x \approx 1 + x$ yaklaşımlarından kaynaklandığı ve dolayısıyla büyük SNR değerleri için geçerli olduğu gözlenmektedir.

Şekil 3’te CU_1 için ergodik toplam kapasitenin güç paylaşım katsayısı (a_1) ile değişimi, $d_{PR} = 4d_1$ ve SNR=20 dB iken sunulmaktadır. Burada d_{SR} ’nin d_{PR} ’ye göre sırasıyla 0.25, 0.4, 0.5, 0.6 ve 0.75 kat büyük olması senaryolarında sistem performansı incelenmektedir. Yakın kullanıcıya atanan güç tahsisinin artması, sistem performansını da iyileştirmektedir. Öte yandan, rölenin PU_{Tx} ’e göre kaynaktan uzaklaşmasının (d_{SR} ’nin d_{PR} ’ye kıyasla artmasının) ergodik toplam kapasiteyi olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Bu durum, İA olarak kurgulanan aşağı yönlü NOMA sisteminin, ortak kanal girişimi olarak etki gösteren BA ile aynı frekans bandını kullanmasının etkisi olarak değerlendirilmektedir.

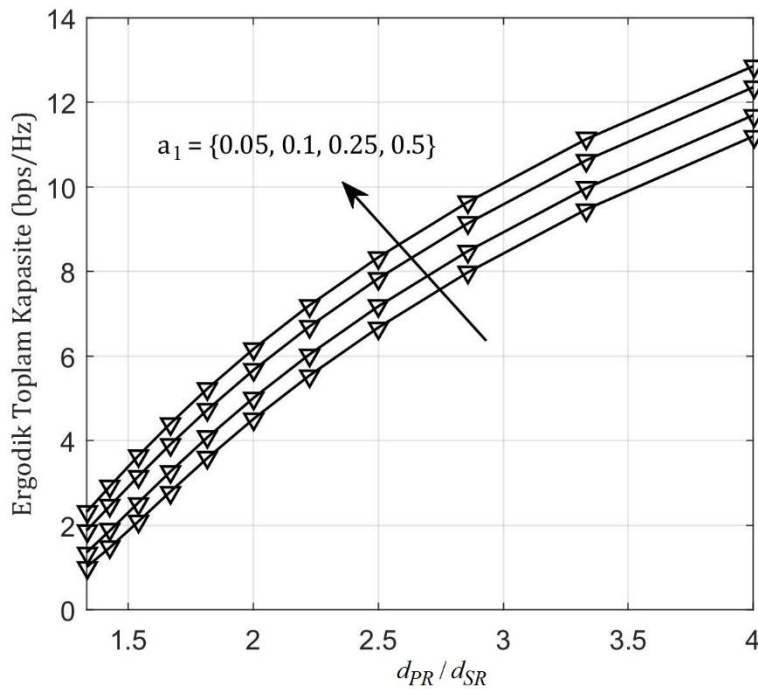


Şekil 2. CU_1 ve CU_2 yakın ve uzak kullanıcıları için ergodik toplam kapasitenin SNR ile değişimi (The variation of ergodic total capacity with SNR for the CU_1 and CU_2 near and far users)



Şekil 3. Ergodik toplam kapasitenin a_1 ile değişimi (The variation of ergodic total capacity with a_1)

Şekil 4, d_{PR}/d_{SR} değişiminin CU_1 için ergodik toplam kapasite üzerindeki performansını analiz etmektedir. Burada, $d_{PR}=4d_1$ ve $SNR=20$ dB alınarak, farklı güç paylaşım katsayısı $a_1 = \{0.05, 0.1, 0.25, 0.5\}$ için yapılan incelemelerde, PU_{Tx} 'in röleden uzaklaşmasının ergodik toplam kapasitenin artışı desteklediği gözlenmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, CU_1 için güç paylaşım katsayısı a_1 'in artışının, sistem performansını olumlu yönde etkilediği değerlendirilmektedir.



Şekil 4. Ergodik toplam kapasitenin, farklı a_1 değerleri için d_{PR}/d_{SR} ile değişimi (The variation of ergodic total capacity with d_{PR}/d_{SR} for different a_1 values)

5. Sonuçlar ve Yorumlar (Conclusions and Comments)

Bu çalışmada, röle yardımlı aşağı yönlü NOMA sistemlerinin BR ağlardaki ergodik toplam kapasite performansı incelenmiştir. Hem rölede, hem de hedef düğümlerde SIC gerçekleşmesi durumunda, uzak ve yakın kullanıcı için elde edilen ergodik toplam kapasite analitik çıkarımları üstel dağılımlı kanal altında türetilmiştir. Ayrıca önerilen sistem modelinde, uçtan uca tam ve yaklaşık ergodik kapasite için de kapalı form matematiksel denklemlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Sistem başarımı, düğümler arası mesafe, güç paylaşım katsayısı, iletim gücü, işaret gürültü oranı ve üstel dağılım parametreleri dikkate alınarak 10^6 tekrarlı Monte Carlo benzetimleri ile değerlendirilmiştir. İkincil ağdaki rölenin birincil ağ vericisine göre kaynaktan uzaklaşması durumunda sistem performansının kötüleştiği, öte yandan yakın kullanıcıya atanan güç tahsisindeki artışın ise ergodik toplam kapasiteyi olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma 1649B022001412 başvurusu numarası ile TÜBİTAK 2210-C öncelikli alanlara yönelik yurt içi yüksek lisans burs programı kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Ek-A

$$Z = \gamma_{R,2} = \frac{\frac{P_S}{d_{SR}^\alpha} a_2 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2}{\frac{P_S}{d_{SR}^\alpha} a_1 |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{SR}|^2 + P_R |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{H}_{SI} \mathbf{w}_t|^2 + \frac{P_P}{d_{PR}^\alpha} |\mathbf{w}_r^\dagger \mathbf{h}_{PR}|^2 + \sigma_n^2} = \frac{X}{\frac{a_1}{a_2} X + Y + 1} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} F_Z(Z) &= P(Z \leq z) = P\left\{ \frac{X}{\frac{a_1}{a_2} X + Y + 1} \leq z \right\} = P\left\{ X \leq \frac{z(Y+1)}{1 - \frac{a_1}{a_2} z} \right\} \\ &= \int_{y=0}^{\infty} \int_{x=0}^{1 - \frac{a_1}{a_2} z} \lambda_{SR} \lambda_{PR} e^{-\lambda_{SR} x} e^{-\lambda_{PR} y} dx dy \\ &= \lambda_{PR} \int_{y=0}^{\infty} e^{-\lambda_{PR} y} [1 - e^{-\lambda_{SR} \left(\frac{z(Y+1)}{1 - \frac{a_1}{a_2} z} \right)}] dy \\ &= \lambda_{PR} \int_{y=0}^{\infty} e^{-\lambda_{PR} y} - e^{-\lambda_{PR} y - \left(\frac{a_2 \lambda_{SR} z y + a_2 \lambda_{SR} z}{a_2 - a_1 z} \right)} dy \\ F_Z(Z) &= 1 - \frac{\lambda_{PR} (a_2 - a_1 z) e^{-\frac{a_2 \lambda_{SR} z}{a_2 - a_1 z}}}{\lambda_{PR} (a_2 - a_1 z) + a_2 \lambda_{SR} z} \end{aligned} \quad (25)$$

Ek-B

$$\bar{C}_{x_1} = \frac{1}{2 \ln 2} \int_0^{\infty} (1+k)^{-1} \left(\frac{A}{Bk+A} e^{-kn} \right) dk \quad (26)$$

ifadesi Mathematica yardımıyla, aşağıda (27)'deki forma kavuşur.

$$\bar{C}_{x_1} = \frac{1}{2 \ln 2} \left[\frac{1}{A-B} A \left(e^n \text{Gamma}[0, n] - e^{\frac{An}{B}} \left(\text{Gamma} \left[0, \frac{An}{B} \right] + \log \left[\frac{B}{A} \right] - \log[n] + \log \left[\frac{An}{B} \right] \right) \right) \right] \quad (27)$$

Buradan (Gradshteyn ve Ryzhik, 2007) kullanılarak,

$$\text{Gamma}[0, n] = \int_n^{\infty} t^{-1} \times e^{-t} dt = -\text{Ei}[-n] \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{Gamma} \left[0, \frac{An}{B} \right] &= \int_{\frac{An}{B}}^{\infty} t^{-1} \times e^{-t} dt \\ &= -\text{Ei} \left[-\frac{An}{B} \right] \end{aligned} \quad (29)$$

(30) elde edilir. Gamma [. , .] tamamlanmamış (incomplete) Gamma fonksiyonunu belirtmektedir.

$$\bar{C}_{x_1}^{tam} = \frac{1}{2 \ln 2} \left(\frac{1}{A-B} A \left(-e^n \text{Ei}[-n] - e^{\frac{An}{B}} \left(-\text{Ei} \left[-\frac{An}{B} \right] + \ln \left[\frac{B}{A} \right] - \ln[n] + \ln \left[\frac{An}{B} \right] \right) \right) \right) \quad (30)$$

Kaynaklar (References)

- Arzykulov S., Tsiftsis T. A., Naurzybayev G., and Abdallah M., 2019. Outage Performance of Cooperative Underlay CR-NOMA with Imperfect CSI. *IEEE Communications Letters*, 23(1), 176-179.
- Arzykulov S., Naurzybayev G., Tsiftsis T. A., Maham B., and Abdallah M., 2019. On the Outage of Underlay CR-NOMA Networks with Detect-and-Forward Relaying. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 5(3), 795-804.
- Bardak, F. K., Namdar, M., and Basgumus, A., 2020. Performance Analysis of NOMA Systems in Relay-Assisted Cognitive Radio Networks. *IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4.
- Dai L., Wang B., Yuan Y., Han S., Chih-Lin I., and Wang Z., 2015. Non-Orthogonal Multiple Access for 5G: Solutions, Challenges, Opportunities, and Future Research Trends. *IEEE Communications Magazine*, 53(9), 74-81.
- Dai L., Wang B., Ding Z., Wang Z., Chen S., and Hanzo L., 2018. A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(3), 2294-2323.
- Ding Z., Lei X., Karagiannidis G. K., Schober R., Yuan L., and Bhargava V., 2020. A Survey of NOMA: Current Status and Open Research Challenges. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(10), 2181-2195.
- Gradshteyn I. S., and Ryzhik I. M., 2007. *Table of integrals, series and products*, 7th edn. New York: Academic Press.
- Guo H., Ge J., and Ding H., 2011. Symbol Error Probability of Two-Way Amplify-and-Forward Relaying. *IEEE Communications Letter*, 15(1), 22-24.
- Haykin S., 2005. Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(21), 201-220.
- Ho C. Y., Leow C. Y., 2019. Cooperative Non-Orthogonal Multiple Access with Physical Layer Network Coding. *IEEE Access*, vol. 7, 44894-44902.
- Im G., Lee J. H., 2019. Outage Probability for Cooperative NOMA Systems with Imperfect SIC in Cognitive Radio Networks. *IEEE Communications Letters*, 23(4), 692-695.
- Kader M. F., Shahab M. B., and Shin S. Y., 2017. Exploiting Non-orthogonal Multiple Access in Cooperative Relay Sharing. *IEEE Communications Letters*, 21(5), 1159-1162.
- Kim J. B., and Lee I. H., 2015. Non-Orthogonal Multiple Access in Coordinated Direct and Relay Transmission. *IEEE Communications Letters*, 19(11), 2037-2040.
- Liu Y., Ding Z., Elkashlan M., Yuan L., 2016. Non-orthogonal Multiple Access in Large-Scale Underlay Cognitive Radio Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(12), 10152-10157.
- Lv L., Chen L., Ni Q., Ding Z., and Liang H. 2018. Cognitive Non-Orthogonal Multiple Access with Cooperative Relaying: A New Wireless Frontier for 5G Spectrum Sharing. *IEEE Communications Magazine*, 56(4), 188-195.
- Mohammadi M., Chalise B. K., Hakimi A., Mobini Z., Suraweera H. A., and Ding Z., 2018. Beamforming Design and Power Allocation for Full-Duplex Non-Orthogonal Multiple Access Cognitive Relaying. *IEEE Transactions on Communications*, 66(12), 5952-5965.
- Namdar M., Ilhan H., 2018. Exact Closed-Form Solution for Detection Probability in Cognitive Radio Networks with Switch-and-Examine Combining Diversity. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(9), 8215-8222.
- Sun Q., Han S., Chin-Lin I., and Pan Z., 2015. On the Ergodic Capacity of MIMO NOMA Systems. *IEEE Wireless Communications Letters*, 4(4), 405-408.
- Ucar-Gul M., Namdar M., and Basgumus A., 2020. Performance Analysis of Two-Way AF Relaying System with the Presence of Hardware Impairments over Nakagami-*m* Fading Channels. *IET Communications*, 14(15), 2618-2627.
- Wang H., Lee J., Kim S., and Hong D., 2010. Capacity Enhancement of Secondary Links through Spatial Diversity in Spectrum Sharing. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9(2), 494-499.
- Wang X., Wang J., He L., and Song J., 2018. Outage Analysis for Downlink NOMA with Statistical Channel State Information. *IEEE Wireless Communications Letters*, 7(2), 142-145.
- Wu W. C., 2019. A novel Code-aided non-orthogonal multiple access in downlink multiuser MIMO System. *IEEE International Conference of Intelligent Applied Systems on Engineering (ICIASE)*, 251-154.
- Yue X., Liu Y., Kang S., Nallanathan A., Chen Y., 2018. Modeling and Analysis of Two-Way Relay Non-Orthogonal Multiple Access Systems. *IEEE Transactions on Communications*, 66(9), 3784-3796.
- Zhang C., Ge J., Li J., Rui Y., and Guizani M., 2015. A Unified Approach for Calculating the Outage Performance of Two-Way AF Relaying Over Fading Channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(3), 1218-1229.
- Zhong C., Zhang Z., 2016. Non-Orthogonal Multiple Access With Cooperative Full-Duplex Relaying. *IEEE Communications Letters*, 20(12), 2478-2481.



DESIGN OF A KNEE EXOSKELETON ASSISTING DURING WALKING, SIT-TO-STAND, AND STAIR ASCENDING

Furkan M. BİLGİ¹, Ramazan UNAL^{2*}

¹ Abdullah Gul University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, Türkiye

² Ozyegin University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Türkiye

Keywords

*Exoskeleton Design,
Assistive Devices,
Walking,
Sit-to-Stand,
Stair Ascend.*

Abstract

In this study, we present a knee exoskeleton that assists weight acceptance in walking, sit-to-stand and stair ascending. Working principle of the exoskeleton device is inspired from the bio-mechanical data of natural human gait, sit to stance and stair ascent motions. First, we analyze the natural gait data to identify the weight acceptance behavior of the knee joint. Then we build a model for sit to stand motion with an elastic element. After that, stair ascent data is analyzed in a similar manner. Then, we define the appropriate elastic elements, their coefficients and motor requirements if necessary, for these specific tasks. Finally, we present the CAD model of the proposed knee exoskeleton.

YÜRÜME, OTURMA-KALKMA VE MERDİVEN ÇIKMA SIRASINDA YARDIMCI OLAN DİZ DIŞ İSKELETİNİN TASARIMI

Anahtar Kelimeler

*Dış İskelet Tasarımı,
Yardımcı Cihazlar,
Yürüme,
Oturma-Kalkma,
Merdiven Çıkma.*

Öz

Bu çalışmada, yürümede, ayağa kalkmada ve merdiven çıkmada ağırlık kabulüne yardımcı olan bir diz dış iskeletini sunuyoruz. Dış iskelet cihazının çalışma prensibi, doğal insan yürüyüşü, ayağa kalkma ve merdiven çıkma hareketlerinin biyo-mekanik verilerinden esinlenmiştir. İlk olarak, diz ekleminin ağırlık kabul davranışını belirlemek için doğal yürüyüş verileri analiz edilmiştir. Ardından, elastik bir elemanla ayağa kalkma hareketi için bir model oluşturulmuştur. Bundan sonra, merdiven çıkma verileri benzer şekilde analiz edilmiştir. Ardından, bu hareketler için uygun elastik elemanları, bunların elastik katsayıları ve gerekirse motor gereksinimleri tanımlanmıştır. Son olarak, önerilen diz dış iskeletinin CAD modeli sunulmuştur.

Alıntı / Cite

Bilgi, F.M., Unal, R., (2021). Design Of A Knee Exoskeleton Assisting During Walking, Sit-to-Stand, and Stair Ascending, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(3), 1003-1014.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. M. Bilgi, 0000-0002-5235-6688
R. Unal, 0000-0002-2129-797X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.08.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.08.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.08.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Introduction

The lower-limb assistive devices (exoskeletons or prostheses) are vital tools to assist or augment the capabilities of individuals in need for their daily activities in life. For instance, these devices aid amputees, people with muscle weaknesses and gait disorders (Indego, 2017; ReWalk, 2017). Additionally, lower limb assistive devices can reduce the metabolic cost of walking (van Dijk and van der Kooij, 2014; Shamaei et.al., 2014; Bacek et.al., 2015) or running (Dollar and Herr, 2008) and also enhance the capacity to lift and carry heavy loads of people such as infantry soldiers, firefighters, disaster relief workers etc. (Kazerooni et.al., 2006; Lockheed, 2017; Againer-ski, 2017; Liu and Low, 2004). Another utilization of these devices is rehabilitation. These devices are used in order to assist/drive the leg of patients (stroke patient, patients with muscle weaknesses etc.) to track the desired trajectory so that they can regain their motor control abilities (Banala et.al., 2007; van der Kooij et.al., 2006; Wu et.al., 2016; Rex, 2017; Jezernik et.al., 2003) as in upper limb rehabilitation (Kiguchi et.al., 2003; Hu

* İlgili yazar/Corresponding author: ramazan.unal@ozyegin.edu.tr, +90-216-564-9346

et.al., 2009; Cheng et.al., 2003; Sasaki et.al., 2005). Additionally, modeling studies have also been carried out for these devices to evaluate interaction torque values (Baser et.al., 2018) and to obtain damping co-efficients and passive torque values that needs to be generated by the actuators to avoid instabilities on robotic joints (Demiray et.al., 2014). Furthermore, variable stiffness actuator designs for lower limb exoskeleton joints are compared in terms of energy consumption and power requirements (Kizilhan et.al., 2014).

Assistive devices would be classified into three main categories according to their actuation principle: active, passive and semi-active devices. Active assistive devices require external energy source to augment individuals' capability by means of actuators and controllers. For example, BLEEX is an active device that consists 7 degrees of freedom (DoF) and four of them are actuated by linear hydraulic actuators. It consumes 1140 W of electric power (Kazerooni et.al., 2006). Xiaopeng et. al. designed an exoskeleton (Liu and Low, 2004) that has 6 motors on joints (hip, knee and ankle) and two linear actuators to control the torso. ALEX is another active assistive device consisting 7 DoF, 2 of which are actuated by linear actuators (Banala et.al., 2007)). Exoskeleton in (van der Kooij et.al., 2006) is also an active exoskeleton which is used for rehabilitation purpose. This exoskeleton employs series elastic actuator that is driven by Bowden cables to actuate the joints. BioComEx also employs variable stiffness actuators on ankle joints and series elastic actuators on the knee and hip joints (Baser et.al., 2019) and in its latest version it employs hybrid actuators with MR brakes for achieving variable impedance lower limb exoskeleton in a safe and stable manner (Baser et.al., 2020) which was previously. Exoskeleton designed by Wu et.al. (2016) has three dc motors to drive the joints. The exoskeleton in (Jezernik et.al., 2003) has 4 DoF which are actuated with linear actuators. There are also some commercially available active exoskeletons, e.g. Indego (2017), REX (2017), ReWalk (2017) etc. Passive devices on the other hand, assist users by exploiting the kinematics and/or dynamics with their design specifically done for that task. These devices may employ elastic elements, dampers but no external power source. For instance, exoskeleton that is built in (van Dijk and van der Kooij, 2014) has artificial tendons to provide torques about joints. Similarly, exoskeleton in (Agrawal et.al, 2006) is a passive exoskeleton that has springs for building up torque. FORTIS (Lockheed, 2017) and Againer-ski (2017) can be given as example for commercial passive exoskeletons. Lastly, in semi-active devices, actuation is not used to actuate the joints directly but used to engage or disengage the equipment that provide torque about joints such as springs, dampers, tendons etc. For example, in (Shamaei et.al., 2014), researchers used controlled electromechanical clutch to engage and disengage the spring in order to build up torque about the joint at correct phase of gait. In (Dollar and Herr, 2008), exoskeleton consists a motorized mechanism to activate and deactivate the spring.

Among these devices, there are some knee exoskeletons that assist certain tasks. For example, the exoskeleton in (Shamaei et.al., 2014) is a knee exoskeleton that has a clutch mechanism to engage-disengage the spring so that the exoskeleton assists the weight acceptance phase of gait. The exoskeleton in (Beyl et.al., 2007) is an active knee exoskeleton which employed pleated pneumatic muscles and this device is designed for gait rehabilitation. The RoboKnee (Pratt et.al., 2004) is also a knee exoskeleton assisting individuals to carry heavy loads and stair climbing. In (Cai et.al., 2011), the exoskeleton has 6 DoF and one of them is actuated. This device aids the individuals for flexion and extension of knee. The exoskeleton in (Kim et.al., 2015) helps hemiplegic patients to walk normally. A self-aligning knee exoskeleton has been presented in (Celebi et.al., 2013) and a reconfigurable ankle exoskeleton for rehabilitation has been presented in (Erdogan et.al., 2016). Additionally, an adaptive knee joint for body weight support in lower limb exoskeleton (Wang et.al., 2016) has been presented. They also showed several advantages with their design over some other weight supporting lower limb exoskeletons. Since weight acceptance is the dominant function of the knee joint during stance phase of gait, this function is crucial for the design of a knee exoskeleton for supporting walking. Moreover, during this phase of the gait human knee joint undergoes about 15° of flexion followed by an extension and it has been observed that when a healthy individual walks without this flexion, they expend 25% more extra metabolic energy than normal (Zissimopoulos et.al., 2007). The same situation is valid for the sit-stand movement; up to 70% of the mechanical work during this task is provided by the knee joint (Wretenberg and Arborelius, 1994) and due to the lack of extension moment in the knee joint, individual performs this movement with the power he/she gets from his/her healthy leg in case of an amputation (Highsmith et.al., 2011) from his/her arms or increased postural sway and weight-bearing asymmetry occur between the affected and unaffected legs (Cheng et.al., 2001; Lee et.al., 1997). With this aim, the AlterG Bionic Leg (Wong et.al., 2012) knee exoskeleton is developed for assisting sit-to-stand, but it has limitations on torque controllability, speed capability, and mass. A design of a variable-stiffness knee exoskeleton for mimicking able-bodied sit-to-stand is proposed in (Karavas et.al., 2015) and a flexion-assistance knee exoskeleton with low output impedance, SERKA, is developed and tested on stroke subjects in (Sulzer et.al., 2009). Also, in (Shepherd and Rouse, 2017) torque controllable knee exoskeleton is developed for assisting sit-to-stand motion. The design is based on series elastic actuation and employs a series fiberglass spring which improves closed-loop torque controllability with the addition of small mass. On the other hand, stair climbing requires a large amount of positive work at the knee joint (Wilken et.al., 2011). Based on this, it is emphasized that the actuator design can reduce the power requirements and series elastic actuators

which is a combination of a DC motor and an elastic element connected in series are widely employed in exoskeletons due to their low impedance output capability (Paine, et.al., 2014).

In this study we propose a knee exoskeleton design that is able to assist weight acceptance, sit to stand and stair ascent. First the biomechanical data of these motions were analyzed. Then according to kinematics and kinetics of our design, we determined the number of springs and their coefficients. Moreover, the actuator that is used for assisting in stair ascent motion was determined.

2. Methods

2.1. Walking Data of Knee Joint

The biomechanics of human lower limb joints has been studied in detail and all the critical definitions about the human gait has been given in (Winter, 1991). In the first flexion of knee as shown in Figure 1, between 0-14% of the gait cycle, knee accepts the body weight (weight acceptance-WA) which corresponds to K1 area in power plot of knee joint. K1 is the largest energy storage area during gait. Then knee extends between 14-40% of the gait cycle, to lift the body (Area K2). This extension following the first flexion can be identified as releasing the energy that is stored in the first flexion part around the knee joint. After this, the second flexion occurs (K3) which plays a vital role during gait. It is mainly the preparation of the next step and provides sufficient clearance to prevent the foot to strike the ground prematurely. Around 60% of the gait cycle, toe-off (TO) occurs so the foot leaves the ground completely. Around 72% of the stride the second extension of knee joint takes place (K4). These second flexion and extension correspond to swing phase of gait.

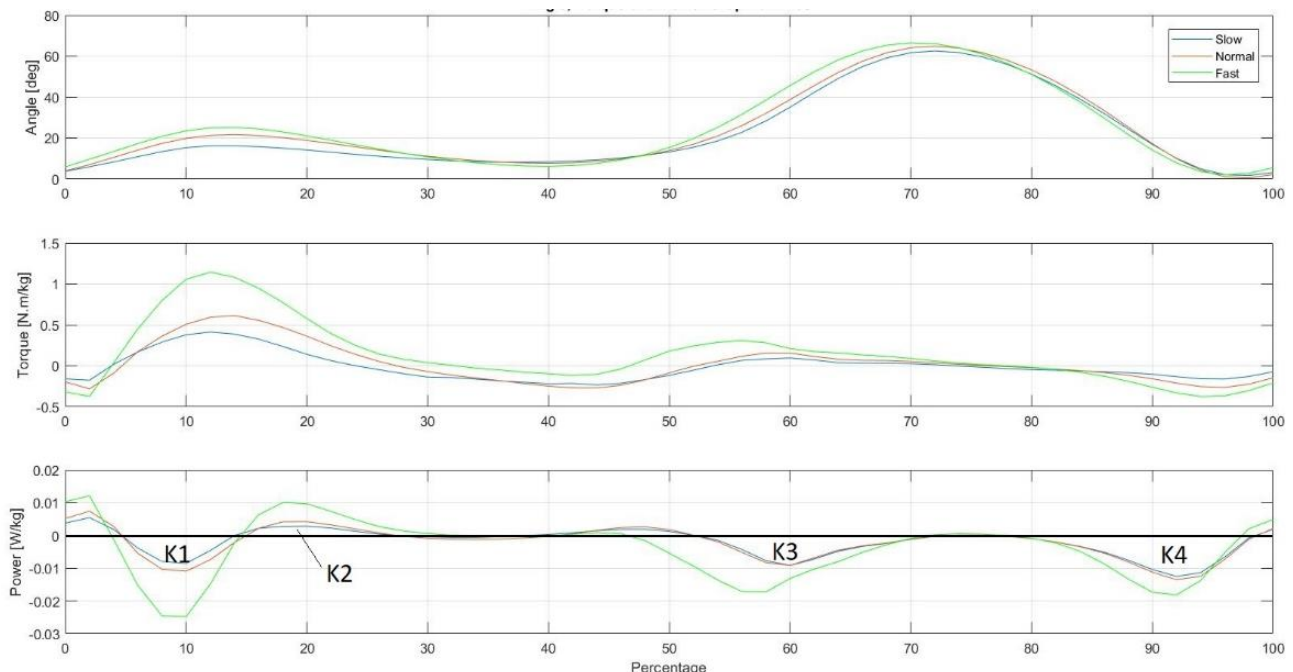


Figure 1. Angle, torque and power plot of natural knee Joint (Winter, 1991)

2.2. Sit-to-Stand Data of Knee Joint

Sit to stand motion can be described as to raise the body around knee joint. As it has been approximated according to the related knowledge (Plagenhoef, et.al., 1983), human upper body mass is considered to be approximately the two third of the total body mass, therefore we assigned 50 kg for upper body mass and 0.45 m for thigh length which corresponds to 1.8 m and 75 kg individual. The exoskeleton accompanied by the upper body mass to mimic this motion is shown in Figure 2. In this study, we modeled sit to stand motion statically since this motion is considered to be rather slow and effect of dynamics can be neglected.

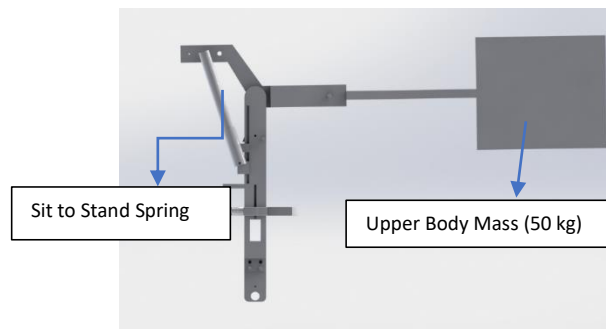


Figure 2. Knee exoskeleton and mass representing the rest of the human

The plot in Figure 3 depicts the torque behavior of knee joint during stand to sit motion. Torque value starts from 0 N-m and it gets higher as the angle of knee joint increases. Even though this relation shows some non-linearity towards the end, in order to avoid the design complexity, we approximate this relation by using a single linear spring instead of several linear springs in parallel which engage and disengage at different deflections to approximate the non-linear knee joint torque curve.

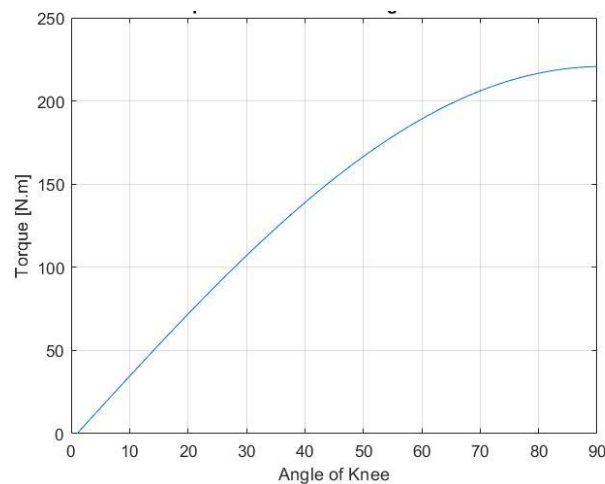


Figure 3. Torque of knee joint during stand to sit

2.3. Stair Ascending Data of Knee Joint

Angle, moment and power plots of knee during stair ascent motion are depicted in Figure 4. Angle of knee starts from nearly 70° to 10° and it increases until it reaches approximately 95° and decreases to nearly 70° for ascending stairs. Toe off starts at 60% of one cycle. Besides, knee moment starts from 0 [N.m/kg] and it increases to approximately 1.15 [N-m/kg] because the knee joint is responsible for raising the body on the stair. Then it decreases drastically to about 0 [N-m/kg]. Yet, we can see some fluctuation that is caused by the swing motion of the leg. Knee joint must provide the most of the moment until $\sim 18\%$ and this moment is decreased linearly until $\sim 52\%$. Raising the body by knee corresponds to power generation boost in power plot. Power generation increases from 0 [W/kg] to ~ 2.5 [W/kg] and then decreases to 0 [W/kg]. After that, power fluctuates because of the swing motion of leg.

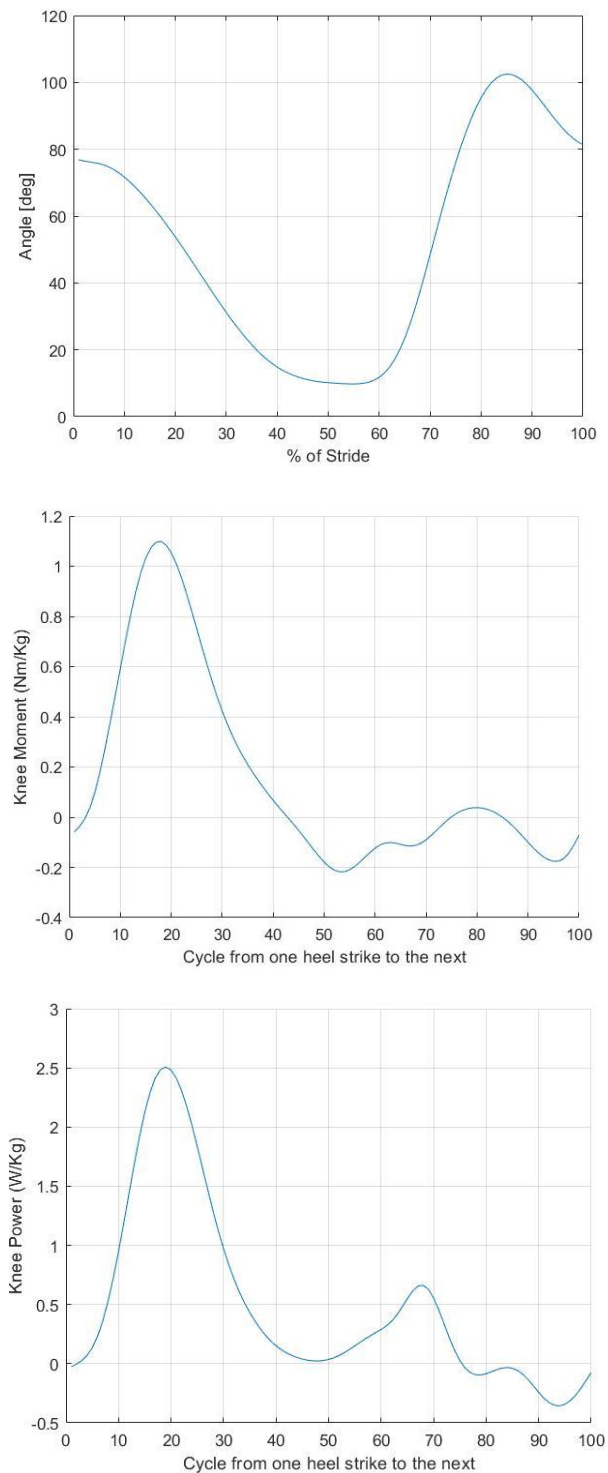


Figure 4. Angle (top), moment (middle) and power (bottom) plots of knee joint during stair ascent (Riener et.al., 2002)

3. Design

3.1. Weight Acceptance Spring

In human gait, knee joint produces the highest torque during weight acceptance in the stance phase. According to bio-mechanical data, torque increases and decreases approximately in a linear fashion. This shows that an elastic element can be used to mimic the knee joint during this part of the gait as shown in Figure 5.

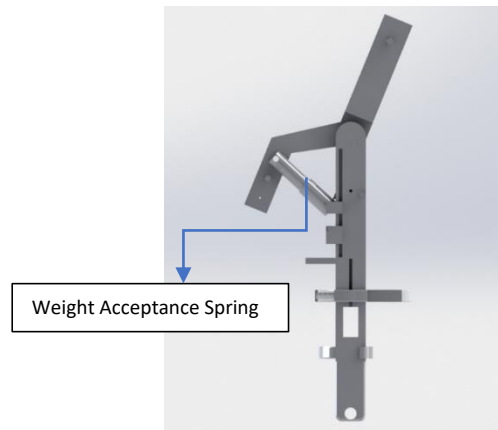


Figure 5. Weight acceptance spring

It is crucial to determine the spring coefficient in order to assist the weight acceptance properly and safely. To do this, we approximate the linear spring force data from translating the required knee joint torque to force data and with the related elongation data we could obtain the coefficient of elastic element as shown in Figure 6. Here, initially we decided to place the spring 80 mm away from the knee joint for both attachment points to avoid large design (see Figure 5). In the Two characteristic behaviors can be seen in this figure. The behavior with high slope represents the weight acceptance, and the other one represents the push-off and swing phase of gait. In order to determine the spring coefficient, the slope of the red line has been computed.

$$k_{Weight\ Acceptance} = \frac{419.7 - (-140.7)}{0.04326 - 0.01602} = 20600 \left[\frac{N}{m} \right] \quad (1)$$

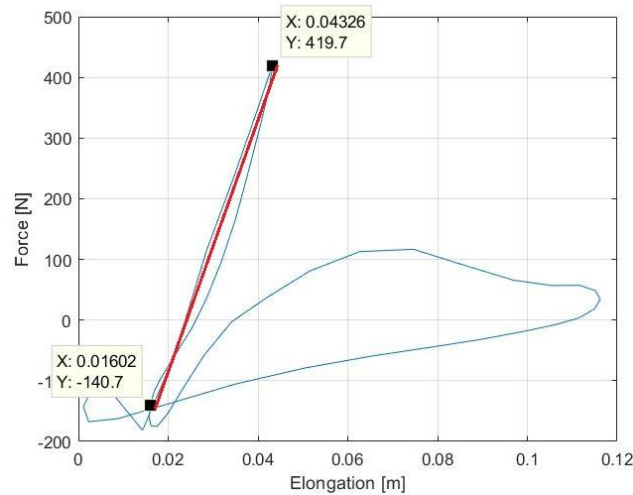


Figure 6. Force-elongation plot of WA spring

3.2. Sit-to-Stand Spring

As we already mentioned in previous section, this task can be approximated by a linear spring. To be able to find the coefficient of that spring, we generate the force data that is needed to produce the knee torque vs. elongation of elastic element plot in Figure 7. Here, initially we decided to place the spring 100 mm away from the knee joint for both attachment points to avoid large design (see Figure 2). The slope of the red line defines the spring coefficient which is:

$$k_{Sit\ to\ Stance} = \frac{2152 - 489.6}{0.1488 - 0.04103} = 15425 \left[\frac{N}{m} \right] \quad (2)$$

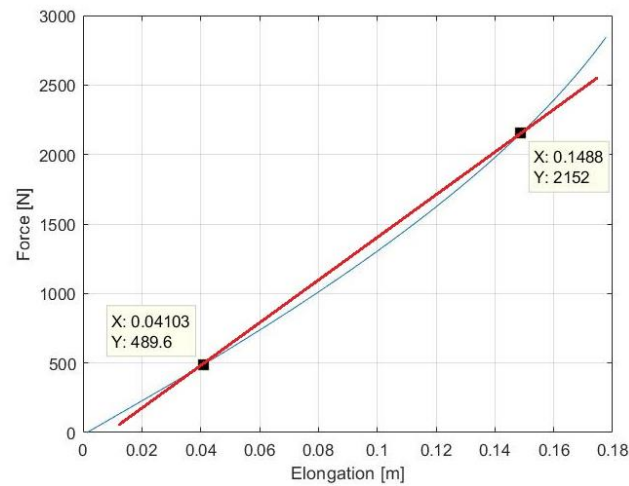


Figure 7. Force-elongation plot of sit to stand spring

3.3. Stair Ascend Mechanism

For assisting stair ascend we used actuator including a dc motor with spring mechanism to mimic the knee joint. After analyzing the ascent data, the spring that is employed on the actuator to reduce the motor size for generating the motion of stair ascent motions is determined.



Figure 8. Stair ascent actuator

Specifically, in order to determine that spring, force vs. elongation plot of the elastic element during stair ascent motion is generated and examined. Figure 9 depicts the force vs. elongation plot of the spring during stair ascent. Here, initially we decided to place the actuator 100 mm away from the knee joint for both attachment points to avoid large design (see Figure 8).

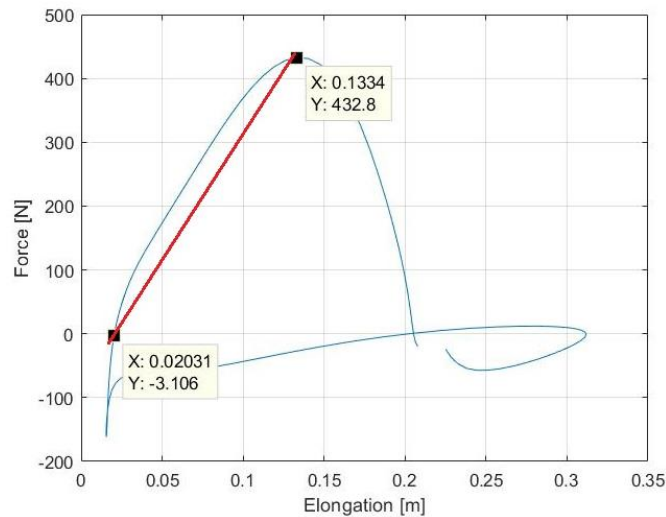


Figure 9. Force vs. elongation plot of spring during stair ascent

There are two phases in this figure. The phase with higher slope represents the max. torque generation by knee during ascent. The second phase with lower slope stands for the swing motion of the leg. So, the slope of the red line in Figure 9 can be used as coefficient of the spring.

$$k_{Ascent} = \frac{432.8 - (-3.106)}{(0.1334 - 0.02031)} = 3854 \text{ [N/m]} \quad (3)$$

4. Result and Discussion

When simulating the exoskeleton with the WA spring during walking, the system can mimic the knee joint as it is shown in Figure 10, which makes the comparison of knee joint and knee exoskeleton torque during WA.

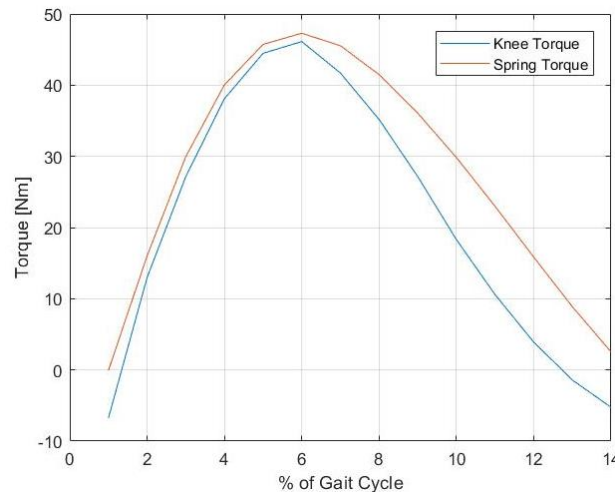


Figure 10. Comparison of natural knee joint and exoskeleton torque during WA

Similar behavior is also observed when simulating the exoskeleton during sit to stand motion, which is shown in Figure 11 as a comparison of knee joint and knee exoskeleton torque during sit to stand motion. The reason for the difference between the knee joint and the exoskeleton torque would be due to linearization of the force-elongation curve for the sit to stand motion.

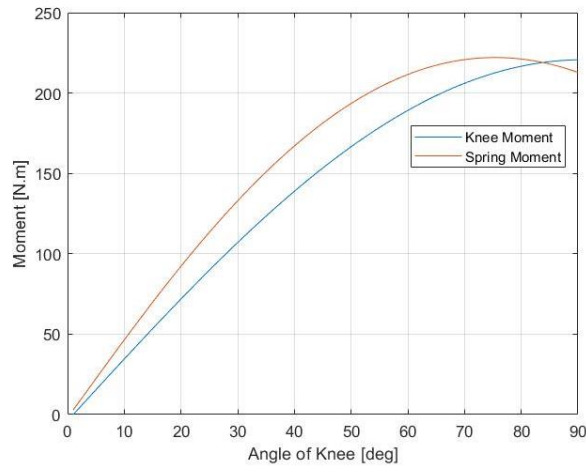


Figure 11. Comparison of the knee joint and exoskeleton torque during sit to stand

The comparison of knee joint and exoskeleton torque and power plots during stair ascent motion is depicted in Figure 12. Here, the moment of natural knee joint starts from 0 Nm, yet the initial moment of exoskeleton is nearly 180Nm. It means that the actuator has to compress to spring because of the kinematic restrictions. Then it releases the spring and after 20% motor does not have to apply power. So the spring is supportive to raise the body, which can be seen as the power reduction in Figure 12. Actuator consumes power until 20% then required power decreases to nearly zero, since spring does the job after 20% of the cycle. After 40% of cycle, spring restricts the swing motion due to the kinematics of our design. To be able to avoid this, the design includes an engage-disengage mechanism to engage the spring only between 0-40% and disengage the spring 40-100% so that the actuator does not consume unnecessary power. Because of the spring only works between 0-40% of gait cycle, we plotted only this part.

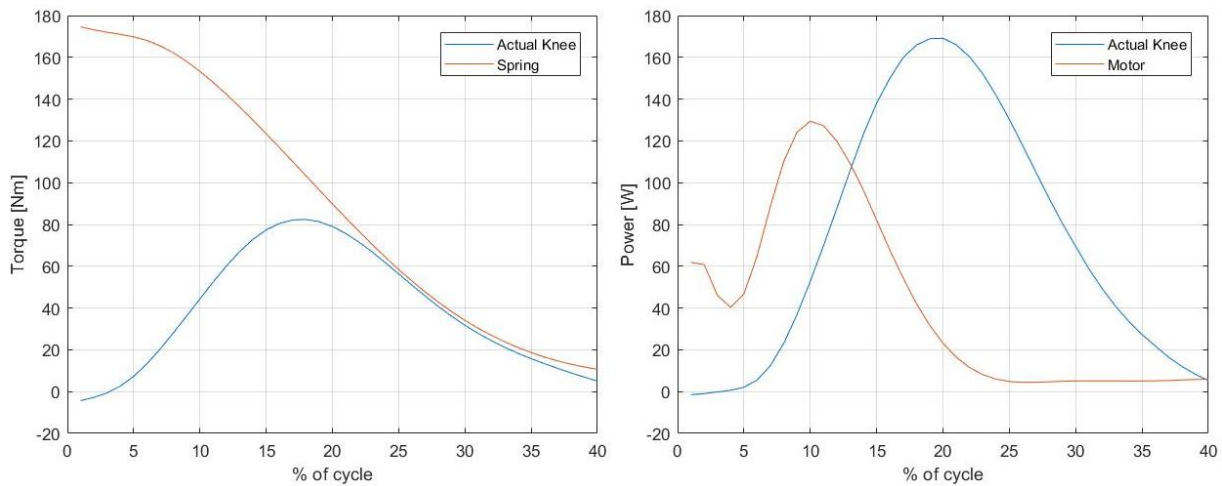


Figure 12. Comparison of Moment (left) and Power (right) plots of knee during ascending

The complete CAD of the proposed exoskeleton design is presented in Figure 13 as it is attached to human leg.

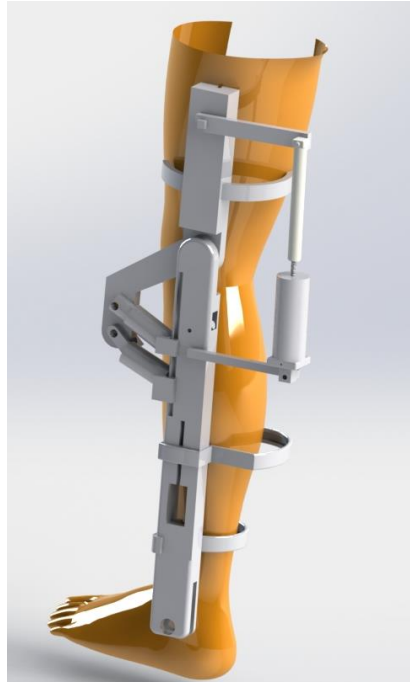


Figure 13. 3D CAD model of exoskeleton design

4. Conclusion and Futurework

In this paper we presented a conceptual design of a knee exoskeleton that assists weight acceptance, sit to stand and stair ascent motions. To be able to do this, first, the biomechanical data of these motions were analyzed. Then, considering these data, coefficients of springs that would aid these motions were determined. Results showed that even though there are some differences between the actual data and our design, using elastic elements would be sufficient to assist these motions to achieve energy-efficient devices. Differences are mainly due to non-linear elastic behavior of the natural knee joint, in other words, variable joint stiffness during these motions. However, we apply these motions with linear springs on the exoskeleton, so the exoskeleton joint have constant elastic coefficient. For stair ascent motion, we used an actuator that combines spring and a dc motor with a ball-screw mechanism. Motor is employed to compress the spring, then, together with the spring this actuator assists to raise the body. With this combination the maximum power consumption decreased from nearly 170 W to 130 W in comparison to direct-drive of the knee joint with a dc motor. Currently we are building the prototype of this conceptual design to test the device first functionally and then on individuals to evaluate the performance of the device.

Acknowledgement

This research study has been supported by Abdullah Gül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi under the project number FAB-2017-89. Authors would like to thank Prof. Dr. Robert Riener for sharing the biomechanical data of stair-climbing.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Againer-ski, 2017. Againer-ski | Maximize your skiing. [Online]. Available: <http://againer-ski.com/?v=ebe021079e5a>.
- Agrawal, S.K., Banala, S.K., Fattah, A., 2006. A gravity balancing passive exoskeleton for the human leg. Proceedings of Robotics: Science and Systems.
- Bacek, T., Unal, R., Moltedo, M., Junius, K., Cuypers, H., Vanderborght, B., Lefeber, D., 2015. Conceptual design of a novel variable stiffness actuator for use in lower limb exoskeletons. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), Singapore, 583-588.
- Banala, S.K., Agrawal, S.K., Scholz, J.P., 2007. Active Leg Exoskeleton (ALEX) for Gait Rehabilitation of Motor-Impaired Patients. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 401-407.

- Baser, O., Sekerci, B., Kizilhan, H., Kilic, E., 2018. İnsan ve Alt Uzuv Dış İskelet Robotun Matlab Simmechanics Ortamında Modellenmesi ve Etkileşim Kuvvetlerinin Minimize Edilmesi Kontrol Çalışması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 365 – 374.
- Baser, O., Kizilhan, H., Kilic, E., 2019. Biomimetic compliant lower limb exoskeleton (BioComEx) and its experimental evaluation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(5), 226.
- Baser, O., Kizilhan, H., Kilic, E., 2020. Employing variable impedance stiffness damping hybrid actuators on lower limb exoskeleton robots for stable and safe walking trajectory tracking. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34(6), 2597–2607.
- Beyl, P., Naudet, J., van Ham, R., Lefeber, D., 2007. Mechanical design of an active knee orthosis for gait rehabilitation. *IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 100–105.
- Cai, V.A., Bidaud, P., Hayward, V., Gosselin, F., Desailly, E., 2011. Self-adjusting, isostatic exoskeleton for the human knee joint. *Conference Proceedings IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 612-618.
- Celebi, B., Yalcin, M., Patoglu, V., 2013. AssistOn-Knee: A self-aligning knee exoskeleton. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 996-1002.
- Cheng, H.S., Ju, M.S., Lin, C.C.K., 2003. Improving Elbow Torque Output of Stroke Patients with Assistive Torque Controlled by EMG Signals. *Journal of Biomechanical Engineering*, 125(6), 881.
- Cheng P-T, Wu S-H, Liaw M-Y, Wong AMK, Tang F-T, 2001. Symmetrical body-weight distribution training in stroke patients and its effect on fall prevention. *82(12)*, 1650-1654.
- Demiray, M.A., Baser, O., Kilic, E., 2014. Alt Uzuv Dış İskelet Robot Eklemlerinde Kararlılık İçin Sönümlenme Katsayıları ve Momentlerinin Hesaplanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18 (3), 34-51.
- Dollar, A.M., Herr, H., 2008. Design of a quasi-passive knee exoskeleton to assist running. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS*, 747–754.
- Erdogan, A., Celebi, B., Satici A.C., Patoglu, V., 2016. AssistOn-Ankle: A Reconfigurable Ankle Exoskeleton with Series-Elastic Actuation. *Autonomous Robots*, 41, 1–16.
- Hu, X.L., Tong, K.Y., 2009. Interactive Rehabilitation Robot for Hand Function Training. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 777–780.
- Highsmith, M. J., Kahle, J. T., Carey, S. L., Lura, D. J., Dubey, R. V., Csavina, K. R., and Quillen, W. S., 2011. Kinetic Asymmetry in Transfemoral Amputees While Performing Sit to Stand and Stand to Sit Movements. *Gait and Posture*, 34(1), 86–91.
- Indego, 2017. Indego – Powering People Forward [Online]. Available: <http://www.indego.com/indego/en/home>.
- Jezernik, S., Colombo, G., Keller, T., Frueh, H., Morari, M., 2003. Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool. *Neuromodulation*, 6(2), 108–115.
- Kazerooni, H., Steger, R., Huang, L., 2006. Hybrid Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX). *International Journal of Robotics Research*, 25(5–6), 561–573.
- Karavas, N., Ajoudani, A., Tsagarakis, N., Saglia, J., Bicchi, A., Caldwell, D., 2015. Tele-impedance based assistive control for a compliant knee exoskeleton. *Robotics and Autonomous Systems*, 73, 78-90.
- Kiguchi, K., Iwami, K., Yasuda, M., Watanabe, K., Fukuda, T., 2003. An exoskeletal robot for human shoulder joint motion assist. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 8(1), 125-135.
- Kim, J.-H., Shim, M., Ahn, D. H., Son, B. J., Kim, S.-Y., Kim, D. Y., ... Cho, B.-K., 2015. Design of a Knee Exoskeleton Using Foot Pressure and Knee Torque Sensors. *International Journal of Advanced Robotic Systems*.
- Kizilhan, H., Baser, O., Kilic, E., Ulusoy, N., 2014. Dış İskelet Robot Eklemleri için Antagonistik ve Öngerilmeli Tip Sertliği Değiştirilebilir Eyleyici Tasarımlarında Güç Gereksinimi ve Enerji Sarfıyatı Karşılaştırması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 77-91.
- Lee, M., Wong, M., Tang, F., Cheng, P., Lin, P., 1997. Comparison of Balance Responses and Motor Patterns During Sit-To-Stand Task with Functional Mobility in Stroke Patients. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 76(5), 401-410.
- Liu, X., Low, K.H., 2004. Development and preliminary study of the NTU lower extremity exoskeleton. *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 2, 1243-1247.
- Lockheed Martin, 2017. Exoskeleton Technologies: Industrial. [Online] Available: <https://www.lockheedmartin.com/us/products/exoskeleton/industrial.html>.
- Paine, N., Oh, S., Sentis, L., 2014. Design and control considerations for high-performance series elastic actuators. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 19(3), 1080-1091.
- Plagenhoef, S., Evans, F.G., Abdelnour, T., 1983. Anatomical Data for Analyzing Human Motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 169-178.
- Pratt, J.E., Krupp, B.T., Morse, C.J., Collins, S.H., 2004. The RoboKnee: an exoskeleton for enhancing strength and endurance during walking. *IEEE International Conference on Robotics Automation (ICRA)*, 2430–2435.
- ReWalk, 2017. ReWalk 6.0 – Home. [Online]. Available: <http://rewalk.com/>.
- Rex, 2017. Rex Bionics - Step into the future. [Online]. Available: <https://www.rexbionics.com/>.
- Riener, R., Rabuffetti, M., Frigo, C., 2002. Stair ascent and descent at different inclinations. *Gait & Posture*, 15(1), 32–44.
- Sasaki, D., Noritsugu, T., Takaiwa, M., 2005. Development of active support splint driven by pneumatic soft actuator (ASSIST). *IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA)*, 520–525.
- Shamaei, K., Cenciari, M., Adams, A.A., Gregorczyk, K.N., Schiffman, J.M., Dollar, A.M., 2014. Design and evaluation of a quasi-passive knee exoskeleton for investigation of motor adaptation in lower extremity joints. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(6), 1809–1821.
- Shepherd M.K., Rouse, E.J., 2017. Design and Validation of a Torque-Controllable Knee Exoskeleton for Sit-to-Stand Assistance. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 22(4), 1695-1704.
- Sulzer, J.S., Roiz, R.A., Peshkin, M.A., Patton, J.L., 2009. A Highly Backdrivable, Lightweight Knee Actuator for Investigating Gait in Stroke. *IEEE Transactions on Robotics*, 25(3), 539-548.
- van Dijk, W., van der Kooij, H., 2014. XPED2: A Passive Exoskeleton with Artificial Tendons. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21(4), 56-61.

- van der Kooij, H., Veneman, J., Ekkelenkamp, R., 2006. Design of a compliantly actuated exo-skeleton for an impedance-controlled gait trainer robot. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS)*, 189-193.
- Wang, D., Lee, K.M., Ji, J., 2016. A Passive Gait-Based Weight-Support Lower Extremity Exoskeleton with Compliant Joints. *IEEE Transactions on Robotics*, 32(4), 933-942.
- Wilken, J. M., Sinitski, E.H., and Bagg, E.A., 2011. The Role of Lower Extremity Joint Powers in Successful Stair Ambulation. *Gait and Posture*, 34(1), 142-144.
- Winter, D.A., 1991. *The Biomechanics and Motor Control of Human Gait*. University of Waterloo Press.
- Wong, C.K., Bishop, L., Stein, J., 2012. A wearable robotic knee orthosis for gait training. *Prosthetics and Orthotics International*, 36(1), 113-120.
- Wretenberg, P., Arborelius, U.P., 1994. Power and work produced in different leg muscle groups when rising from a chair. *European Journal of Applied Physiology*, 68, 413-417.
- Wu, J., Gao, J., Song, R., Li, R., Li, Y., 2016. The design and control of a 3DOF lower limb rehabilitation robot. *Mechatronics*, 33, 13-22.
- Zissimopoulos, A., Fatone, S., and Gard, S. A., 2007. Biomechanical and Energetic Effects of a Stance-Control Orthotic Knee Joint. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 44(4), 503.



DOLU ETKİSİNE MARUZ KALAN ÇELİK ÇATI PANELLERİNİN GÖÇÜK DİRENCİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Eren UZ*, Mohammad Dawood SIZAR

Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Doğal Dolu,
Polivinil Alkol (PVA),
Yapay Dolu,
Dinamik Etki,
Gerçekçi Dolu Hasarı.*

Öz

Doluya dayanıklı çatı malzemeler üzerinde yapılan araştırmalar, genellikle sigorta şirketleri, teknik ve profesyonel kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Dolu hasarları ile ilgili çalışmalarda, genellikle çelik bilyeler ya da indentörler göçük testleri için kullanılmaktadır. Bir göçük başlatmak için gereken kuvvet ve enerjiyi öngören ampirik formüller son yıllarda verilmiştir. Ancak bu tür testlerin sonuçları ile doğal dolunun çarpması sonucu oluşan darbe etkisi arasında kanıtlanmış bir bağlantı yoktur. Bu çalışma, iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak, yapay dolunun gerilme direncini arttırmak için, demineralize su içerisine polivinil alkol (PVA), sıvı nitrojen ve pamuk gibi katkı maddelerinin eklenmesi ile doğal dolunun hasara neden olan özelliklerini bire bir simüle etmeyi amaçlamaktadır. Çeşitli kalınlığa sahip çatı paneller üzerinde 22 - 43 m/s arasında değişen hızlarda dört farklı yöntem ile yapılan yapay doluların dinamik etkileri değerlendirilmektedir. %12 PVA (Polivinil alkol) yapıştırıcı kullanılarak veya sıvı nitrojen ile üretilen yapay dolular doğal dolu gibi terminal hızlarında çelik plakaya çarptıktan sonra parçalanmadan kalmaktadır. Bu yöntemle üretilen dolular, doğal dolunun yoğunluğunu, homojenliğini ve yüzey sürtünme gibi en önemli karakteristik özelliklerini kapsamaktadır. Son olarak bu çalışmada amaçlanan hedef dinamik darbe etkisinden sonra çelik panellerde oluşan göçük derinliklerini ve göçük çapları arasındaki korelasyonu incelemektir. Sonuçlar, göçük derinliğinin levha kalınlığı, çarpma hızı ve dolu çapı ile doğrusal orantılı olmasına rağmen, göçük çapının sadece dolu çapı arttıkça arttığını göstermektedir. Plakadaki göçük çapının plaka kalınlığından etkilenmediği görülmektedir.

ANALYZING DENT RESISTANCE OF STEEL ROOF PANELS SUBJECTED TO HAIL IMPACTS

Keywords

*Natural Hailstone,
Polyvinyl Alcohol,
Artificial Hailstone,
Dynamic Impact,
Hail Damage.*

Abstract

Research on hail-resistant roofing materials is mostly conducted by insurance companies, technical and professional organizations. Steel balls or indenters in the studies concerning hail damage are generally used for dent tests. Empirical formulas predicting the force and energy required to initiate a dent have been given in current years. However, there is no proven correlation between the results of such tests and the impact of natural hail. This study involves two parts. The study firstly aims to simulate the exact damaging properties of natural hail by adding additives such as polyvinyl alcohol (PVA), liquid nitrogen and cotton into demineralized water to increase the tensile strength of artificial hail. The dynamic effects of four different artificial hailstone developed in this study are evaluated at velocities ranging from 22 to 43 m/s on roof panels having various thicknesses. The artificial hailstones produced using 12% PVA (Polyvinyl alcohol) adhesive or liquid nitrogen remain intact after hitting the steel plate at terminal velocities like the same manner of natural hail. The hailstones produced by this method cover the most important characteristic features of natural hail such as density, homogeneity, and surface friction. Finally, the aim of this study is to examine the correlation between the dent depth and dent diameter on the roof panels after the dynamic impact effect of the artificial hail. The results show that although the dent depth is linearly proportional to the plate thickness, impact velocity and the diameter of the hail, the dent diameter only increases as hail diameter increases. It is seen that the dent diameter in the plate is not affected by the plate thickness.

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmet.uz@adu.edu.tr, +90 (256) 213 75 03 - 3736

Alıntı / Cite

Uz, M.E., Sizar, M.D.(2021). Dolu Etkisine Maruz Kalan Çelik Çatı Panellerinin Göçük Direncinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 1015-1029.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.E. Uz, 0000-0002-4466-5536

M.D. Sizar, 0000-0003-3165-2346

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 14.06.2021

Revizyon Tarihi / Revision Date 25.08.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date 26.08.2021

Yayın Tarihi / Published Date 21.09.2021

1.Giriş (Introduction)

Dolu fırtınaları ile meydana gelen hasarlar, deprem ve rüzgâr hasarları ile aynı seviyede olabilmektedir. Ancak, dolu fırtınalarından kaynaklanan ölüm riski çok az olduğundan, birçok ülkede ve Türkiye Ulusal İnşaat Yönetmeliğinde dolu yükleri için herhangi bir tasarım önerisi bulunmamaktadır. 14 Nisan 1999'da Avustralya'nın Sydney kentinin güneyinde öğleden sonra meydana gelen bir dolu fırtınası, şehrin merkezi ticaret bölgesi dâhil olmak üzere birçok bölgede büyük hasarlara yol açmıştır (Henri, 1999; Schuster and Blong, 2004). Sigortalı hasar 1.7 milyar dolar üzerinde ve sigortasız hasar yaklaşık 2.3 milyar dolar olarak belirlenmiştir. 27 Temmuz 2017'de İstanbul'da meydana gelen dolu yağışının sigortalı ve sigortasız hasarı yaklaşık 1 milyar liraya ulaşmıştır (Henri, 1999; Schuster and Blong, 2004). Avustralya'nın Newcastle kentinde 1989 yılında meydana gelen depremde ise sigortalı hasar yaklaşık 1.1 milyar dolar olarak belirtilmiştir (Meteorology, 1999; Schuster et al., 2005). Dolu hasarı, 1967 ve 2003 yılları arasında Avustralya'daki doğal afetlerden kaynaklanan ekonomik kayıpların %34'ünü oluşturmaktadır (Blong, 2004). İklim değişikliğinin etkileriyle birlikte dolu fırtınalarında, can ve mal kayıplarının daha da artacağı tahmin edilmektedir (Basara et al., 2007; Leslie et al., 2008). Avustralya iklim modelleri Güneydoğu kıyısında, 2030 yılında senede 1-2 dolu günü, 2070 yılında ise 4-6 dolu günü şeklinde bir artış tahmin edilmektedir (Suppiah et al., 2007). Türkiye'de yapılan araştırmalarda ülkede yaşanmış (1970-2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirmeye göre 14 doğal afet arasında %7.21 ile en fazla meydana gelen dördüncü doğal afettir (Özşahin, 2013). Dolu hasarı 1995-2004 yılları arasında Antalya bölgesinde beş doğal afet arasında yaklaşık %10 ile en fazla dördüncü, 2002 yılında ise %28.7 ile en fazla birinci doğal afet ve maddi zararı birkaç milyon lira olarak belirlenmiştir (Yılmaz, 2008). Doğal dolunun karakteristik özelliklerini taşıyan yapay dolu üretilebilir için, araştırmacılar geçmişten günümüze kadar bir hayli zorluk çekmişlerdir. Doğal dolu içten dışa donarken, yapay dolu ise dıştan içe doğru donmaktadır. Yapay dolunun çekirdek kısmı donarken içinde hapsolmüş hava kabarcıkları dış katmandan dolayı kaçamaz. Doğal dolunun yapısında hapsolmüş hava kabarcıkları olsa da hava kabarcıklarının homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Yapay doluda hapsolmüş hava kabarcıkları sınırlı bir alanda kaldığından dolayı zayıf bir nokta oluşturmaktadır. Liu, Tatlı su buzunun kırılma dayanıklılığının hem yük oranını hem de sıcaklığı azaltarak arttığını bulmuştur (Liu and Miller, 1979). Sain ve Narasimhan'a göre tane büyüklüğü buz topunun direncini önemli ölçüde etkilemektedir (Sain and Narasimhan, 2011). Crenshaw ve Koontz (2002) büyük dolunun %75'inden fazlasının küresel bir şekle sahip olduğunu bulmuşlardır. Dolu tanesinin ortalama yoğunluğu 910 kg/m³tür (Brimelow et al., 2002; Crenshaw and Koontz, 2002). Bilgisayar simülasyonlarında ve laboratuvar testlerinde kullanılan en yaygın dolu yoğunluğu 846 kg/m³tür. Genel olarak bulut tabakalarındaki hapsolmüş hava nedeniyle doğal dolunun yoğunluğu yapay dolunun yoğunluğundan daha düşüktür. Bu çalışmanın amacı, doğal dolunun karakteristik özelliklerini sağlayabilen yapay dolu üretilebilir için daha geniş kapsamlı bir araştırma yapmaktır. Daha önce yapay dolu üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından kullanılan buz topları, doğal dolunun son hızlarına yakın bir hızda çelik kaplamaya çarptıktan sonra paramparça olurken, doğal dolunun bir kısmı çelik panellere çarptıktan sonra bozulmadan kalmaktadır (Uz et al., 2014; Uz et al., 2017). Tablo 1'de şimdiye kadar yapay dolu üretiminde kullanılan yöntemler verilmektedir. Bu çalışma çelik çatı panellerinde oluşan dolu hasarını araştırmak için öncelikle su ve diğer malzemelerin kombinasyonu ile terminal hızlarında çelik plakaya çarptıktan sonra bozulmadan kalan yapay dolu üretmek için yeni yöntemler geliştirmiştir.

Tablo 1. Şimdiye kadar yapay dolu üretiminde kullanılan yöntemler (Methods used in the production of artificial hail so far)

Araştırmacılar	Yöntemler
Johnson ve Schaffnit (1973); Crenshaw ve Koontz (2002) Flüeler, vd. (2008); McCormick, vd. (1998)	Çelik top ya da başka bir indentör
Laurie (1960)	Karı kalıba sıkıştırma
Geoffrey Pyke (1942)	Su-talaş karışımından buz topu
Moore ve Wilson (1978)	Buzu basınç ile sıkıştırma
Render ve Pan (1995)	Basınçla dökülmüş buz
Swift (2013)	Pamuk lifi ile buz topu
Luong (2014)	Demineralize su
Uz vd.(2017)	PVA'lı Dolu
Yılmaz vd.(2020)	Sıvı nitrojen ile suni dolu yapımı

Bu nedenle, bir çelik panelin çökme direnci, özellikle dinamik darbe etkisinde yapay dolunun çarpma davranışındaki değişkenler daha güvenilir veriler elde edildiğinde, doğru bir şekilde oluşturulabilir. Bu çalışmanın ilk bölümü, gelişmiş bir laboratuvarında gerçekçi bir yapay dolu malzemesinin geliştirilmesine odaklanmıştır çünkü bina bileşenlerini derecelendirme yeteneği simüle edilmiş dolu hasarının doğruluğuna bağlıdır. Bu çalışmada, dört farklı dolu üretim yöntemi incelenmiştir. Doğal dolunun farklı katmanlarda oluşumu, doğal dolunun karakteristik özelliklerini taşıyan yapay dolu tanelerinin oluşturulmasında bir zorluk oluşturmaktadır. Yapay dolu tanelerinin gerilme mukavemetini arttırmak için polivinil alkol (PVA) yapıştırıcı ve sıvı nitrojen eklenmesi, doğal dolunun diğer fiziksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmeden araştırılmıştır. Altı farklı sac kalınlığı (0.35, 0.45, 0.60, 0.70, 0.80 ve 1 mm) ve çelik kalite sınıfı G300, belirlenen çarpma hızlarında yedi farklı boyutta yapay dolu darbe etkisinin altında test edilmektedir. Testler şu şekilde etiketlenir: akma gerilimi (MPa), kalınlık (mm), dolunun çapı (mm), basınç (psi) ve test numarası. Farklı çelik türleri kısıtlı imkanlardan dolayı elde edilememiştir. Daha sonraki çalışmalarda farklı çelik türleri ile de atışlar gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada sadece düz panel kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Yukarıda Tablo 1'de belirtilen ve literatürde kullanılan yapay dolu taneleri, çelik indentörler, çelik bilyeler, kardan yapılmış buz, su-talaş karışımından buz topu, yekpare buz, buzlu basınç ile sıkıştırma yöntemi, pamuk lifi ile buz topu, demineralize su enjekte edilmiş pinpon topu, PVA bazlı buz ve sıvı nitrojen ile suni doludan oluşmaktadır. Swift (2013), dolunun çarpma esnasında çatlamalarını önlemek ve buz toplarının sünekliğini arttırmak için pamuk lifi kullanmıştır. Pamuklu buz toplarının saf buz toplarından önemli ölçüde daha esnek olduğu bulunmuştur. Yarı statik (gerilme oranı kontrolü) metodunu kullanılarak, saf buz topları pamuklu buz toplarından çok daha erken çatladığını bulmuştur (Moore and Wilson, 1978; Luong, 2014). Bununla birlikte pamuk karışımı buz toplarının, doğal doluya göre homojen olmama ve yüzey sürtünmesinin her yerde aynı olmaması gibi sorunları vardır. Pamuklu buz topları, İkinci Dünya Savaşı sırasında Geoffrey Pyke tarafından geliştirilen Pykrete'e benzer bir konsept kullanmıştır. Pykrete, son derece yavaş bir erime hızı veren ve %14 tahta lifi veya talaş içeren bir buz türüdür. ASTM D3746 (Uz et al., 2017), çatı sistemlerinin doluya karşı darbe direncini, çatı kaplama numunesine 25 mm çaplı yarı küresel başlıklı 2.27 kg'lık bir çelik mermiyi havadan serbest bırakarak ölçmektedir. Çelik mermi, 1350 mm yükseklikten bırakılır ve 30 J'lük bir darbe enerjisi ile çarpmaktadır. Hasar değerlendirilmesi görsel incelemeye dayanmaktadır. ANSI/FM (Uz et al., 2017), 31.8, 38.1, 44.5 ve 50.8 mm çapında küresel buz topları kullanarak çatı malzemelerinin darbe direncini ölçmektedir. Buz topları, belirlenen hedefin kinetik enerjisinden % 10'dan daha az bir miktar daha fazla bir kinetik enerjinin oluşmasına sebep olacak şekilde hareket etmektedir. Dolu hasarını değerlendirmek için bir parametre olarak kinetik enerjinin kullanılması uygun bir araştırmadan yoksundur ve dolu kütlesi ile dolu tanesinin hızının karesi arasında orantılı bir ilişki olduğunu varsayar ki bu bir dolu fırtınasındaki doğal dolu taneleri için doğru değildir. Ayrıca, test örneğine aktarılan enerji ve kaybedilen enerji ölçülmez veya tahmin edilmez (Crenshaw and Koontz, 2002). Mevcut standartlardan kaynaklanan değerlendirme, hasara neden olan dolu tanelerinin özelliklerini simüle edemedikleri için güvenilir sonuçlar vermemektedir. Doğal dolu taneleri ile çelik ve buz topları gibi standart mermiler arasındaki aşırı farklılıklar, bu alandaki eksikliği gidermek için titiz bir araştırmayı gerektirmektedir. Bir çelik bilyenin geri sıçrama katsayısı, bir dolu tanesinden farklı olması muhtemeldir ve etkilenen çatı kaplama malzemeleri üzerindeki göçük etkileri arasında net bir ilişki geliştirilemez. Buz topları, dondurma yöntemine, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak çeşitli mekanik özelliklere sahiptir. Aynı yöntemle yapılan buz topları bile insan hatası nedeniyle birbirinden farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan mevcut yapay dolu tanelerinin karşılaştırmaları üç farklı standart için Tablo 2'de verilmiştir.

Tüm standartlarda yapay doluların bütünlüğünün önemini belirtmek için herhangi bir bilgi verilmemekle birlikte, mevcut çalışmanın deneysel ekipmanları yukarıda belirtilen standartlar ile kurulumu başarıyla yönetmektedir. Her üç standartta da, test edilen bir numune, darbenin neden olduğu görünür bir çatlama veya kırılma yoksa çatı kaplama malzemelerinin dolu çarpma direnci kriterini geçmektedir, ancak araştırmalar sağlam buz kürelerinin daha ciddi hasara neden olduğunu göstermiştir (Moore and Wilson, 1978; Luong, 2014).

Tablo 2. Bu çalışmada üretilen yapay dolunun üç farklı standart ile karşılaştırılması (Comparison of the artificial hail produced in this study with three different standards)

Standartlar	Tür	Darbe Enerjisi(J)	Kütle (g)	Çap (mm)	Mesafe (mm)
ASTM D-3746	Çelik silindir	22	2770	50	1355
FM 4473	Buz topu	11.6	16.25	38.1	<1500
		20.9	42.1	44.5	
		35.5	62.9	50.8	
UL 2218	Çelik top	9.8	218	38.1	<1500
		18.3	358	44.5	
		31.2	521	50.8	
Bu çalışma	%12 PVA'lı yapay dolu	10.0	27.8	38	1000
		19.9	45.9	45	
		32.0	64.2	50	
	Azotlu dolu	22.7	53.1	46	
		22.8	54.2	47	
		23.4	56.5	48	
		25.3	61.2	49	
	Pamuklu dolu	22	45.1	45	
	Saf dolu	12	44.9	45	

2.1. Gerçekçi bir dolu tanesi için kriterler (Criteria for a Realistic Hailstone)

Bu çalışmada, dolu tanelerini simüle eden gerçekçi hasarları temsil eden birkaç karakteristik özellik tanımlanarak beş kriter belirlenmiştir. İlk olarak, üretilen yapay dolu kütlelerinin büyük çoğunluğu buzdan olmalıdır. İkinci olarak, çelik panel üzerinde düzgün bir göçük oluşturması için dolu tanesinin karakteristik özellikleri tanenin her yerinde eşit olmalıdır. Diğer bir kriter ise, yapay dolu tanesinin doğal dolu tanelerinde görülen yüzey erime davranışını göstermesidir, bu da yüzey sürtünmesini etkileyen yüzeyler arasında çok küçük bir değere düşürür. Dördüncüsü, doğal dolu tanelerinde görülen katmanlı yapıyı simüle etmektir. Son olarak en önemli kriter ise, üretilen yapay dolu tanelerinin hedeflenen limit hızda çelik plakaya çarptıktan sonra bütünlüğünü korumasıdır, çünkü küçük parçalara bölünen dolular kırılma sırasında darbe enerjisi dağılacak ve böylece azalan enerji çelik panelde hedeflenen göçüğü oluşturamayacaktır.

2.2. Sağlam Yapay Dolu Yapma Yöntemleri (Methods of Making Robust Artificial Hailstones)

Test şemasında, çeşitli çaplarda yapay dolu üretmek için Şekil 1'deki silikon kalıplar kullanılmaktadır. En yaygın boyutlar sırasıyla 25, 28, 33, 38, 45 ve 50 mm'dir. Tüm dolu taneleri küresel kalıplarda monolitik (yekpare) olarak dökülür ve en az 6 saat dondurulur. Dolu tanelerinin donması için izin verilen minimum süre, yeterli süre sağlamak için Rhymer'in (2012) bulgusuna dayanmaktadır.



Şekil 1. Yapay dolu üretiminde kullanılan kalıplar (Molds used in the production of artificial hail)

Numunenin tamamen dondurulması için kalıptan çıkarma genellikle 24 saat sonra gerçekleşir. Buz toplarını kalıptan çıkarıldıktan sonra kütle kaybına uğramaması için bir haftadan daha fazla donmaya maruz kalmamalıdır. Bu çalışmadaki bulgulara göre doluların boyutu arttıkça erime oranı azalmıştır. Ayrıca erime hızı zamanla artmıştır. Bu nedenle, erimeyi azaltmak ve sonuçların doğruluğunu korumak için dolu tanelerinin testten önce ortam sıcaklığında 2 dakikadan fazla kalmaması önerilir. Dinamik dolu darbe deneyleri, bu öneriyi

göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Dolu hasarı üzerine yapılan çoğu araştırma, Tablo 3'te gösterildiği gibi, Laurie (1960) tarafından bulunan terminal hız değerlerini benimsemektedirler.

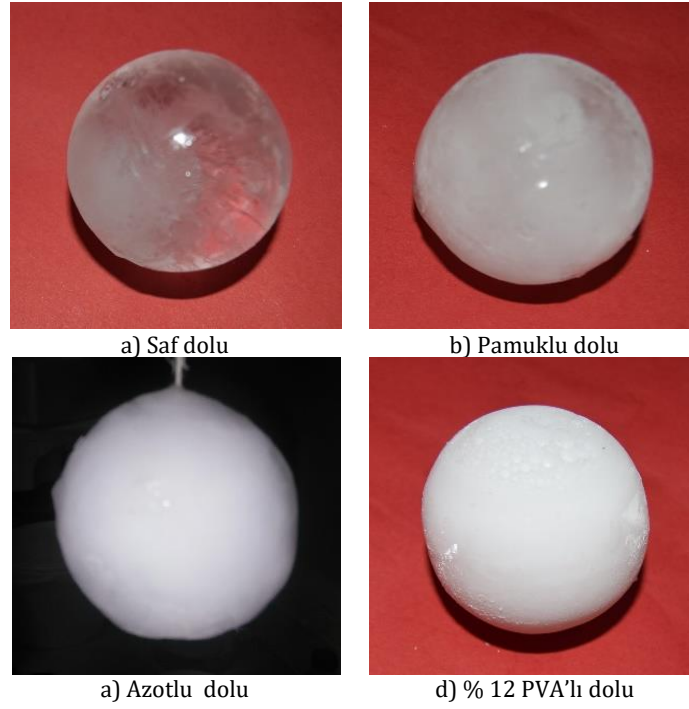
Tablo 3. Laurie (1960) tarafından belirlenen farklı çaplardaki doluların terminal hızları (Terminal velocities determined by Laurie (1960) for hailstones having different diameters)

Çap (mm)	Terminal hızı (m/s)	Yaklaşık darbe enerjisi (J)
25	22.3	<1.4
32	25.0	5.4
38	27.4	10.9
45	29.6	19.0

Bu çalışmada, yapay dolu üretmek için bir dizi yöntem araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda optimum kombinasyonları elde etmek için Şekil 2'de PVA'lı, sıvı nitrojenli, pamuklu ve demineralize su bazlı farklı karışımları incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada her kombinasyon için en iyi sonuçları verebilecek dört farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler, saf su (Demineralize su) ile yapılan buz topu, % 1 pamuk + %99 saf su, sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su ve son olarak % 12 PVA eklenmiş buz topu üretilmiştir. Bu dört yöntem ile üretilen yapay dolu tanesi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 4, eritme işlemi gerçekleştirildikten sonra yapay dolu tanelerinin içindeki % 12 PVA malzemesinin görünümünü göstermektedir. İlgili özelliğin davranışı bir lastik görevi görür. Bu özellik, bütünlüğü korumak için yapay dolunun gerilme mukavemetinde bir artış sağlamaktır. Tablo 4'te verilen aşamalar, bu dört tür yapay dolunun üretilmesindeki adımları sunmaktadır. Tüm durumlarda, dondurucu sıcaklığı -12 °C'de kalmıştır. Kriterler ikisi olan yüzey sürtünme ve pürüzlülük ile homojenlik Şekil 3 de açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2. Yapay dolu yapımın kullanılan materyaller (Materials used in artificial hail production)



Şekil 3. Bu çalışmada kullanılan tipik yapay dolular (Typical artificial hailstones used in this study)



Şekil 4. Erime ilerledikten sonra % 12 PVA malzeme içeren özel bir yapay dolu tanesi (View of an artificial hailstone containing 12% PVA material after melting progresses)

Tablo 4. Her yöntem için yapay malzemeler ve farklı karışımlar (Artificial materials and different ingredients for each method)

Özellikleri	Dozaj Oranı	Uygulama
Demineralize su	% 100 demineralize su	* Kalıba demineralize su koyunmalı. * Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca % 5'ini boş bırakılmalı.
Pamuk + Demineralize su	% 1 pamuk + % 99 demineralize su	* Gerekli pamuk (%1) kalıba düzgün şekilde yerleştirilmeli. * % 99 demineralize su eklenmeli. * Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca % 5'ini boş bırakılmalı.
Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su	Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su + misina	* Misina ilk suya daldırılmalı daha sonra sıvı nitrojene daldırılmalı. * Bu işlem buz topunun istenilen çapa ulaşana kadar tekrarlanmalı. * Tam küre şeklini alabilmesi için yüzeydeki çıkıntılar maket bıçağı ile alınmalı.
PVA + demineralize su	% 12 PVA +% 88 demineralize su	* gerekli PVA (% 12). * Demineralize su ile en az 5 dakika karıştırılmalı. * Genleşmesi için toplam hacmin yalnızca % 5'ini boş bırakılmalı.

2.3. Mevcut Yapay Dolunun Doğrulanması (Validation of Present Artificial Hailstones)

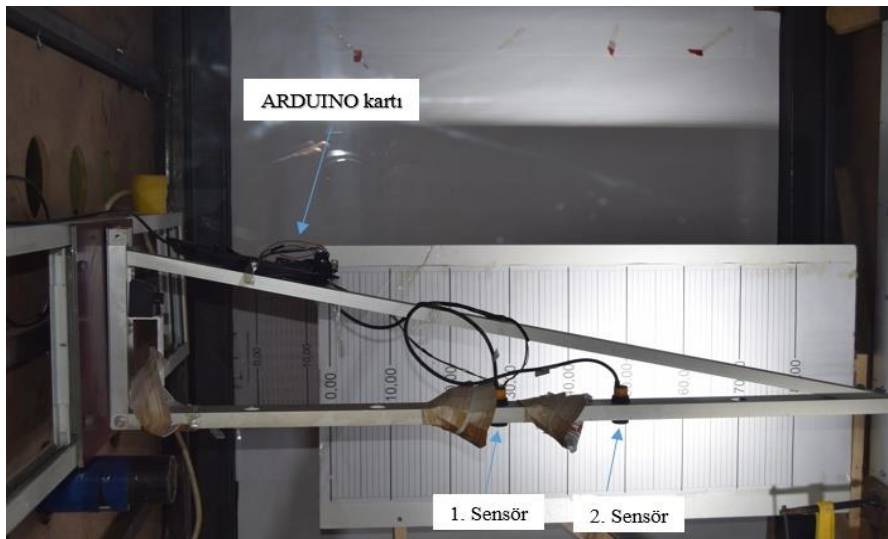
Ramsay (2015), 28.0 ve 30.7 m/s hızlarda 0.35 mm kalınlığındaki G550 çelik sac üzerinde saf buz toplarının deneysel darbe testlerini gerçekleştirmiştir. Ramsay (2015), daha ince çelik sacların üzerinde, darbeden sonra bozulmadan kalan saf buz toplarına yol açabileceğine işaret etmelerine rağmen, aslında sadece 50.8 mm çapında iki saf buz topu başarılı bir şekilde sağlam kalmıştır. Bu testler için göçük derinlik sonuçları sırasıyla 3.0 ve 4.1 mm olarak belirtmiştir. Aynı tip çelik sac (0.35 mm kalınlığında G300 çelik sac) üzerinde 50.8 mm çapında mevcut yapay doluların 29.2 ve 30.7 m/s'de vurulan göçük derinlikleri, sırasıyla 3.08 ve 4.15 mm olan Ramsay'ın (2015) elde ettikleri sonuçlara benzer sonuç alınmıştır. Bu nedenle, darbeden sonra bozulmadan kalan saf buz toplarının göçük derinlikleri, mevcut yapay dolu tanelerinden belirgin şekilde farklı bulgulara yol açmamıştır.

2.4. Dinamik Dolu Darbe Testi (Dynamic Hail Impact Experiment)

Dinamik dolu darbe testi, dolu tanelerinin, tipik konut çelik çatısı ile tutarlı bir şekilde sabitlenmiş çelik numunelere yatay olarak itilmesini sağlar. Dolu tanesinin kütlesi, boyutu, çarpma hızı buna karşılık gelen göçük derinliği ve göçüğün çapı deneyde kaydedilir. Dikey testlerle karşılaştırıldığında, yatay test, ekipmanın karmaşıklığını, güvenlik tehlikelerini azaltır ve deneylerin kolaylığını artırır. Dolu tanelerinin dikey olarak çelik numunelere doğru itilmesi, doğal dolu etkilerine benzer koşullar oluştursa da, faydaların önemsiz olduğu bulunmuştur (Maguire, 2014). Yatay tahrikli dolu darbe testi Niemeier ve Reynolds (1978), Moore ve Wilson (1978), Chang ve Khetan (1984), Crenshaw ve Koontz (2002), Tippmann (2011) ve Rhymer (2012), tarafından başarıyla uygulanmıştır. Gelecekteki deneysel testlere bir alternatif, mevcut deneysel testlere karşı doğrulanmış sayısal simülasyonlardır. Doğrulanmış bir sayısal yöntem sadece daha ekonomik olmakla kalmaz, aynı zamanda dolunun belirli bir yerde kaplamayı etkilemesi garanti edilebildiğinden kontrolü de daha kolaydır. Kural ve Seçer (2010) deki gibi çatı kaplamaların performans üzerindeki etkisi, bu çalışma sayesinde daha sonra kaplamaların dolu etkisine karşı performansları incelenmesine öncülük edecektir.

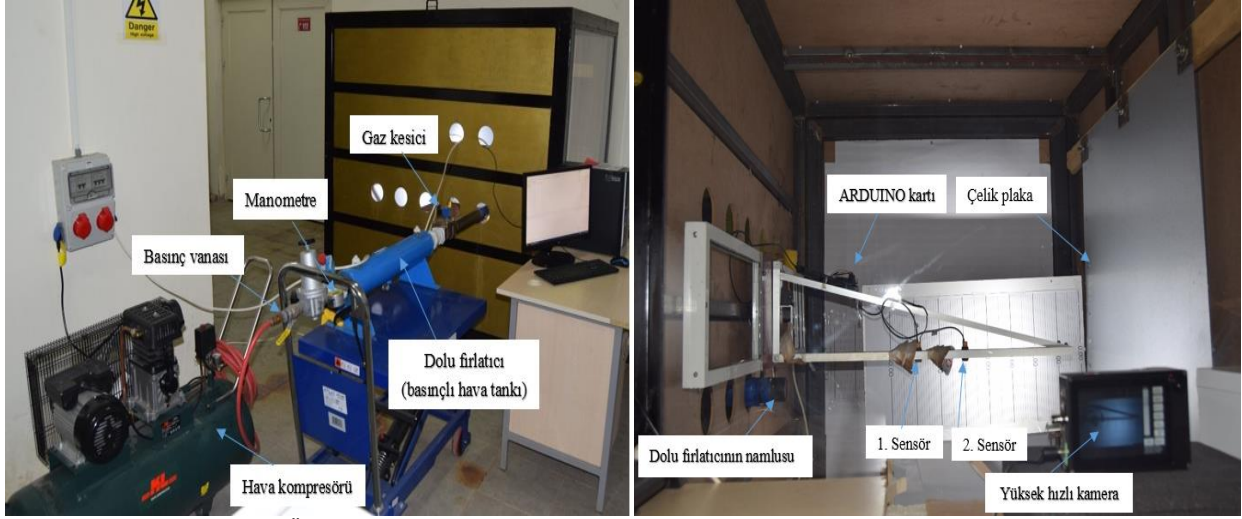
2.5. Amaca Yönelik Ekipman (Purpose-Built Equipment)

Dinamik dolu darbe deneyini gerçekleştirmek için kullanılan ekipman tasarlanmış ve imal edilmiştir (Uz et al., 2014; Uz et al., 2017). Cihaz, diğer malzemelerin yanı sıra bir dolu fırlatıcı, bir dolu tutucu, bir koruyucu ünitesi ve saniyede en az bin kare (1000fps) kayıt alabilen yüksek hızlı bir kameradan oluşmaktadır. Ekipman, doğal koşulların iyi bir şekilde temsil etmesi için amaca uygun olarak üretilmiştir. Dolu fırlatıcıya, basınçlı hava sağlamak için bir hava kompresörü, doluyu fırlatmadan önce belirlenen basıncı depolaması için basınçlı bir hava tankı ve bir çelik boru namlusundan oluşmaktadır. Mermi ile dolu tutucunun arasında yerleştirilen yüksek yoğunluklu bir köpük bloğu, dolunun hızlı hızlanma sırasında doluyu korumaktadır. Çarpma yönüne dik olarak yerleştirilmiş yüksek hızlı bir kamera, dinamik darbe testlerinin hemen öncesinde, çarpma sırasında ve sonrasında yapay dolu tanelerinin durumunu belirlemek için testleri kaydetmektedir. Kameradan elde edilen hızları doğrulamak için, MATLAB aracılığıyla ve ARDUINO kartı ile tasarlanmış sensörler Şekil 5'te gösterildiği gibi koruyucu ünitenin içinde bir çerçeveye monta edilerek hız kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 5. MATLAB aracılığıyla ARDUINO kartı kullanılarak tasarlanmış hız sensörleri (Velocity sensors designed using ARDUINO board via MATLAB)

Dinamik dolu çarpma işlemi, dolu fırlatıcının yanına yerleştirilen hava vanasının açılmasıyla başlamaktadır. Çelik numuneyi koruyucu ünite içindeki monta edilmiş çerçeveye, numuneyi istenilen yükseklik aralığına ayarlayarak yerleştirdikten sonra koruyucu ünitenin kapısı kapatılmaktadır. Yapay dolunun kütlesi ve boyutları, dolu fırlatıcı namlusuna yerleştirilmeden önce ölçülerek kaydedilmektedir. Fırlatıcının (hava tankı) girişi, hava kompresörüne takılarak istenen basınçla doldurulmaktadır. İstenilen basınç, yapay dolunun terminal hızına ulaşılarak belirlenmektedir. Hız Şekil 6' da verilen yüksek hızlı kamera kaydı ile hesaplanmaktadır. Dolu fırlatıcı tamamen basınçsız hale getirildikten sonra, çelik plakanın göçük derinliği ve çapları ile ilgili gerekli parametreler, mümkün olduğunca doğru bir şekilde ölçülmektedir. Ölçülen göçük çapları ve göçük derinliği Tablo 6' da verilmektedir. Şekil 6 de görüldüğü gibi dolu fırlatıcının namlusu kafes sistemindeki deliklerden belirli bir mesafeye getirilerek yerleştirilmiştir. Panel ile namlu arasında dolunun eğik atışından çekinmek için mesafe 1 m'ye düşürülmüştür.



Şekil 6. ADÜ laboratuvarı deney kurulumu (Experiment set up in the laboratory at ADU)

Dolunun daha namlu içinde hava basıncından dolayı kırılmaları maruz kalmaması adına, dolular kendi çaplarına göre hazırlanmış namlu çapı büyüklüğünde köpüklere yerleştirilmiş böylelikle on kırılmaların önüne geçilmiştir.

2.6. Darbe Hızının Ölçümü (Impact Velocity Measurement)

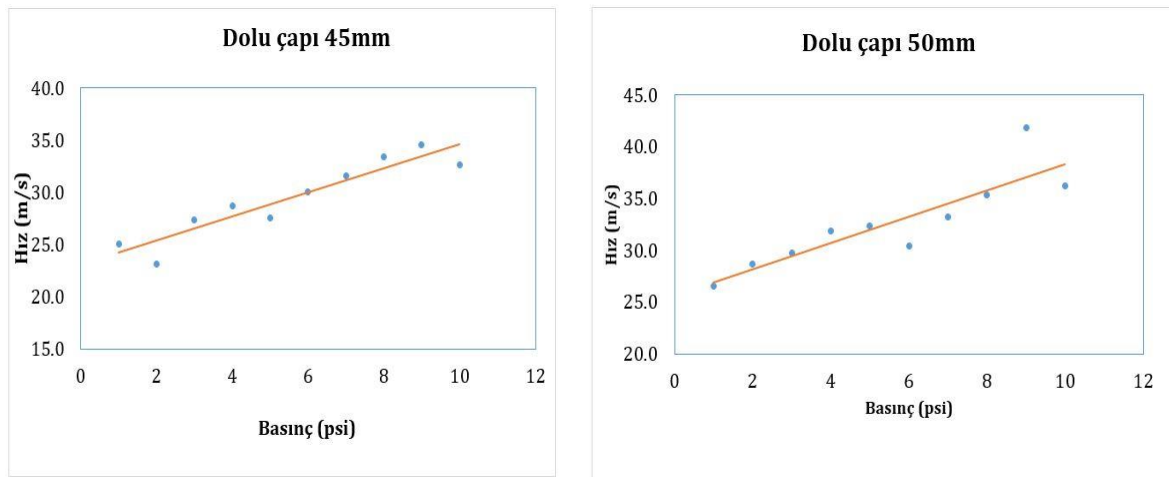
Yapay dolunun çarpma hızı, yüksek hızlı kamera ve arka planda çizgili beyaz tahta kullanılarak ölçülmüştür. Beyaz tahtanın uzunluğu 800 mm'dir ve 80 eşit parçaya bölünmüştür. Beyaz tahta, geri tepme hızını da ölçmek için çelik numunenin yanına yerleştirilmektedir. Saniyede 2800 kare hızı, yeterli ışığa sahip yüksek hızlı bir kamera ile elde edilebilir. Bu kadar yüksek bir kare hızında kayıt yapmak, önemli miktarda bellek alır ve böylece pratik kayıt süresini sınırlar. Yapay dolunun uçuşunu yakalamak ve gelecekteki kayıtlar için yeterli hafızayı korumak için saniyede 1502 kare hızı kullanılmıştır. Bu yöntemle hızın ölçülmesindeki hata %1.14'tür, bu da kabul edilebilir bir hata payıdır. Şekil 7, darbeden hemen önce ve darbeden hemen sonra yüksek hızlı kamera tarafından kaydedilen iki görüntüyü göstermektedir. Şekil 8, bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin atış basıncı ile hızı arasındaki ilişki, göstermektedir. Bu bağlantı, iki farklı boyuttaki yapay doluda hedef çarpma hızları için hava basınçlarını ayarlamaya yönelik bir dizi denemeden elde edilmiştir. Kalıplar benzer boyutlara sahip olduğundan, her boyut için yapay dolu kütlesinin yakın bir aralıkta olması beklenmektedir.



a) Darbeden hemen önce

b) Darbeden hemen sonra

Şekil 7. 38 mm çapında % 12 PVA'lı dolunun, 43.5 psi'lik basınç etkisindeki görüntüsü (View of 38 mm diameter hailstone with 12% PVA under 43.5 psi pressure)



Şekil 8. Gaz tabancası basıncı ile çarpma hızının arasındaki ilişki (Correlation between gas gun pressure and impact velocity)

Sensor hızı ile kamera hızı arasındaki az miktardaki farkların birkaç sebebi olabilmektedir. Dolu atışı sırasında dolunun namludan çıkışı sırasında, hava basıncındaki içindeki su parçacıklarının hassas sensorlar tarafından etkilenmesi ile meydana gelen okuma hataları ile kamera deki kare hızına bağlı olarak dolu ile cetvel izazı yapılırken mesafe okuma hatalarından kaynaklanabilmektedir.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada % 12 PVA içeren 180 adet yapay dolu, Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su ile 35 adet yapay dolu, % 1 pamuk + % 99 demineralize su içeren 7 adet yapay dolu ve %100 demineralize su ile 7 saf buz topu ile test yapılmıştır. PVA'lı, pamuklu ve saf sudan üretilen yapay dolular silikon kalıpta yapılmaktadır. Sıvı nitrojen ile üretilen dolular elle yapıldığından dolayı, dolu çapları diğer üç yöntemle göre farklı farklı olabilmektedir. Bu çalışmada 38, 45, 46, 47, 48, 49 ve 50 mm'lik yedi farklı boyut kullanılmıştır. Dolu fırlatıcı tarafından uygulanan basınç 35 ile 50 psi arasında değişmekte ve yaklaşık 22-49.3 m/s'lik bir hız aralığı ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışma Şekil 8'da benzer darbe hızı ve basınç grafiğini kullanarak buz topunun her boyutu için darbe hızını tahmin etmektedir. Tablo 5'te yapılan testlerin malzeme bileşenlerini, boyutlarını, uygulanan basınç ve test sayısını listelemektedir. Tablo 6' da mevcut çalışmada üretilen ve test edilen yapay dolu tanelerinin özelliklerini niteliksel olarak değerlendirmektedir. Saf su ile üretilen yapay doluların neredeyse tamamı çelik plakaya çarptıktan sonra parçalanmıştır. Demineralize su ile yapılan dolular Şekil 3'te görüldüğü gibi şeffaf ve çabuk kırılan bir yapıya sahiptir. %1 pamuk +% 99 saf su ile yapılan yapay dolu taneleri darbeden sonra çoğu ezildi (kırıldı ama pamuk lifleri parçalanmayı önledi) ve çarpma noktasında kütle kaybı meydana gelmiştir. Sıvı nitrojen ile yapılan 35 yapay dolunun 9 tanesi darbe testinden sonra sağlam kalabilmiştir. Bu yöntemle üretilen yapay doluların en önemli özelliği doğal dolular gibi içten dışa donmasıdır. %12 PVA içeren yapay dolular dinamik darbe testinden sonra %90'ından fazlası bütünlüklerini korumuştur. Kriterlerden çarpışmadan sonraki bütünlük ve yoğunluk Tablo 6' da görülmektedir.

ASTM: F320-10 (Uz et al., 2017) tarafından önerilen %12 pamuklu buz topu, %12 PVA'lı yapay dolunun aksine, pamuk lifleri suda eşit olarak dağılmadığı için homojen olmama sorunları vardır. Pamuk lifleri buz topunun kırılma mukavemetini artırmasına rağmen, pamuk liflerini çevreleyen buz parçacıkları çarpma esnasında kırılmaktadır. %12 PVA içeren buz topları, bölüm 2.1'de tanımlanan kriterlerin tamamına ulaşmaktadır. Bu yöntemle üretilen dolu taneleri terminal hızından sonra bütünlüklerini korumuştur. Ayrıca bu yöntemle üretilen yapay dolu taneleri doğal dolunun diğer karakteristik özelliklerine çok yakındır.

%12 PVA kullanımının diğer bir avantajı ise, PVA'nın suda homojen çözünebilmesi ve böylece yapay doluların tek tip özelliklere sahip olabilmesidir. Sonuç olarak, bu metod ile üretilen yapay doluların darbe dayanımı, doğal dolu tanelerine daha yakın sonuçlar vermiştir. Tablo 6'daki deneysel sonuçlar, %12 PVA'lı yapay doluların G300 çelik kalite sınıfındaki 0.80 mm kalınlığa kadar levhalar üzerindeki çarpma testlerinde %90'ın üzerinde bozulmadan kaldığını göstermektedir. Çelik plakaların kalınlığı 0.80 mm'nin üzerine çıktıkça, mevcut doluların neredeyse %40 çarpma sırasında kırılmıştır. Kalınlığı 1 mm'den daha fazla olan levhalar için, darbe testlerinden sonra sadece %15'i kırılmadan kalabilmiştir. Mevcut yapay dolu tanesinin kırılmalarının en büyük sebeplerinden biri de deneysel testler sırasında, doğal dolunun terminal hızından daha büyük hızlarla çelik plakaya çaptırılmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 9, dinamik darbe testinden sonra elde edilen göçük derinlikleri ile göçük çapları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çelik panel üzerinde oluşan göçük derinlikleri arttıkça göçük çapları doğrusal olarak artmaktadır. Ayrıca deneysel sonuçlara göre çelik panel üzerinde oluşan göçük derinliği ile dent çapı çelik panelin kalınlığı, darbe hızı ve dolu çapına bağlı olarak doğrusal artmışını gözlemlemiştir.

Tablo 5. Bu çalışmada test edilen yapay doluların malzeme özelliği, boyutları, uygulanan basınç ve test sayısı (Material properties, dimensions, applied pressure and number of tests of artificial hail tested in this study)

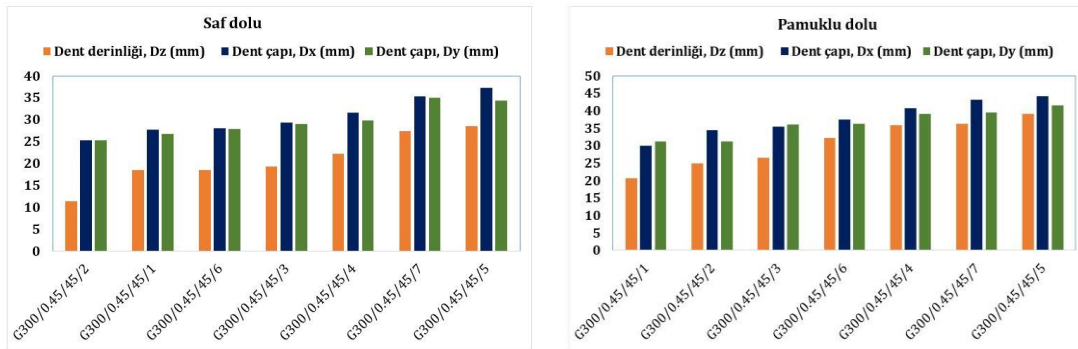
Malzeme	Çap (mm)	Basınç (psi)	Test Sayısı
% 12 PVA +% 88 demineralize su	50	43.5	8
		42.1	12
		40.6	20
		36.3	2
		37.7	9
		39.2	9
	45	47.9	2
		45	22
		43.5	21
		42.1	2
		49.3	1
		46.4	12
	38	45	27
		43.5	20
		42.1	9
46.4		3	
47.9		1	
Sıvı nitrojen + 4 °C'lik demineralize su + misina	46	47.9	5
	47	46.4	4
		47.9	6
	48	46.4	3
		47.9	7
	49	45	2
47.9		6	
% 1 pamuk +% 99 Demineralize su	45	43.5	2
		45.0	2
		46.4	1
		47.9	2
% 100 demineralize su	45	39.2	1
		40.6	1
		43.5	1
		45.0	1
		46.4	2
		47.9	1

Tablo 6. Bu çalışmada test edilen yapay dolu tanelerinin niteliksel özelliklerini karşılaştırması (Comparison of the qualitative properties of the artificial hailstones tested in this study)

Özelliği	Çelik sınıfı, Plaka kalınlığı (mm), Dolunun çapı (mm), Atış sayısı	Dolunun kütlesi (g)	Dolunun yoğunluğu (g/cm ³)	Sensör hızı (m/s)	Kamera hızı (m/s)	Dentin çapı, Dx (mm)	Dentin çapı, Dy (mm)	Dentin derinliği, Dz (mm)	Dolunun darbeden sonraki durumu
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.45/38/1	27	970.8	22.92	25.05	27.66	31.06	1.93	Sağlam
	G300/0.45/38/2	28.9	1051.1	35.89	32.88	42.8	39.2	3.02	Sağlam
	G300/0.45/38/3	30.7	1048.5	33.75	28.9	35.75	36.68	2.85	Sağlam
	G300/0.45/38/4	28.4	1049.9	28.62	27.33	32.5	36.17	2.32	Sağlam
	G300/0.45/38/5	27.5	1011.5	26.32	24.59	27.5	26.62	1.7	Sağlam
	G300/0.45/38/6	30.8	1053.9	25.95	25.05	28.6	29.07	2.09	Sağlam
	G300/0.45/38/7	27.2	968.2	23.67	21.47	24.79	26.31	1.71	Sağlam
	G300/0.45/38/8	28	1016.2	26.81	25.05	28.61	28.35	2.14	Sağlam
	G300/0.45/38/9	27.3	968.4	28.43	28.9	30.79	32.66	2.49	Sağlam
	G300/0.45/38/10	27.3	979	28.25	28.55	30.23	31.75	2.07	Sağlam
	G300/0.45/45/1	46.2	962.7	27.86	31.56	37.54	36.59	3.45	Sağlam
	G300/0.45/45/2	45	973.5	28.88	30.06	33.07	35.23	2.95	Sağlam
	G300/0.45/45/3	46.8	983.3	26.37	26.3	33.99	35.39	3.01	Sağlam
	G300/0.45/45/4	46.4	961.3	26.05	28.69	33.48	33.45	2.94	Sağlam
%12 PVA'lı Dolu	G300/0.45/45/5	47.4	947.9	30.33	30.06	34.69	34.33	3.08	Sağlam
	G300/0.45/45/6	47.6	930.1	23.52	24.28	31.31	31.7	2.55	Sağlam
	G300/0.45/45/7	46.1	991.5	27.13	28.69	33.98	33.96	2.94	Sağlam
	G300/0.45/45/8	45.6	967.1	29.85	28.69	35.09	37.41	3.41	Sağlam
	G300/0.45/45/9	44.4	968.2	27.12	30.06	35.52	34.2	3.14	Sağlam
	G300/0.45/45/10	44.2	945.2	30.28	33.4	35.94	38.07	3.16	Sağlam
	G300/0.45/50/1	64.1	976.3	28.75	25.05	35.78	36.23	3.06	Sağlam
	G300/0.45/50/2	64	972.1	32.03	28.69	44.85	45.06	4.05	Sağlam
	G300/0.45/50/3	62.5	959.1	24.07	23.12	33.22	33.68	2.82	Sağlam
	G300/0.45/50/4	65.5	998.2	30.05	27.55	38.24	41.31	3.56	Sağlam
	G300/0.45/50/5	64.1	967	35.44	37.57	44.94	46.07	4.4	Sağlam
	G300/0.45/50/6	64.6	985.2	34.76	30.06	43.67	48.72	4.16	Sağlam
	G300/0.45/50/7	64.6	989.4	29.7	30.05	45.29	45.53	4.13	Sağlam
	G300/0.45/50/8	64.7	948.4	19.54	22.45	34.75	35.41	2.7	Sağlam
G300/0.45/50/9	64.6	954.8	33.22	37.57	52.23	57.83	4.81	Sağlam	
G300/0.45/50/10	64.2	959.6	32.95	33.4	44.25	47.67	4.2	Sağlam	
Azotlu Dolu	G300/0.45/46/1	54.9	1053.4	25.07	28.05	39.5	37.54	3.39	Kırıldı
	G300/0.45/46/2	51.8	1006.9	37.72	31.94	40.55	40.3	3.59	Parçalandı
	G300/0.45/47/3	54.5	996.4	32.59	29.48	43.02	40.79	3.34	Parçalandı
	G300/0.45/48/4	57.7	990	27.49	31	35.4	38.86	3.77	Sağlam
	G300/0.45/48/5	56.4	989.2	20.9	21.04	30.32	33.39	2.42	Kırıldı
	G300/0.45/48/6	53.3	938.7	24.19	26.52	32.4	34.81	2.69	Kırıldı
	G300/0.45/48/7	56.7	975.1	111.4*	31.13	44.38	40.81	3.65	Kırıldı
	G300/0.45/49/8	60.4	969.4	34.15	33.06	45.98	42.2	3.88	Sağlam
	G300/0.45/49/9	58.7	969.2	26.08	27.91	36.57	38.92	3.14	Kırıldı
	G300/0.45/49/10	63.2	1005.1	46.94	23.29	37.98	36.72	3.19	Parçalandı
Pamuklu Dolu	G300/0.45/45/1	46.1	986.2	26.97	26.3	29.88	31.09	2.06	Hasarlı
	G300/0.45/45/2	45.4	960.9	24.96	24.69	37.45	36.31	2.48	Hasarlı

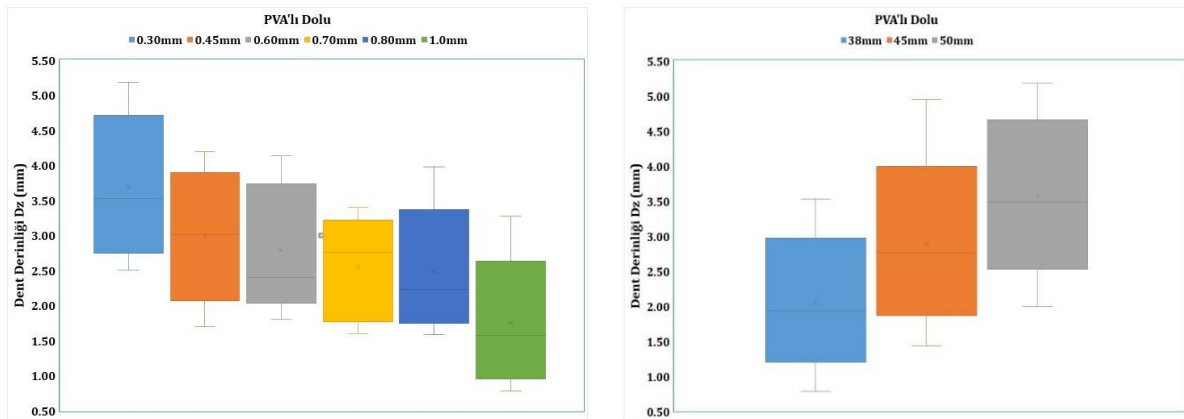
	G300/0.45/45/3	44.8	954.1	24.75	26.3	34.3	31.08	2.65	Hasarlı
	G300/0.45/45/4	45	940.8	35.84	33.4	40.77	39.55	3.59	Sağlam
	G300/0.45/45/5	43.8	941.9	32.87	31.64	43.03	41.5	3.9	Hasarlı
	G300/0.45/45/6	45.9	983.7	32.27	31.56	35.45	35.96	3.21	Hasarlı
	G300/0.45/45/7	44.5	974.3	38.65	35.07	44.15	39.05	3.63	Hasarlı
Saf su ile yapılan Dolu	G300/0.45/45/1	44.9	952.2	23.99	24.28	31.65	29.86	1.85	Parçalandı
	G300/0.45/45/2	41.2	910.8	22.8	23.62	25.23	25.24	1.14	Parçalandı
	G300/0.45/45/3	44.3	943.9	19.66	21.04	27.64	26.71	1.93	Kırıldı
	G300/0.45/45/4	47.5	987.6	23.58	23.12	29.28	29.01	2.22	Parçalandı
	G300/0.45/45/5	47.1	972.2	25.37	26.3	37.28	34.38	2.85	Kırıldı
	G300/0.45/45/6	44.7	952	20.4	21.47	27.97	27.85	1.85	Parçalandı
	G300/0.45/45/7	44.3	950.1	25.21	27.44	35.28	34.91	2.74	Kırıldı

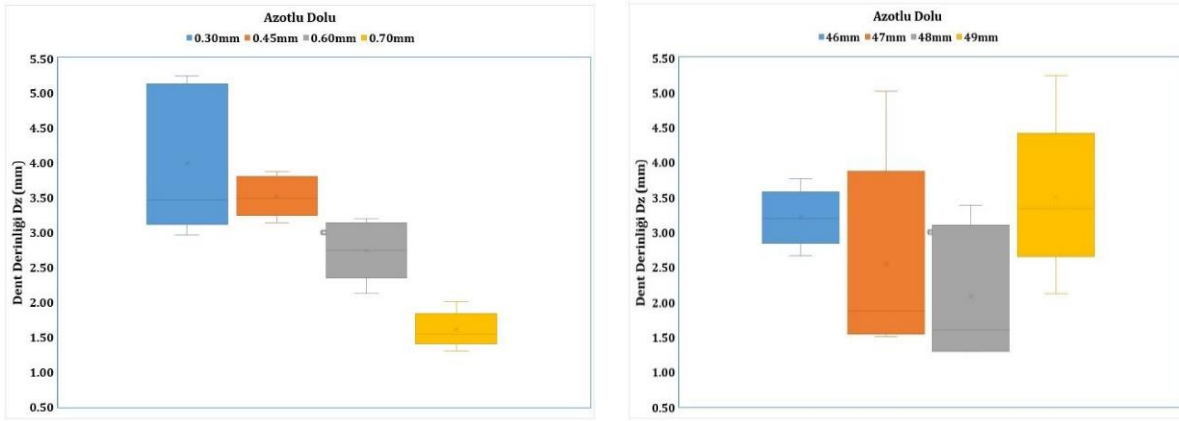
* Darbe testi yapılırken dolu sensöre çaptı bu nedenle sensörün ölçtüğü hız yüksek çıkmıştır



Şekil 9. Bu çalışmada test edilen saf dolu ile pamuklu dolunun göçük derinliği ve göçük çapları arasında karşılaştırma (Comparison between dent depth and dent diameters of pure hail and cotton hail tested in this study)

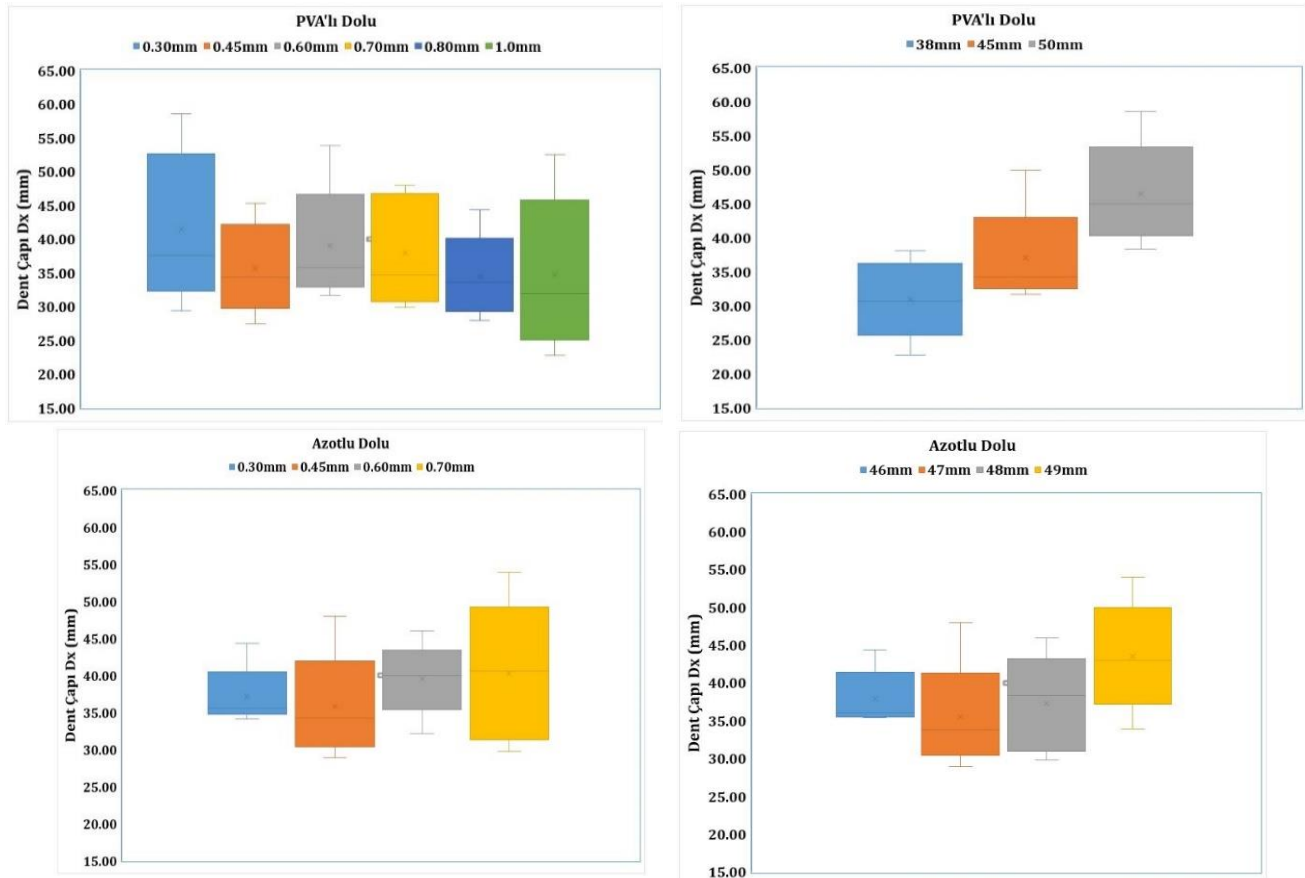
Şekil 10 ve Şekil 11'de, Box-Whisker analizi dolu çapı ve plaka kalınlığına göre çukur derinliği ve çukur çapı sonuçları verilmiştir.





Şekil 10. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile Azotlu dolunun çukur derinliği arasında karşılaştırma (Comparison between dent depth of PVA hail and Nitrogen hail tested in this study)

Şekil 10' da, PVA'lı dolular ile yapılan atışlarda, çukur derinlikleri plaka kalınlıkları artıca düşüş eğilimindeyken, Nitrojen azotu ile yapılan dolu atışlarında bu eğilim daha belirgin olmaktadır. Aynı şekilde dolu çapı büyüklüğüne göre dizildiğinde ise PVA'lı dolular ile yapılan atışlarda çukur derinliği daha belirgin bir şekilde doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun sebebi, PVA'lı doluların doğal dolu gibi çarpmanın etkisinden sonra kırılmama oranı Azot ile yapılan doluya istinaden fazla olmasıdır. Şekil 11' de ise plaka üzerindeki çukur çapları her iki dolu türünde de plaka kalınlığından değişkenlik göstermediği anlaşılmaktadır. Yine PVA'lı dolu ile yapılan atışlarda nitrojen azotu ile yapılanlara kıyasla çukur çapları dolu büyüdükçe belirgin şekilde arttığı gözlenmektedir. Şekil 12'de görüldüğü üzere, darbe testinden sonra 0.30 mm'lik çelik panel üzerinde oluşan göçük derinliğini 4.98 mm ve göçük çapı 50.02 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 11. Bu çalışmada test edilen PVA'lı dolu ile Azotlu dolunun çukur çapı arasında karşılaştırma (Comparison between dent diameter of PVA hail and Nitrogen hail tested in this study)



a) Dent derinliği

b) Dent çapı

Şekil 12. 0.30 mm'lik çelik panel üzerinde oluşan çukur derinliği ve çukur çapı (The dent depth and dent diameter appeared on the 0.30 mm steel panel)

4. Sonuç (Conclusion)

Dolu fırtınaları, özellikle çelik çatı kaplaması, otomotiv ve uçak panelleri olmak üzere, çevreye önemli hasar verme potansiyeline sahiptir. Bu malzemelerin dolu yüküne karşı direncini değerlendirmek için mevcut yöntemler, temsili yapay dolu tanelerinin olmaması nedeniyle güvenilirlikten yoksundur. Demineralize su, Pamuk, sıvı nitrojen ve PVA gibi çeşitli karışım oranlarını içeren birbirinden farklı yapay dolu üretim yöntemlerinin kapsamlı bir araştırmaya dayanan bu çalışma, dolu taneleri üretmek için dört yöntemi göstermektedir. Üretilen dolu taneleri, farklı kalınlığa sahip çelik panellere yüksek hızlı darbe etkisi altında davranışlarını değerlendirmek için amaca yönelik tasarlanmış bir test teçhizatında dinamik dolu testine tabi tutulmaktadır. Dolu darbe testi sıfır derece açısında gerçekleştirilmiştir. Çelik panel üzerinde oluşan dent derinliğini hassas derinlikölçer ve dent çapını hassas kalınlık kumpası ile ölçmüştür. Ayrıca göçük derinliği ile göçük çapı arasındaki ilişkiden daha hassas sonuçlar alabilmek için sonraki çalışmalarda bir formülasyon geliştirmeyi hedeflemiştir. Test şeması toplam 232 darbe testini içermektedir. Bu çalışmadan elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Mevcut yapay dolu üretim süreçleri istikrarlı bir şekilde gerçekçi hasarlara neden olan dolu tanelerini üretmekte zorluklar çekmektedir.
2. Bu çalışma, doğal dolunun neden olduğu hasarı temsil etmek için yapay dolunun yeterliliğini değerlendirmek için ana dört kriter önermektedir. İlk olarak, dolu taneleri ağırlıklı olarak buz olmalıdır. İkincisi, dolunun özelliği homojen olmalıdır. Üçüncüsü, yapay dolu, doğal dolularda görülen yüzey erime davranışını göstermelidir. Son olarak, yapay dolularda hedeflenen terminal hızındaki darbeden sonra bütünlüklerini korumalıdır.
3. PVA veya sıvı nitrojen eklenmesi buz toplarının pamuklu dolulara göre dayanım gücünü artırmıştır. Bu yöntemle üretilen buz topları, doğal dolunun yüzey sürtünmesi ve yoğunluğuna mümkün olduğunca yaklaşmıştır.
4. Sonuçlar, göçük derinliğinin levha kalınlığı, çarpma hızı ve dolu çapı ile doğrusal orantılı olmasına rağmen, göçük çapının sadece dolu çapı arttıkça arttığını göstermektedir. Plakadaki göçük çapının plaka kalınlığından etkilenmediği görülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Adnan Menderes Üniversitesi BAP projeleri MF-17022 ve MF-18004 kapsamında desteklenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynakça (References)

- Basara, J. B., Cheresnick, D. R., Mitchell, D. and Illston, B. G. (2007) An analysis of severe hail swaths in the southern plains of the United States, *Transactions in GIS* 11(4), 531-554.
- Blong, R. (2004) Residential building damage and natural perils: Australian examples and issues, *Building Research and Information* 32(5), 379-390.
- Brimelow, J. C., Krauss, T. W. and Reuter, G. W. (2002) Operational forecasts of maximum hailstone diameter in Mendoza, Argentina, *The Journal of Weather Modification* 34(1), 8-17.
- Chang, D. and Khetan, R. (1984) Surface damage of steel, aluminum, and chopped-fiber composite panels due to projectile impact, *Journal of reinforced plastics and composites* 3(3), 193-203.

- Crenshaw, V. and Koontz, J. D. (2002) Hail: Sizing It Up!, Western roofing magazine, 2-7.
- Henri, C. (1999) The Sydney hailstorm: The insurance perspective, Australian Journal of Emergency Management, The 14(4), 16-18.
- Kural, M. E. and Secer, M. (2010) Çati kaplama malzemelerin performanslarının incelenmesi. 5. Ulusal Çati & Cephe Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi, İzmir, 1-8.
- Laurie, J. (1960) Hail and its effects on buildings, Council for Scientific and Industrial Research.
- Leslie, L. M., Lepastrier, M. and Buckley, B. W. (2008) Estimating future trends in severe hailstorms over the Sydney Basin: A climate modelling study, Atmospheric Research 87(1), 37-51.
- Liu, H. and Miller, K. (1979) Fracture toughness of fresh-water ice, Journal of Glaciology 22(86), 135-143.
- Luong, S. D. (2014) Hail Ice Impact of Lightweight Composite Sandwich Panels, UC San Diego.
- Maguire, J. (2014) Experimental determination of the effects of hail impact on steel building envelopes, Civil, Mining and Environmental Engineering. Australia, University of Wollongong. Master of Science: 1-108.
- Meteorology, A. B. o. (1999) Report by the director of meteorology on the bureau of meteorology's forecasting and warning performance for the Sydney hailstorm of 14 April 1999, Bureau of Meteorology.
- Moore, D. M. and Wilson, A. (1978) Photovoltaic solar panel resistance to simulated hail, Department of Energy.
- Niemeier, B. A. and Burley, C. E. (1978) Hailstone response of body panels-real and simulated, SAE Technical Paper.
- Özşahin, E. (2013) Türkiye’de yaşanmış (1970-2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirme, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Turkey.
- Ramsay, H. (2015) Experimental investigation, development and optimisation of steel roof sheeting against the effect of hail impact, Bachelor Thesis, Bachelor of Engineering, University of Wollongong.
- Rhymer, J. D. (2012) Force Criterion Prediction of Damage for Carbon/Epoxy Composite Panels Impacted by High Velocity Ice, Engineering, Aerospace. San Diego, University of California. Ph.D. Thesis.
- Sain, T. and Narasimhan, R. (2011) Constitutive modeling of ice in the high strain rate regime, International Journal of Solids and Structures 48(5), 817-827.
- Schuster, S. and Blong, R. (2004) Hailstorms and the estimation of their impact on residential buildings using radar. Conference Proceedings, Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Bureau of Meteorology. Melbourne, Australia
- Schuster, S. S., Blong, R. J. and Speer, M. S. (2005) A hail climatology of the greater Sydney area and New South Wales, Australia, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society 25(12), 1633-1650.
- Suppiah, R., Hennessy, K., et al. (2007) Australian climate change projections derived from simulations performed for the IPCC 4th Assessment Report, Australian Meteorological Magazine 56(3), 131-152.
- Swift, J. (2013) Simulated hail ice mechanical properties and failure mechanism at quasi-static strain rates.
- Tippmann, J. D. (2011) Development of a strain rate sensitive ice material model for hail ice impact simulation, Structural Engineering. San Diego, University of California. Master of Science.
- Uz, M., Teh, L. and Maguire, J. (2014) Developing Australia’s first hail-proof roofing profiles, Research case study. Open Days’s poster, SBRC.
- Uz, M. E., Yılmaz, G. and Bircan, T. (2017) Hasarı gerçekçi şekilde simüle eden dolu yapımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(2), 411-423.
- Yılmaz, F. K. (2008) Antalya’nın günlük yağış özellikleri ve şiddetli yağışların doğal afetler üzerine etkisi, Sosyal Bilimler Dergisi 10(1), 20.



AKILLI TELEFON VERİLERİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK STRES TESPİTİ ÇALIŞMALARINI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ensar Arif SAĞBAŞ^{1*}, Serdar KORUKOĞLU², Serkan BALLI¹

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Muğla Türkiye
²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, İzmir Türkiye

Anahtar Kelimeler

Stres Tespiti,
Akıllı Telefon,
Makine Öğrenmesi,
Algılayıcı Verisi,
Sağlık Bilişimi.

Öz

Stres, genel olarak olumsuz etkilere sahip bir süreçtir. Bu olumsuz etkileri en aza indirmek için erken tespit edilmesi önemlidir. Buna bağlı olarak stresin tespit edilmesi bir sınıflandırma problemi olarak ele alınabilir. Stres, fizyolojik ve davranışsal veriler kullanılarak tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada, sadece akıllı telefon verileri kullanılarak gerçekleştirilen stres tespiti çalışmaları ele alınmış ve stres tespitinde kullanılan veri kaynakları, veri türleri ve sınıflandırmada kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri incelenmiştir. Bu çalışmalar kendi içerisinde veri kaynaklarına göre beş başlık altında incelenmiştir. Araştırma sonucunda akıllı telefon uygulamaları, hareket algılayıcıları, arama ve mesaj atma sıklığı gibi bilgilerin stresin tespitinde önemli bir yer tuttuğu görülmüştür.

A REVIEW OF LITERATURE ON STRESS DETECTION STUDIES USING SMARTPHONE DATA AND MACHINE LEARNING METHODS

Keywords

Stress Detection,
Smartphone,
Machine Learning,
Sensor Data,
Health Informatics.

Abstract

Stress is a process that generally has negative effects. It is important to be detected early to minimize these negative effects. Accordingly, the detection of stress can be considered as a classification problem. Stress can be detected using physiological and behavioral data. In this study, stress detection studies using only smartphone data were discussed and data sources, data types, and machine learning methods using classification were examined. These studies were handled under five headings according to their data sources. As a result of the research, it has been seen that information such as smartphone applications, motion sensors, frequency of calling and texting has an important place in the detection of stress.

Alıntı / Cite

Sagbas,E.A., Korukoglu,S., Balli,S., (2021). Akıllı Telefon Verileri Ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Stres Tespiti Çalışmaları Üzerine Bir Literatür Araştırması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 1030-1038.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E.A. Sağbaşı, 0000-0002-7463-1150
S. Korukoğlu, 0000-0002-4230-8447
S. Ballı, 0000-0002-4825-139X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.09.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.06.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	09.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

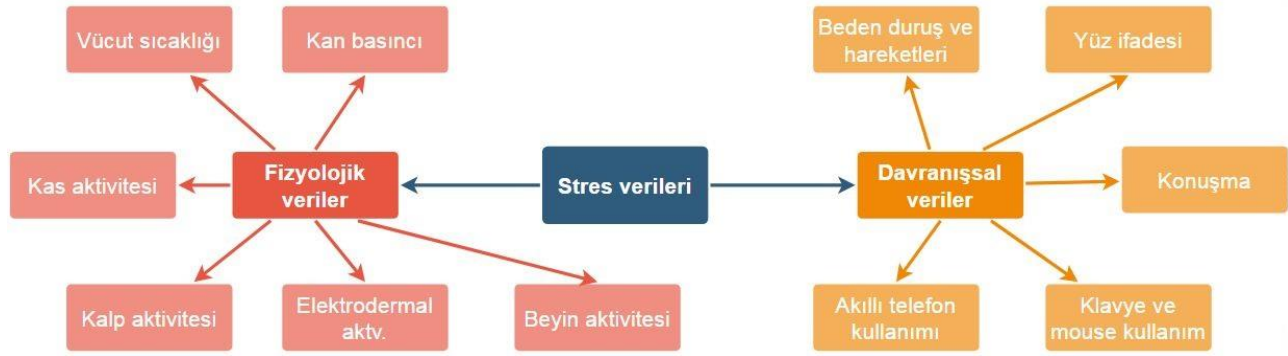
1. Giriş (Introduction)

Stres, algılanan fiziksel veya psikolojik tehditlere verilen bedensel reaksiyonları tanımlayan bir terimdir. Bu reaksiyonlar, bazen olumlu bazen ise olumsuz sonuçlar doğurabilir (Çökük, 2018). Stres, bireyi tehlikeli durumlarda uyarmakta ve zorluklarla başa çıkmaya odaklanmaktadır. Bununla birlikte, çoğu durumda, stresin sağlığa zararlı etkileri bulunmaktadır. Örnek olarak, stresin endişe, korku ve aynı zamanda kalp ile ilgili hastalıklar, diyabet, astım ve depresyon için önde gelen risk faktörü olduğu bilinmektedir (Choi, 2012). Bu nedenle stresi erken ve doğru tespit etmek, zamanında müdahale etmek çok önemlidir.

Son yıllarda sağlık bilişimi alanında yapılan çalışmalarda, araştırmacılar bir bireyin duygusal durumu ve fiziksel sağlığı arasında önemli bir bağlantı bulunduğunu belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak stres, sınıflandırma

* İlgili yazar / Corresponding author: arifsagbas@mu.edu.tr

problemleri arasına girmiştir. Stres tespitinde kullanılan verileri Şekil 1'de gösterildiği gibi sınıflandırmak mümkündür (Can vd., 2019).



Şekil 1. Stres tespitinde kullanılan verilerin sınıflandırılması (Classification of data used in stress detection)

Stres tespiti genel olarak laboratuvar ortamında ve kısa sürelerde toplanan fizyolojik veriler ile gerçekleştirilmektedir. Elektrodermal aktivite ve kalp aktivitesi en sık kullanılan verilerdendir. Kalp hızı değişkeni ise kalp aktivitesi verilerinden hesaplanan en popüler stres algılama özelliğidir. (Alberdi vd., 2016). Maalesef, fizyolojik algılayıcılar yanlış bağlanmaya duyarlıdır (Bakker vd., 2012). Buna ek olarak, fizyolojik parametreler konuşma, kafein alımı, içme, yeme ve hareket gibi birçok günlük aktiviteden etkilenmektedir (Plarre vd., 2011; Vildjiounaite vd., 2018). Fizyolojik algılayıcıların bu dezavantajları nedeniyle araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılmış ve stres tespiti için akıllı telefonlardan elde edilen davranışsal verilerden faydalanılmıştır.

Literatürde stres tespiti ile ilgili çok çeşitli çalışmalar bulunuyor olsa da, bu literatür araştırmasında sadece akıllı telefon verilerinin kullanıldığı çalışmalar ele alınmıştır. Akıllı telefonun hareket algılayıcıları, telefon kullanım desenleri (uygulama kullanımı, arama ve SMS kayıtları) ve dokunmatik ekrana uygulanan çeşitli işlemler (yazı yazma, kaydırma, dokunma) stres tespiti için kullanılmaktadır. Son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda bunlara ek olarak kişinin gün içerisinde yapmış olduğu aktivitelerin takip edilip parametre olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir.

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde geçmiş derleme çalışmaları özetlenecektir. Üçüncü bölümde akıllı telefon ile stres algılama çalışmalarında kullanılan veriler açıklanacaktır. Dördüncü bölümde araştırma yönteminden bahsedilecek, beşinci bölümde literatür incelemesine yer verilecektir. Son olarak altıncı bölümde elde edilen bulgular tartışılacaktır.

2. Geçmiş Derleme Çalışmaları (Related Survey Studies)

Stres tespiti, güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır. Kullanılan veri kaynağından kullanım yerlerine kadar çeşitli şekillerde farklılaşan bu çalışma alanı hakkında derleme çalışmaları yapılmıştır. Stres tespiti alanında bulunan literatür araştırması çalışmaları bu başlık altında kronolojik sırayla özetlenmiştir.

Sharma ve Gedeon (2012) stresi ölçmek ve stresi modelleme tekniklerini araştırmak için kullanılan algılayıcıları incelemişlerdir. Stres seviyelerini düzenli olarak izlemek isteyen bireyler tarafından kullanılabilir günlük aktiviteleri engellemeyen algılayıcılar (örneğin araç sürücüler, stresle bağlantılı hastalıkları olan hastalar) araştırmanın odak noktasıdır. Garje vd. (2016) bugün gençler arasında popüler bir mikroblog sitesi olan Twitter verileri ile stres tanımlama ve tahmin tekniklerini uygulayan çalışmaların analitik bir incelemesini sunmaktadır. Bu konu, birçok kişi tarafından sosyal medyanın olumsuz yan etkisiyle başa çıkmak için araştırılmaktadır. Bu çalışmanın araştırması, konu üzerinde gösterilen çabayı, çeşitli analiz tekniklerini ve olası çözümleri netleştirmektedir. Bu literatür araştırması, bu alandaki çalışmanın bir bölümünü incelemektedir. Greene vd. (2016) özellikle duygusal hesaplama için yaygın olarak kullanılan teknolojiyi kullanarak psikofizyolojik stresin fizyolojik ve fiziksel ölçümlerine odaklanmıştır. Önce psikofizyolojik stresin bazı geçmişini ve bunun insan vücudu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Tartışma, stresin fizyolojik ve fiziksel ölçülerini ve bu ölçümleri yapmak için kullanılan teknolojiyi keşfederek devam etmektedir. Ek olarak, araştırma ve iş dünyasında kullanılan mevcut ürünlerin değerlendirilmesini ve karşılaştırılmasını içermektedir. Thapliyal vd. (2017) stresi tespit etmek ve yönetmek için tüketicilere sunulan cihazlardan bazılarını genel bir bakış sağlamışlardır. Çalışmada, ya şu anda piyasada ya da halka açıklanmak üzere olan cihazlar ele alınmıştır. Bu inceleme, cihazların kendileri üzerinde herhangi bir analiz sağlama amacı taşımamaktadır. Bu nedenle, her bir üreticinin ilgili stres algılama ve yönetim özelliklerini uygulamada ne kadar etkili olduğu tartışılmamıştır. Rastgoo vd. (2018) sürücü stres seviyelerini tespit etmek için en yaygın kullanılan veriler ve ardından sık ve yüksek performans gösteren seçilmiş öznelikleri analiz etmişlerdir. Bu inceleme aynı zamanda sürücü stres tespit sistemlerinin uygulanmasını engelleyen temel

metodolojik sorunları ve boşlukları tartışmakta ve gelecekteki araştırma yönlerine ilişkin öngörü sunmaktadır. Can vd. (2019) akıllı telefon ve giyilebilir cihazların kullanıldığı günlük hayatta stres tespiti ile ilgili son çalışmaları incelemişlerdir. Çalışmalar kullanılan fizyolojik modaliteye ve ofis, kampüs, araba gibi hedeflenen ortama ve sınırsız günlük yaşam koşullarına göre bölerek ele alınmıştır. Ayrıca gelecek vaat eden teknikleri, hafifletme yöntemleri ve araştırma zorlukları tartışılmıştır. Giannakakis vd. (2019) psikolojik stresin biyolojik sinyaller aracılığıyla ölçülen insan vücudu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Literatürde kullanılan çok sayıda biyosinyal ve stresin çoklu bedensel tepkilere etkisi araştırılmıştır. Stres tespitinde mevcut bilgi durumu boyunca biyosinyal veri özelliklerinin verimliliği, sağlamlığı ve tutarlılığına vurgu yapılmaktadır. Aynı zamanda, doğru stres bağıntılarının türetilmesi için çok modlu biyosinyal analizi ve modelleme yöntemleri de araştırılmıştır. Bu araştırma, stres koşulları sırasında ortaya çıkan biyosinyal kalıpları hakkında kapsamlı bir inceleme ve stresin daha verimli tespitine yönelik güvenilir pratik kılavuzlar sağlamayı amaçlamaktadır. Panure and Sonawani (2019) farklı algılayıcı türleri ve kullanımlarını açıklamışlardır. Ek olarak bu çalışmada, stresi tespit etmede daha fazla doğruluk elde etmek için kullanılan çeşitli algoritmalar listelenmektedir. Buna bağlı olarak, otomatik stres tespiti üzerinde çalışacak diğer araştırmacılar için yararlı olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın birincil amacı, bu alandaki çeşitli çalışmaları gözden geçirmek ve stres tespiti alanında yapılan önceki araştırmaların önemli noktalarını özetlemektir. Panicker ve Gayathri (2019) zihinsel stres algılama sistemlerinin fizyolojik veri toplama, makine öğreniminin duygu algılama sistemleri ve stres algılama sistemlerinde rolü, çeşitli değerlendirme ölçütleri, zorluklar ve uygulamalar yönleri hakkında kapsamlı bir araştırma sunmaktadır. Popüler öznitelik seçim yöntemlerine genel bir bakış da sunulmaktadır. İnsanların biyolojik özellikleri ile duyguları ve zihinsel stres arasındaki bağlantıların araştırılması önemli bir katkıdır. Bu alandaki sayısız araştırma boşluğu vurgulanarak gelecekteki araştırmalar için yol göstermektedir.

3. Akıllı Telefon ile Stres Algılama Verileri (Stress Perception Data by Smartphone)

Akıllı cihazlar, insanların güncel hayatta sürekli yanlarında taşıdıkları, haberleşmenin imkânının yanında sahip olduğu algılayıcılar ve yüksek hesaplama gücü sayesinde kullanıcı hakkında bilgi sağlayan cihazlardır. Bunların başında ise akıllı telefonlar gelmektedir (Sağbaş vd., 2016). Bu yüksek hesap gücü ve algılayıcılar sayesinde stresin tespiti de mümkün olmaktadır. Stres tespitinde kullanılan akıllı telefon verileri alt başlıklarda açıklanmaktadır.

3.1. Algılayıcılar (Sensors)

- ❖ **İvmeölçer algılayıcısı:** Bu algılayıcı akıllı telefona x, y ve z ekseninde uygulanan ivmeyi bildirmektedir (Ballı ve Sağbaş, 2017). Özellikle aktivite takibinde kullanılan bu algılayıcı stres tespitinde de Sysoev vd. (2015), Wang vd. (2014), Muaremi vd. (2013), Gjoreski vd. (2015), Garcia-Ceja vd. (2016), Sano ve Picard (2013), Kim ve Choi (2012) ve Sağbaş vd. (2020) gibi çalışmalarda kullanılmıştır.
- ❖ **Jiroskop algılayıcısı:** Bu algılayıcı cihazın üç eksenin etrafında dönem açısını rad/sn cinsinden ifade etmektedir (Ballı ve Sağbaş, 2018). Sysoev vd. (2015), Kim ve Choi (2012) ve Sağbaş vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen stres tespiti çalışmalarında jiroskop algılayıcısından faydalanılmıştır.
- ❖ **Işık:** Ortamın ışık bilgisi, uyku zamanlarının tespitinde kullanılmaktadır. Wang vd. (2014), Gjoreski vd. (2015), Sysoev vd. (2015) ve Lee vd. (2012) çalışmalarında ortam ışığından faydalanmışlardır.
- ❖ **GPS:** GPS algılayıcısı konum, yükseklik ve hız gibi bilgiler sunmaktadır (Sağbaş ve Ballı, 2015). Wang vd. (2014) ve Gjoreski vd. (2015) çalışmalarında bu algılayıcıdan faydalanılmıştır.
- ❖ **Ses:** Bireyin uyku durumu ve sosyal etkileşimi hakkında çıkarımlarda bulunmak mümkündür. Lu vd. (2012) akıllı telefonlar kullanarak insan sesinden gelen stresi göze çarpmadan tanımak için StressSense'i önermişlerdir. Wang vd. (2014) de çalışmasında ses verilerinden faydalanmışlardır.
- ❖ **Bluetooth:** Aktif bluetooth cihazlarının miktarı tespit edilerek sosyal etkileşim hakkında bir sonuç çıkarmak mümkündür. Bogomolov vd. (2014), ve Wang vd. (2014) bluetooth algılayıcısından faydalanmışlardır.
- ❖ **WiFi:** Akıllı telefon kullanıcısının mevcut konumu, bu konumda geçirdiği süre gibi bilgilerin edinilmesinde kullanılmaktadır (Gjoreski vd., 2015).

3.2. Akıllı Telefondan Elde Edilen İçerik Bilgileri (Content Information Obtained From Smartphone)

- ❖ **Ekran açma kapama sıklığı:** Bireyin ekran açma kapama sıklığı Sysoev vd. (2015) tarafından öznitelik olarak kullanılmıştır.
- ❖ **Arama ve mesajlaşma kayıtları:** Gelen ve giden çağrı ve SMS sayıları, sıklığı ve süresi kişinin duygusal değişimi hakkında bilgiler sunmaktadır. Bu bilgiler, Muaremi vd. (2013), Gjoreski vd. (2015) ve Bogomolov vd. (2014) tarafından yapılan çalışmalarda kişilerin stresini tespit etmede değerlendirilmiştir.
- ❖ **Batarya:** Gün içerisinde telefonun pil yüzdesi değişimi ve şarj etme sıklığı bireyin sosyal durumunu hakkında bilgiler vermektedir. Muaremi vd. (2015) gerçekleştirdiği çalışmada batarya bilgilerinden yararlanmışlardır.

- ❖ **Adres defteri ve takvim:** Bu uygulamalardan elde edilen etkinlik sayısı ve etkinliklerde geçen süreler stres tespitinde değişken olarak kullanılabilir. Muaremi vd. (2015) adres defteri ve takvim uygulamasından elde ettiği verileri değişken olarak kullanmıştır.
- ❖ **Uygulama kullanımı:** Akıllı telefon uygulamaları çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Bu uygulamaların kullanım sıklıkları ve geçirilen süreler kişinin duygusal durumu hakkında bilgi vermektedir (Ferdous vd. 2015; Vildjiounaite vd, 2018).
- ❖ **Hava durumu bilgisi:** Akıllı telefonların sahip oldukları konum algılayıcıları cihazın mevcut konumunu tespit edebilmekte, hava durumu uygulamaları ise mevcut konumun sıcaklık, rüzgâr yönü ve hızı, basınç gibi hava durumu bilgilerini sağlayabilmektedir. Bu bilgiler Bogomolov vd. (2014) ve Lee vd. (2012) tarafından değişken olarak kullanılmıştır.

3.3. Ekran Dokunma Özellikleri (Touch Screen Features)

Yazma hızı, metin girişi, ekrana dokunma, kaydırma ve ekrana basma süresi gibi değerlerin kişinin stres seviyesi ile olan bağlantısı Ciman vd. (2015), Lee vd. (2012) ve Gao vd. (2012) gibi çalışmalarda incelenmiştir. Bunlara ek olarak yazma hızı, silme sayıları, ekrana basma süresi ve basıncı gibi verileri Ghosh vd. (2017,2019) ve Sağbaş vd. (2020) gibi çalışmalarda kullanılmıştır.

3.4. Gerçek Referans Değer (Ground truth)

Günlük yaşamda ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen çalışmalar arasındaki en önemli farklılıklardan biri katılımcıların koşullarının toplanması gereğidir. Laboratuvar ortamındaki katılımcıların durumu deney basamaklarının önceden belirlenmiş olmasından dolayı bilinmektedir. Fakat gündelik hayatta veri toplama, bir kişinin stres seviyesinin artıp artmadığı önceden bilinmemektedir. Bu temel gerçeği öğrenmenin tek yolu katılımcılara sormaktır. Bu amaçla geliştirilmiş anketler (NASA-TLX, Stres Öz Değerlendirme Ölçeği, STAI, Algılanan Stres Ölçeği, Öz Değerlendirme Modeli ve Olumlu ve Olumsuz Etki Takvimi anketleri) gün içerisinde belirlenen zaman aralıklarında katılımcıya sunulmaktadır. Anketler aracılığı ile elde edilen gerçek referans değerler bir takım problemleri yanında getirebilmektedir. Puanlar öznel ve kişiden kişiye değişebilmektedir. Algılanan ve fizyolojik stres arasındaki farktan dolayı bir kişinin gerçek stres durumunu göstermeyebilir (Can vd., 2019).

4. Metodoloji (Methodology)

Çalışma kapsamında özellikle akıllı telefonlardan elde edilen verilerin kullanıldığı makaleler incelenmiştir. Bu kapsamda 19 çalışmanın 16'sı sınıflandırma geri kalan 3'ü ise veriler ile stres arasındaki ilişkinin incelenmesi şeklindedir. Akıllı telefona ek olarak kullanılan giyilebilir cihazlar ile gerçekleştirilen stres tespiti çalışmaları kapsam dışında tutulmuştur. Sınıflandırma çalışmaları ele alınırken aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Sınıf sayısı
- Kullanılan veri türleri (Algılayıcı, İçerik, Ekran dokunma vs.)
- Çalışmada aktivite tespiti olup olmadığı
- Başarı metriği
- Başarı değeri
- Kullanılan makine öğrenmesi yöntemi

İncelenen çalışmalar 3. bölümde açıklanan verilere göre toplamda 5 başlık altında özetlenecektir. Bunlar; sadece algılayıcı verileri ile stres tespiti, sadece içerik bilgileri ile stres tespiti, algılayıcı verileri ve içerik bilgilerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar, ekrana dokunma özellikleri ile stres tespiti ve son olarak algılayıcı verileri ve ekrana dokunma özelliklerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar olarak sıralanmıştır.

5. İnceleme (Review)

5.1. Sadece Algılayıcı Verileri Kullanılarak Stres Tespiti (Stress Detection Using Only Sensor Data)

Lu vd. (2012) ses sinyallerini kullanarak stresi tespit etmişlerdir. Gauss Karışım Modelleri (Gaussian Mixture Models – GMMs) yöntemi ile %81 doğruluk oranı yakalanmıştır. Gerçek referans değer için Galvanik Deri Tepkisi (Galvanic Skin Response – GSR) algılayıcısı kullanılmıştır. Veriler 10 kadın, 4 erkek olmak üzere 14 katılımcıdan toplanmıştır.

Wang vd. (2014) ivmeölçer, ses, ışık, GPS ve bluetooth algılayıcılarını kullanarak aktivite, uyku, sosyallik ve konumun kişinin stres seviyesi arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir. Veriler 10 kadın, 38 erkek katılımcıdan

sağlanmıştır ve Ekolojik Anlık Değerlendirme (Ecological Momentary Assessment – EMA) kullanılmıştır. Veri kümesine <http://studentlife.cs.dartmouth.edu> adresi üzerinden ulaşılabilir.

Garcia-Ceja vd. (2016) sadece ivmeölçer verilerinde faydalanarak 30 katılımcının davranışsal bilgileri ile 3 stres seviyesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Naive Bayes yöntemi ile %71'lik bir başarı yakalanmıştır. Tablo 1'de bu bölümde ele alınan çalışmalar özetlenmektedir.

Tablo 1. Sadece algılayıcı verileri ile gerçekleştirilen stres tespiti çalışmalarının karşılaştırılması (Comparison of stress detection studies performed with only sensor data)

Yazar	Yıl	# Sınıf	Algılayıcılar	Aktivite tespiti	Başarı metriği	Başarı değeri	Yöntem
Lu vd.	2012	2	Ses	Hayır	Doğruluk oranı	%81	GMMs
Wang vd.	2014	4	GPS, Bluetooth, İvmeölçer, Işık, Ses	Evet	Korelasyon incelenmiştir.		
Garcia-Ceja vd.	2016	3	İvmeölçer	Evet	Doğruluk oranı	%71	Naive Bayes

5.2. Sadece İçerik Bilgileri Kullanılarak Stres Tespiti (Stress Detection Using Only Content Information)

Vildjiounaite vd. (2018) akıllı telefon uygulamalarını kategoriler altında inceleyerek 7 seviyeli stres tespiti gerçekleştirmiştir. 9 erkek, 47 kadın katılımcı ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda Gizli Markov Modeli (Hidden Markov Model – HMM) ile %70'lik başarı sağlanmıştır.

Ferdous vd. (2015) 5 farklı stres seviyesini tahminlemek için akıllı telefon uygulama kullanım bilgilerini incelemiştir. Destek Vektör Makineleri (DVM) ile %75 sınıflandırma doğruluğu ve %85.7 kesinlik (precision) değeri yakalanmıştır. Tablo 2'de bu bölümde ele alınan çalışmalar özetlenmektedir.

Tablo 2. Sadece içerik bilgileri ile gerçekleştirilen stres tespiti çalışmalarının karşılaştırılması (Comparison of stress detection studies performed with only content information)

Yazar	Yıl	# Sınıf	Veri kaynağı	Aktivite tespiti	Başarı metriği	Başarı değeri	Yöntem
Vildjiounaite vd.	2018	7	Uygulama kullanımı	Hayır	Doğruluk oranı	%70	HMM
Ferdous vd.	2015	5	Uygulama kullanımı	Hayır	Doğruluk oranı	%75	DVM

5.3. Algılayıcı Verileri ve İçerik Bilgileri Birlikte Kullanılarak Stres Tespiti (Stress Detection Using Sensor Data and Content Information Together)

Stütz vd. (2015) 12 kadın ve 3 erkek olmak üzere 18 katılımcıdan arama ve SMS kayıtları, ışık, ses, ekran açma kapama, cihaz yeniden başlatma, ağ trafiği ve uygulama kullanım bilgileri toplamıştır. Ek olarak kişilerin aktiviteleri de takip edilmiştir. Stres seviyelerinin belirlenmesinde Kişisel Stres Ölçeği (Personal Stress Scale - PSS) kullanılmıştır. Elde edilen veriler ile stres seviyeleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Muaremi vd. (2013) 3 sınıflı stres tespiti için 35 katılımcıdan ses, ivmeölçer, GPS ve sosyal etkileşim verileri toplamıştır. İvmeölçer ve GPS verileri aktivite takibi için kullanılmıştır. Sosyal etkileşimi belirlemek için ise batarya, adres defteri, takvim ve arama kayıtlarından faydalanılmıştır. Gerçek referans değer için ise PANAS anketi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda Multinomial Lojistik Regresyon (MLR) yöntemi ile %61'lik başarı yakalanmıştır.

Bauer ve Lokowicz (2012) 7 adet katılımcıdan topladıkları arama ve SMS kayıtları, GPS, WiFi ve Bluetooth verileri ile stres arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Veriler sınav zamanı ve sınav zamanı olmayan olarak ayırarak 2 sınıf oluşturulmuştur.

Sysoev vd. (2015) sadece akıllı telefonda elde ettikleri bağlamsal ve davranışsal verileri incelemişlerdir. Ses, ışık, ivmeölçer, jiroskop, ekran açma kapama verileri 7 farklı stres seviyesinin tespiti için kullanılmıştır. Algılayıcı verileri kullanılarak kişinin aktivite türü sınıflandırılmış ve stres sınıflandırmasında faydalanılmıştır. Simple Lojistik yöntemi ile %77.5 sınıflandırma doğruluğu yakalanmıştır. Yedi ölçekli bir anket Nasa-TLX'e dayalı olarak stres seviyesinin mevcut öz değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Gjoreski vd. (2015) ivmeölçer, GPS, WiFi, ses, ışık ve arama kayıtlarını kullanarak 3 sınıflı stres tespiti gerçekleştirmiştir. İvmeölçer algılayıcı ile kullanıcının aktivite türü tespit edilmiştir. Rastgele Orman yöntemi kullanılarak %60'ın üzerinde ortalama sınıflandırma doğruluğu yakalanmıştır. Gerçek referans değer olarak, stres seviyesi anketinden faydalanılmıştır. Çalışma toplamda 48 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir.

Bogomolov vd. (2014) 2 sınıflı stres tespiti için arama ve SMS kayıtları, hava durumu bilgisi ve bluetooth bilgilerini kullanmıştır. 117 katılımcı ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda %72.28'lik bir başarı Rastgele Orman yöntemi ile elde edilmiştir. Tablo 3'te bu bölümde ele alınan çalışmalar özetlenmektedir.

Tablo 3. Algılayıcı verileri ve içerik bilgileri birlikte kullanılarak gerçekleştirilen stres tespiti çalışmalarının karşılaştırılması (Comparison of stress detection studies performed using sensor data and content information together)

Yazar	Yıl	# Sınıf	Veri kaynağı	Aktivite tespiti	Başarı metriği	Başarı değeri	Yöntem
Stütz vd.	2015	2	SMS kayıtları, Işık, Ses, Ekran açma kapama, Yeniden başlatma, Uygulama kullanımı, Ağ trafiği	Evet			Korelasyon incelenmiştir.
Muaremi vd.	2013	3	Ses, İvmeölçer, GPS, Batarya, Arama kayıtları, Adres defteri, Takvim	Evet	Doğruluk oranı	%61	MLR
Bauer ve Lokowicz	2012	2	GPS, WiFi, Arama ve SMS kayıtları	Hayır			Korelasyon incelenmiştir.
Sysoev vd.	2015	2	Ses, Jiroskop, İvmeölçer, Işık, Ekran açma kapama	Evet	Doğruluk oranı	%77.5	Simple Lojistik
Gjoreski vd.	2015	3	İvmeölçer, Ses, GPS, WiFi, Işık, Arama kayıtları	Evet	Doğruluk oranı	>%60	Rastgele Orman
Bogomolov vd.	2014	2	Bluetooth, Hava durumu, Arama ve SMS kayıtları	Hayır	Doğruluk oranı	%72.28	Rastgele Orman

5.4. Sadece Ekran Dokunma Özellikleri Kullanılarak Stres Tespiti (Stress Detection Using Only Touch Screen Features)

Ciman vd. (2015) akıllı telefon ekranından metin girişi, kaydırma hareketleri gibi etkileşimleri inceleyerek kişinin stresli durumda olup olmadığını değerlendirmişlerdir. Verileri 7 erkek, 6 kadın toplamda 13 gönüllüden Deneyim Örneklem Yöntemi (Experience Sampling Method - ESM) ile toplamışlardır. Karar Ağacı yöntemi ile en yüksek %92 F-ölçütü değeri yakalanmıştır.

Ghosh vd. (2017) yazma hızı, hatalı yazma ve özel karakter kullanımı gibi yazma karakteristiğini üzgün, mutlu, stresli ve rahatlamış olmak üzere 4 duyguyu tespit etmek amacı ile incelemiştir. 22 katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmada veriler Deneyim Örneklem Yöntemi ile toplanmıştır. Rastgele Orman yöntemi ile %84 ortalama doğruluk oranı elde edilmiştir.

Gao vd. (2012) 4 farklı duygu durumunun tespiti için akıllı telefon dokunmatik ekranından elde ettiği bilgileri kullanmıştır. 7 katılımcının akıllı telefon oyunu oynarken göstermiş olduğu dokunmatik ekran kullanım şekli incelenmiştir. Doğrusal DVM yöntemi ile %77 gibi bir doğruluk oranı yakalanmıştır.

Ghosh vd. (2019) 20 erkek, 2 kadın katılımcı ile metin giriş karakteristiği ile duygu durumunun tespit edilmesi üzerine çalışmıştır. 3 haftalık günlük hayat çalışmaları sonunda Rastgele Orman yöntemi ile ortalama %78 sınıflandırma başarısı sağlanmıştır. Tablo 4'te bu bölümde ele alınan çalışmalar özetlenmektedir.

Tablo 4. Sadece ekrana dokunma özellikleri kullanılarak gerçekleştirilen stres tespiti çalışmalarının karşılaştırılması (Comparison of stress detection studies using only touchscreen features)

Yazar	Yıl	# Sınıf	Veri kaynağı	Aktivite tespiti	Başarı metriği	Başarı değeri	Yöntem
Ciman vd.	2015	2	Ekranı kaydırma, metin girişi	Hayır	F-Ölçütü	%92	Karar Ağacı
Ghosh vd.	2017	4	Yazma karakteristiği	Hayır	Doğruluk oranı	%84	Rastgele Orman
Gao vd.	2012	4	Ekran dokunma özellikleri	Hayır	Doğruluk oranı	%77	Doğrusal DVM
Ghosh vd.	2019	4	Yazma karakteristiği	Hayır	Doğruluk oranı	%78	Rastgele Orman

5.5. Algılayıcı Verileri ve Ekran Dokunma Özellikleri Birlikte Kullanılarak Stres Tespiti (Stress Detection Using Sensor Data and Touch Screen Features Together)

Kim ve Choi (2012) kullanıcının dokunmatik ekran üzerinden göstermiş olduğu bağlamsal verileri incelemiştir. Ek olarak ivmeölçer ve jiroskop algılayıcıları ile oturuyor veya ayakta olma durumları ele alınmıştır. Karar Ağacı tabanlı yöntem ile 7 farklı duygu durumu için %82 F-ölçütü değeri yakalanmıştır.

Ciman vd. (2018) günlük hayatta stres tespiti için ekrana dokunma istatistiklerine ek olarak uygulama kullanımı, fiziksel aktivite takibi, ışık ve ekran açma kapama gibi verilerden faydalanmıştır. 25 katılımcı ile gerçekleştirilen çalışma sonunda kNN ile %88 F-ölçütü değeri yakalanmıştır.

Sağbaş vd. (2020) kullanıcıların yazma davranışlarını; yazma hızı, silme sıklığı gibi bilgilere ek olarak ivmeölçer ve jiroskop gibi hareket algılayıcılarından elde edilen veriler ile birlikte incelemiştir. Algılayıcı verileri telefonun duruşu yazma anında sergilenen durum hakkında önemli bilgiler vermektedir. 2 sınıflı stres tespitinde kNN ile %87.56 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Çalışmaya 35 erkek, 11 kadın olmak üzere 46 gönüllü katılmıştır. Gerçek referans değer için ise 5 seviyeli öz değerlendirme anketi kullanılmıştır. Veri kümesine <https://tinyurl.com/2019-stress-detection-dataset> adresi üzerinden ulaşılabilir.

Lee vd. (2012) yazma karakteristiği (hız, yanlış yazma, özel sembol kullanımı vs.) ve ekrana dokunma özellikleri ile 7 farklı duyguyu tespit etmiştir. Çalışmada dokunmatik ekrandan elde edilen verilere ek olarak konum, hava durumu ve ışık gibi algılayıcı ve içerik bilgilerinden de faydalanılmıştır. Bayes Ağları yöntemi ile %67.52'lik bir sınıflandırma başarısı sağlanmıştır. Tablo 5'te bu bölümde ele alınan çalışmalar özetlenmektedir.

Tablo 5. Algılayıcı verileri ve ekrana dokunma özellikleri birlikte kullanılarak gerçekleştirilen stres tespiti çalışmalarının karşılaştırılması (Comparison of stress detection studies using sensor data and touchscreen features)

Yazar	Yıl	# Sınıf	Veri kaynağı	Aktivite tespiti	Başarı metriği	Başarı değeri	Yöntem
Kim ve Choi	2012	7	Dokunmatik panel, İvmeölçer, Jiroskop	Evet (Oturuyor mu, ayakta mı?)	F-Ölçütü	%82	Karar Ağacı
Ciman ve Wac	2018	2	Dokunma istatistiği, Uygulama kullanımı, Aktivite, Işık, Ekran açma kapama	Evet	F-Ölçütü	%88	kNN
Sağbaş vd.	2020	2	Yazma karakteristiği (Dokunmatik panel), İvmeölçer, Jiroskop	Hayır	Doğruluk oranı	%87.56	kNN
Lee vd.	2012	7	Yazma karakteristiği, Konum, Hava durumu, Işık	Hayır	Doğruluk oranı	%67.52	Bayes Ağları

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Stres tespiti, güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır. Fakat fizyolojik verilerin elde edilmesi için pahalı giyilebilir donanımlara ya da tıbbi cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Stresin sadece akıllı telefon ile tespit edilebilmesi ile hem kullanıcı rahatsız olmayacak hem de ek bir donanıma ihtiyaç duyulmayacaktır. Bu çalışmada akıllı telefonda elde edilen bilgiler ile gerçekleştirilen stres tespiti çalışmaları ele alınmış ve bu çalışmalarda ne tür veriler, ne amaçla kullanıldığı incelenmiştir.

Algılayıcı verileri ve içerik bilgileri ile gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde sınıflandırma doğruluğunda üst sınırın %80 civarında olduğu görülmektedir. Ek olarak bu verilerin incelenmesi ve sonuca varılması uzun zaman almaktadır. Yani gün içerisinde gerçekleştirilen eylemler ve akıllı telefon kullanım biçimi gün sonunda veya gün içerisinde birkaç kere rapor edilmektedir. Ekrana dokunma özellikleri incelendiğinde ise başarı oranlarının yükseldiği görülmektedir. Dahası, Sağbaş vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada yazma esnasında her 15 saniyede bir desen oluşturulmakta ve karara varılmaktadır. Yapılan çalışmalar aktivite tespitinin öznitelik olarak kullanılmasının katkı sağlayabileceğini göstermektedir. İlâveten, sınıf sayısı arttıkça sınıflandırma başarısında düşüş gözlenmektedir. Sınıflandırma yöntemleri ele alındığında ise Rastgele Orman, kNN, Karar Ağaçları, DVM, Bayes Ağları, Naive Bayes, Simple Lojistik ve MLR gibi sıklıkla karşılaşılan yöntemlerden faydalandığı görülmektedir. Çalışmalar arasında ise kNN ve Rastgele Orman yöntemi ile en yüksek başarı oranlarının yakalandığı ve sıklıkla tercih edildiği göze çarpmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda arama ve SMS kayıtlarının incelenmesi, ekrana dokunma, ekran açma kapama gibi, kişinin telefonu kullanım tarzı stresin tespitinde etkili olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak akıllı telefonların sahip olduğu uygulamaların (hava durumu, adres defteri, oyunlar vs.) takip edilmesi bireyin zihinsel durumu hakkında bilgi verdiği sonucuna varılmıştır. Son zamanlarda telefon ve uygulama kullanımının yanında kişinin günlük aktivitesi de değişken olarak kullanılmaktadır. Bu durum ivmeölçer ve jiroskop gibi hareket algılayıcılarının önemini artırmaktadır. Bunlara ek olarak kişilerin telefon ekranında yapmış oldukları dokunma, kaydırma, metin girme gibi özelliklerin incelenmesi faydalı bilgiler sağlamaktadır.

Davranışsal verilere ek olarak akıllı telefonlar metin mesajları ve sosyal ağlara yapılan gönderiler ile de kullanıcı hakkında bilgiler sunmaktadır. Literatürde twitter gibi sosyal medya gönderilerinin incelendiği duygu analizi çalışmaları bulunmaktadır (Karcioğlu ve Aydın, 2019). Uygulama bağımlı veya bağımsız bir şekilde kullanıcıların metin içerikleri akıllı telefonlar üzerinden incelenip gerçek zamanlı olarak duygu analizleri gerçekleştirilebilir (Messias vd., 2017). Stresin bir duygu olarak ele alınması ile gelecek çalışmalarda akıllı telefon metin girişleri üzerinden stres analizinin gerçekleştirilmesi bu alana yenilik katacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Alberdi, A., Aztiria, A., & Basarab, A. (2016). Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review. *Journal of biomedical informatics*, 59, 49-75.
- Bakker, J., Holenderski, L., Kocielnik, R., Pechenizkiy, M., & Sidorova, N. (2012, January). Stess@ work: From measuring stress to its understanding, prediction and handling with personalized coaching. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGHIT International health informatics symposium* (pp. 673-678).
- Ballı, S., & Sağbaşı, E. A. (2017). Akıllı saat algılayıcıları ile insan hareketlerinin sınıflandırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 980-990.
- Ballı, S., & Sağbaşı, E. A. (2018). Diagnosis of transportation modes on mobile phone using logistic regression classification. *IET Software*, 12(2), 142-151.
- Bauer, G., & Lukowicz, P. (2012, March). Can smartphones detect stress-related changes in the behaviour of individuals?. In *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops* (pp. 423-426). IEEE.
- Bogomolov, A., Lepri, B., Ferron, M., Pianesi, F., & Pentland, A. (2014, November). Daily stress recognition from mobile phone data, weather conditions and individual traits. In *Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia* (pp. 477-486).
- Can, Y. S., Arnrich, B., & Ersoy, C. (2019). Stress detection in daily life scenarios using smart phones and wearable sensors: A survey. *Journal of biomedical informatics*, 92, 103139.
- Choi, J., Ahmed, B., & Gutierrez-Osuna, R. (2011). Development and evaluation of an ambulatory stress monitor based on wearable sensors. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 16(2), 279-286.
- Ciman, M., Wac, K., & Gaggi, O. (2015, May). iSenseStress: Assessing stress through human-smartphone interaction analysis. In *2015 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)* (pp. 84-91). IEEE.
- Ciman, M., & Wac, K. (2016). Individuals' stress assessment using human-smartphone interaction analysis. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 9(1), 51-65.
- Çökük, B. (2018) Örgütsel stres düzeyinin ölçümü ve demografik değişkenlerle ilişkisi: bir kamu organizasyonu örneği. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 9(2), 59-83.
- Ferdous, R., Osmani, V., & Mayora, O. (2015, May). Smartphone app usage as a predictor of perceived stress levels at workplace. In *2015 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)* (pp. 225-228). IEEE.
- Gao, Y., Bianchi-Berthouze, N., & Meng, H. (2012). What does touch tell us about emotions in touchscreen-based gameplay?. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 19(4), 1-30.
- Garcia-Ceja, E., Osmani, V., & Mayora, O. (2015). Automatic stress detection in working environments from smartphones' accelerometer data: a first step. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 20(4), 1053-1060.
- Garje, G. V., Inamdar, A., & Mahajan, H. (2016). Stress Detection and Sentiment Prediction: A Survey. *International Journal of Engineering Applied Science and Technology*, (2).
- Ghosh, S., Ganguly, N., Mitra, B., & De, P. (2017, September). Tapsense: Combining self-report patterns and typing characteristics for smartphone based emotion detection. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 1-12).
- Ghosh, S., Sahu, S., Ganguly, N., Mitra, B., & De, P. (2019, January). EmoKey: An emotion-aware smartphone keyboard for mental health monitoring. In *2019 11th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS)* (pp. 496-499). IEEE.
- Giannakakis, G., Grigoriadis, D., Giannakaki, K., Simantiraki, O., Roniotis, A., & Tsiknakis, M. (2019). Review on psychological stress detection using biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing*.
- Gjoreski, M., Gjoreski, H., Lutrek, M., & Gams, M. (2015, July). Automatic detection of perceived stress in campus students using smartphones. In *2015 International Conference on Intelligent Environments* (pp. 132-135). IEEE.
- Greene, S., Thapliyal, H., & Caban-Holt, A. (2016). A survey of affective computing for stress detection: Evaluating technologies in stress detection for better health. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(4), 44-56.
- Karcioğlu, A. A., & Aydın, T. (2019, April). Sentiment analysis of Turkish and english twitter feeds using Word2Vec model. In *2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Kim, H. J., & Choi, Y. S. (2012, January). Exploring emotional preference for smartphone applications. In *2012 IEEE consumer communications and networking conference (CCNC)* (pp. 245-249). IEEE.
- Lee, H., Choi, Y. S., Lee, S., & Park, I. P. (2012, January). Towards unobtrusive emotion recognition for affective social communication. In *2012 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)* (pp. 260-264). IEEE.
- Lu, H., Frauendorfer, D., Rabbi, M., Mast, M. S., Chittaranjan, G. T., Campbell, A. T., ... & Choudhury, T. (2012, September). Stresssense: Detecting stress in unconstrained acoustic environments using smartphones. In *Proceedings of the 2012 ACM conference on ubiquitous computing* (pp. 351-360).
- Messias, J., Diniz, J. P., Soares, E., Ferreira, M., Araújo, M., Bastos, L., ... & Benevenuto, F. (2017). An evaluation of sentiment analysis for mobile devices. *Social Network Analysis and Mining*, 7(1), 20.
- Muaremi, A., Arnrich, B., & Tröster, G. (2013). Towards measuring stress with smartphones and wearable devices during workday and sleep. *BioNanoScience*, 3(2), 172-183.

- Panicker, S. S., & Gayathri, P. (2019). A survey of machine learning techniques in physiology based mental stress detection systems. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39(2), 444-469.
- Panure, T., & Sonawani, S. (2019). Stress Detection Using Smartphone and Wearable Devices: A Review. *Asian Journal For Convergence In Technology (AJCT)*.
- Plarre, K., Raj, A., Hossain, S. M., Ali, A. A., Nakajima, M., Al'Absi, M., ... & Wittmers, L. E. (2011, April). Continuous inference of psychological stress from sensory measurements collected in the natural environment. In *Proceedings of the 10th ACM/IEEE international conference on information processing in sensor networks* (pp. 97-108). IEEE.
- Rastgoo, M. N., Nakisa, B., Rakotonirainy, A., Chandran, V., & Tjondronegoro, D. (2018). A critical review of proactive detection of driver stress levels based on multimodal measurements. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(5), 1-35.
- Sağbaşı, E. A., & Ballı, S. (2015). Akıllı Telefon Sensörlerinin Kullanımı ve Ham Sensör Verilerine Erişim. *Akademik Bilişim Konferansı*, 4-6 Şubat 2015, Eskişehir, Türkiye. 180-186.
- Sağbaşı, E. A., Ballı, S., & Yıldız, T. (2016). Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akademik Bilişim Konferansı*. 30 Ocak - 5 Şubat 2016. Aydın, Türkiye. 749-756.
- Sağbaşı, E. A., Korukoglu, S., & Ballı, S. (2020). Stress detection via keyboard typing behaviors by using smartphone sensors and machine learning techniques. *Journal of Medical Systems*, 44(4), 1-12.
- Sharma, N., & Gedeon, T. (2012). Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey. *Computer methods and programs in biomedicine*, 108(3), 1287-1301.
- Stütz, T., Kowar, T., Kager, M., Tiefengrabner, M., Stuppner, M., Blechert, J., ... & Ginzinger, S. (2015, June). Smartphone based stress prediction. In *International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization* (pp. 240-251). Springer, Cham.
- Sysoev, M., Kos, A., & Pogačnik, M. (2015). Noninvasive stress recognition considering the current activity. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(7), 1045-1052.
- Thapliyal, H., Khalus, V., & Labrado, C. (2017). Stress detection and management: A survey of wearable smart health devices. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(4), 64-69.
- Vildjiounaite, E., Kallio, J., Kyllönen, V., Nieminen, M., Määttänen, I., Lindholm, M., ... & Gimel'farb, G. (2018). Unobtrusive stress detection on the basis of smartphone usage data. *Personal and Ubiquitous Computing*, 22(4), 671-688.
- Wang, R., Chen, F., Chen, Z., Li, T., Harari, G., Tignor, S., ... & Campbell, A. T. (2014, September). StudentLife: assessing mental health, academic performance and behavioral trends of college students using smartphones. In *Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing* (pp. 3-14).



VURGULU ELEKTRİK ALAN (PEF) TEKNİĞİNİN ÇİĞ SÜTTE MİKROBİYAL LİPAZ ENZİM AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurullah Zekeriya AKAR*

İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gıda Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Vurgulu Elektrik Alan,
Mikrobiyal Lipaz Aktivitesi,
Psikrotrof Bakteri,
Süt.

Öz

Süt ihtiva ettiği yüksek oranda su, nötr pH ve besleyici bileşenler ile mikroorganizmalar ve enzimler için ideal bir ortamdır. Çiğ sütü mikroorganizmalardan arındırmak ve istenmeyen kusurlara neden olan enzimleri inaktif etmek ve ayrıca sütün raf ömrünü uzatmada en bilinen muhafaza yöntemi ısı işlemidir. Süt içerisindeki doğal enzimler pastörizasyon sıcaklığında inaktif olmakta ancak bakteriyel kaynaklı enzimler ise bu sıcaklığa dayanıklıdır. Yüksek derecedeki ısı işlem normları sütün hem besin öğelerinde kayıplara hem de tekstür bozukluklarına neden olmaktadır. Aynı zamanda uzun süreli depolama ile ısı işleme dirençli psikrofilik ve mezofilik bakteri kaynaklı enzimlerin oluşumu meydana gelmektedir. Bu enzimlerin başında süt teknolojisinde çeşitli tekstürel ve teknolojik sorunlara sebep olan lipaz enzimi gelmektedir. Çalışmada bakteriyel kaynaklı lipaz enziminin, ısı işleme alternatif gıda muhafaza tekniklerinden biri olan vurgulu elektrik alan uygulaması ile etkinliği araştırılmıştır.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE PULSED ELECTRIC FIELD (PEF) TECHNIQUE ON MICROBIAL LIPASE ENZYME ACTIVITY IN RAW MILK

Keywords

Pulsed Electric Field,
Microbial Lipase Activity,
Psychrotroph Bacteria,
Milk.

Abstract

Milk is an ideal food for microorganisms and enzymes with its high water content, neutral pH and nutritious ingredients. Heat treatment is the best known preservation method to purify raw milk from microorganisms and inactivate enzymes that cause undesirable defects and also to extend the shelf life of milk. Natural enzymes in milk are inactive at pasteurization temperature, but bacterial enzymes are resistant to this temperature. High degree of heat treatment norms cause both nutritional losses and texture disorders in milk. At the same time, the formation of psychrophilic and mesophilic bacteria-derived enzymes resistant to heat treatment occurs with long-term storage. Lipase enzyme, which causes various textural and technological problems in milk technology, comes first among these enzymes. In the study, the effectiveness of bacterial lipase enzyme with pulsed electric field application, which is one of the alternative food preservation techniques to heat treatment, was investigated.

Alıntı / Cite

Akar, N.Z., (2021). Vurgulu Elektrik Alan (PEF) Tekniğinin Çiğ Sütte Mikrobiyal Lipaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkinliğinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 1039-1044.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N.Z. Akar, 0000-0003-2485-2382

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.02.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.04.2021
Yayın Tarihi / Published Date	21.09.2021

1. Giriş (Introduction)

Süt memeli hayvanların süt bezlerinden salgılanan içinde tüm gerekli gıda maddelerini bulunduran, tipik bir kokusu ve lezzeti olan sıvı bir gıda maddesidir. Diğer gıdalarla kıyaslandığında karbonhidrat, protein, yağ, kalsiyum ve fosfor gibi daha fazla yaşamsal öğeleri içerdiğinden besleyici niteliğe sahip olmasının yanı sıra

* İlgili yazar / Corresponding author: nzakar@gelisim.edu.tr, +90-212-422-7000

bileşimindeki maddeler ve özellikleri sebebiyle koruyucu bir gıda olma niteliğine sahiptir (Li vd., 2018). Bunlara ek olarak süt birbirinden farklı büyüklükteki taneciklerin oluşturduğu bileşim ve yapısal olarak karmaşık bir koloidal dispersiyondur (Ünal vd., 2008).

Süt tüm bu özellikleri nedeniyle mikroorganizmaların gelişimi için ideal bir ortamdır ve bozulmaya karşı çok hassastır (Scudino vd., 2020). İşlenmeden önce çiğ sütün mikrobiyolojik kalitesi, süt ürünlerinin kalitesinin sağlanması açısından çok önemlidir. Bunun için çiğ sütün sağımının gerçekleştiği çiftlikten tank içerisinde soğutulmuş mikrobiyal gelişmeyi en aza indirmek için üretim tesisine en iyi şekilde naklinin gerçekleşmesi gerekir. Hijyenik ortamda yapılan sağımdan hemen sonra baskın mikrobiyal popülasyon, esas olarak *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus* ve *Corynebacterium* cinslerine ait bakterilerden oluşur. Toplam bakteri sayısı ile karşılaştırıldığında, çiğ sütte psikrotrofik bakteri oluşumu % 10'dan azdır (Gehring, 1980). Mezofilik bakterilerin gelişmesini engellemek için çiğ süt işlenmeden önce düşük sıcaklıklarda depolanır ancak bu durum psikrofilik bakterilerin gelişmesi için uygun ortam yaratır (Salgado vd., 2020). Toplam mikrobiyal popülasyondaki psikrotrofik bakterilerin hakimiyeti, süt kötü hijyen koşullarında üretildiğinde veya artan sayıda somatik hücre içerdiğinde daha da belirginleşir. Bu nedenlerden dolayı, psikrotrofik bakteriler genellikle soğutulmuş çiğ sütün içindeki toplam mikrobiyal popülasyonun % 90'ından fazlasını oluşturur (Samaržija vd., 2012).

Bununla birlikte, uzun süreli soğutulmuş çiğ sütün depolanması, ısıya dayanıklı enzimler üretebilen psikrotrof bakterilerinin gelişmesine olanak sağlar (Zhang vd., 2020). Bu enzimler içerisinde süt ve süt ürünlerinin kalitesi ve raf ömrü üzerinde proteazlar ve lipazlar önemli bir etkiye sahiptir (Chen vd., 2003). Lipazlar bitkiler, hayvanlar ve mikroplar gibi çeşitli kaynaklar tarafından üretilir (Kumar vd., 2012). Sütteki lipaz enzimleri ise ya sütte hâlihazırda mevcut olan doğal enzimlerdir ya da bakteriler tarafından üretilen ekstrasellüler enzimlerdir (Glantz vd., 2020). Bakteriler tarafından üretilen lipazlar, doğal enzim olan lipoprotein lipaz (LPL)'dan farklı özellikler gösterir. Bakteriyel kaynaklı lipazlar pastörizasyon ve UHT sıcaklığına dayanıklıdır fakat LPL pastörizasyon sıcaklığında etkisini kaybeder. Ayrıca yağ globül membranları LPL enzimine bariyer olurken bakteriyel kaynaklı lipazlar bu bariyeri kolaylıkla aşarlar (Deeth ve Fitz-Gerald, 2006). *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter* ve *Acinetobacter* güçlü birer lipolitik aktiviteye sahip psikrotrof bakteri türleridir (Machado vd., 2017). Psikrotrofik bakteriler arasında *Pseudomonas* cinsi ise çiğ sütte kontamine olan en yaygın bakterilerden biridir (Salgado vd., 2020). Bakteriyel kaynaklı lipolitik enzimler, özellikleri ve substrat özgünlükleri bakımından nispeten çeşitlidir. *Pseudomonas* ve *Bacillus* bakterilerinin bazı türleri ve ürettikleri lipaz enzimlerinin bazı özellikleri Tablo 1'de listelenmiştir (Chen vd., 2003).

Tablo 1. *Pseudomonas* ve *Bacillus* Bakterilerinin Bazı Türleri ve Ürettikleri Lipaz Enzimlerinin Bazı Özellikleri (Some Properties of Lipase Enzymes From Some Types of *Pseudomonas* and *Bacillus* Bacteria)

Enzim kaynağı	Optimum pH	Stabilite
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 2D	8,5	4,2 dakika 120 °C
<i>Pseudomonas fluorescens</i> AFT36	8	0,2 dakika 65 °C
<i>Pseudomonas</i> Pf-lip1	9	56 dakika 62,5 °C
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 33	7,5-8,5	7,6 dakika 50-60 °C
<i>Bacillus thermocatenulatus</i> DSM 730	8-9	29 dakika 60 °C

2. Lipaz Enzim Aktivitesinin Tespiti (Detection of Lipase Enzyme Activity)

Psikrotrof bakterilerin büyük çoğunluğu sıcaklığa dirençli hidrolitik enzimler meydana getirme kabiliyetindedir. Bu enzimlerden biri olan lipazlar sütün başlıca lipid bileşenleri olan trigliseritlerin hidrolizini katalize eden enzimlerdir. Bu hidroliz, genellikle lipoliz olarak adlandırılır ve aktivite sonucu kötü tatlara ve diğer teknolojik sorunlara neden olur (De Jonghe vd., 2011; Deeth, 2006; Machado vd., 2017). Bu enzimlerin eser seviyeleri bile depolanan ürünlerde ciddi sorunlara neden olduğundan bakteriyel lipaz enzimlerinin analizlerine olan ilgi her geçen gün artmıştır. Sütte bakteriyel lipaz aktivitesinin kantitatif tespiti titrimetrik, kolorimetrik, enzimatik, florometrik ve kromatografik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Deeth ve Touch, 2000). Yöntem seçimi, bazı kriterlere bağlıdır ve bu enzimler analiz edilirken duyarlılık, substratların kullanılabilirliği ve prosedürün kolaylığı dikkate alınmaktadır (Hasan vd., 2009). Titrimetrik yöntemler her zaman kontrol edilebilen koşullar altında dikkatlice yapılmalıdır (Jaeger vd., 1994). Kolorimetrik metotlar ise santrifüj işleminden yoksun olduğundan hızlı ve ucuzdur (Versaw vd., 1989). Lipaz enziminin aktivitesi sonucu oluşan ürünlerin HPLC ile analizi ise tekrarlanabilir ve nispeten hızlıdır. HPLC kolonuna enjeksiyondan önce örneklerin modifikasyonu gerekmediğinden, analiz daha basit bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Titrimetrik yöntemler, HPLC ile karşılaştırıldığında lipaz aktivitesini büyük ölçüde olduğundan daha düşük tespit ettiği belirtilmiştir (Thomson vd., 1999). Lipaz aktivitesinin tespiti için florometrik analizler ise basit ve hızlıdır ve oldukça hassastır. Ayrıca titrimetrik ve kolorimetrik yöntemlerden daha hassas oldukları belirtilmiştir (Roy, 1980). Bununla birlikte, süt ve

süt ürünlerinde lipaz enzim aktivitesinin tespiti için uygun bir analiz yöntemi hala tasarlanamamıştır. Genellikle yöntemlerde ana sorun, süt lipidlerinin ve sütün bulanıklığının buna müdahale etmesidir (Chen vd., 2003). Bu nedenle hem santrifüj ile yağın uzaklaştırıldığı hem de özel florometrik substratlar kullanılarak doğrudan çiğ sütte lipaz aktivitesini daha hassas ve doğru ölçmenin mümkün olduğu yöntemler geliştirilmiştir (Krewinkel vd., 2016).

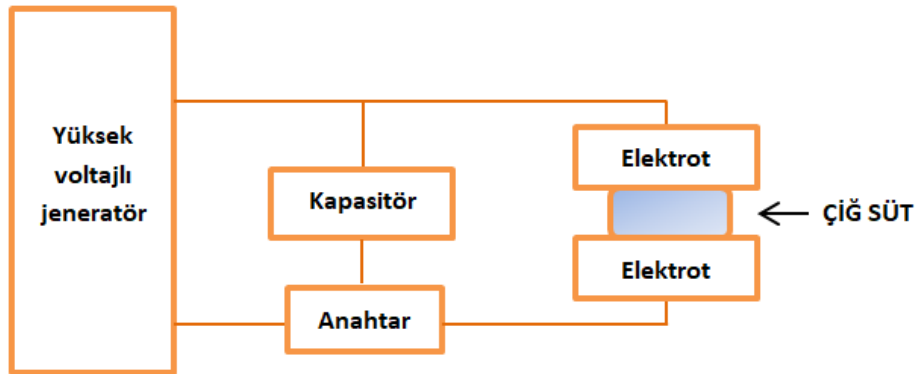
3. Isıl İşlemin Etkisi (Effect of Heat Treatment)

Psikrotrof aerobik veya fakültatif anaerob bakterilerin ısıya karşı dirençli sporları, süte ısıl işlem uygulamasından sonra hızlıca aktif bir özellik gösterebilmektedir. Aynı zamanda süte uygulanan pastörizasyon ve UHT gibi yüksek ısıl işlemlere de direnç göstermektedirler. Düşük sıcaklıkta depolanan kapalı paketlerdeki pastörize süt, psikrotrofik bakteriler veya gram pozitif spor oluşturan bakteriler tarafından bozulmaktadır (Eneroth vd., 2000). Saraç vd. (2008) gerçekleştirdiği çalışmada UHT yöntemi ile pastörize edilmiş süt örneğinden izole edilen *Staphylococcus spp.* suşunda en yüksek lipaz aktivitesi olduğu tespit edilmiştir.

Pastörizasyon ve UHT gibi ısıl işlemler sütün mikrobiyal güvenliğini sağlar ve raf ömrünü uzatır. Fakat çiğ sütün yüksek ısıya maruz kalması, süt içerisindeki bileşenleri etkiler ve ayrıca süt proteinlerinin işlevsel özelliklerini değiştirebilir. Sütün UHT işlemine maruz bırakılması ve ardından depolanması ile birlikte proteoliz ve lipoliz gibi çeşitli biyokimyasal değişiklikler meydana gelir (Ajmal vd., 2018). Ayrıca süte uygulanan yüksek sıcaklıktaki ısıl işlemler ile maillard reaksiyonu meydana gelir ve reaksiyon sonucu süt renginde değişimler görülür. Buna ek olarak yüksek ısıl işlemler sütün doğal yapısının bozulmasına neden olan hidroksimetil furfural (HMF) gibi bileşenlerin meydana gelmesine sebep olmaktadır (Yangılar, 2013). Bu gibi olumsuz durumlar, çiğ sütün bozulmasına neden olan mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonu için vurgulu elektrik alanı (PEF) gibi ısıl olmayan gıda muhafaza tekniklerinin geliştirilmesine yol açmıştır (Sharma vd., 2014).

4. Vurgulu Elektrik Alan (PEF) Uygulaması (Pulsed Electric Field Application)

PEF işlemi, ısı ve kimyasal etkiler olmaksızın gıda ürünlerinin raf ömrünü arttırmak, mikroorganizmaları inaktive etmek ve enzimlerin aktivitesini azaltmak için iki elektrot arasında yerleştirilen sıvı gıdalara elektrik alanlı kısa atımların uygulanmasını içerir (Cserhalmi vd., 2006; Samaržija vd., 2012). Gıda örneğine uygulanan PEF işlemi, mikrobiyal hücrenin inaktivasyonuna yol açan hücre zarı işlevselliğinde geri dönüşü olmayan bir kayba neden olur. Bu işlem elektroporasyon olarak bilinir ve mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkilidir (Zhang vd., 1994). Vurgulu elektrik alan uygulaması Şekil 1'de belirtilmiştir (Yangılar vd., 2013).



Şekil 1. Vurgulu Elektrik Alan Uygulaması (Pulsed Electric Field Application)

PEF sistemi esas olarak iki bölümden oluşur. Bunlardan biri yüksek voltajlı elektrik atım üretici diğeri ise gıdanın iki elektrot arasında elektrik akımına maruz bırakıldığı bir odadır. Yüksek voltajlı elektrik atım üretici, ekipmanın en önemli parçasıdır, çünkü bu parça üzerinde kısa sürede elektrik enerjisinin hızlı deşarjlarından elektrik atımları üretir (Alirezalu vd., 2020; Mosqueda-Melgar vd., 2008). Elektrik atımı gerçekleştirilen hücre membranının koruyucu niteliği kaybolur ve hücre içindeki yaşam materyalleri etkisini kaybeder (Evrendilek vd., 2004). Bu şekilde gıda örneklerinde mikroorganizmaların inaktivasyonuna ek olarak, gıdalarda bulunan enzimatik aktiviteye sahip proteinler, bazı PEF uygulama koşulları altında inaktive edilebilir. PEF uygulamasının bazı avantajları Tablo 2'de belirtilmiştir (Gómez vd., 2019; Sampedro vd., 2005). Vega-Mercado vd. (2001) *Pseudomonas fluorescens* kaynaklı proteaz enzim aktivitesinin, 6,2 kV/cm⁻¹ yoğunlukta ve 20 elektrik atımına maruz kaldıktan sonra %30 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar alan kuvveti, atım süresi ve atım sayısı enzim inaktivasyonunu etkileyen ana değişkenler olduğunu ve enzimlerin genellikle mikroorganizmalardan daha fazla PEF uygulamasına dirençli olduğunu göstermiştir (Ohshima vd., 2007).

Tablo 2. Vurgulu Elektrik Atım Uygulamasının Avantajları (Advantages of Pulsed Electric Field Application)

Avantajlar
Isıya duyarlı yiyecekleri işlemek için uygundur
Renk, tat ve besin maddeleri daha iyi korunur
Kısa işlem süresi ile gerçekleştirilebilir
Diğer işleme teknikleriyle kombinasyon imkanı sunar
Sağlığı tehdit eden kimyasal çözeltiler içermez
Birçok katı ve sıvı gıdaya uygulanabilir
Hücrelerin etkin bir şekilde inaktivasyonu gerçekleşir

Bu derlemede ise çiğ sütte istenmeyen kusurlara sebep olan bakteriyel kaynaklı lipaz enziminin inaktivasyonuna, yüksek derecedeki ısı işlemlerin çiğ sütte oluşturduğu olumsuz durumlar göz önüne alınarak alternatif olarak uygulanan vurgulu elektrik alan tekniğinin etkinliği araştırılmıştır.

5. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Yang vd. (2020) gerçekleştirdiği bir çalışmada vurgulu elektrik alan (PEF) tekniğinin uygulandığı çiğ sütün lipaz aktivitesi ölçümünü Krewinkel vd. (2016) tarafından belirtilen florometrik yöntemle ek olarak bazı modifikasyonlar uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çiğ süt, 9 kV/cm⁻¹ ve 16 kV/cm⁻¹ yoğunlukta elektrik akımına maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda ise herhangi bir işlem uygulanmamış olan çiğ süt ile kıyaslandığında 9 kV/cm⁻¹ yoğunlukta elektrik akımına maruz kalmış çiğ sütteki bakteriyel lipaz enzim aktivitesi değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bendicho vd. (2002) PEF işleminin *Pseudomonas fluorescens* bakterisi tarafından üretilen lipaz inaktivasyonunun işlem süresine ve elektrik alan gücünün yoğunluğuna bağlı olduğunu ve bu işlem sonunda lipazın yaklaşık %62'ini etkisiz hale getirildiğini belirtmişlerdir.

Sharma vd. (2014) gerçekleştirdiği bir çalışmada çiğ süte hem ısı işlem hem de PEF uygulaması ile sütte bulunan mikrobiyal kaynaklı lipaz enziminin aktivitelerini incelemişlerdir. Buna göre çiğ süte uygulanan 26 kV/cm⁻¹ yoğunlukta PEF işlemi sütteki lipaz enziminin %82 oranında indirgelediği ve bu oranın süte uygulanan 63-73 °C ısı işlem ile aynı oranda etki ettiğini ifade etmişlerdir.

Ho vd. (1997) PEF'in sürekli akış sistemiyle çiğ sütteki mikrobiyal kaynaklı bir enzim olan lipaz üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda 90 kV/cm⁻¹ yoğunluğu ile 30 elektrik atım uygulandıktan sonra lipaz enzim aktivitesinin %85 oranında indirgelediğini ifade etmişlerdir.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Süt insanlığın uzun yıllar boyunca hem içme sütü olarak hem de peynir, yoğurt gibi daha dayanıklı ürünlere işleyip tükettiği besleyici niteliğe sahip sıvı bir gıdadır. Çiğ sütün hijyenik açıdan uygun olmayan ortamlarda sağılması ve sağım sonrası işletmelere gelen tankların temizliğine önem verilmediğinde süt, çeşitli mikroorganizmalarla kontamine olmaktadır. Isıl işlemlere direnç gösteren proteaz ve lipaz enzimleri, kontamine olan psikrotrof bakterileri tarafından üretilir ve soğukta bekletilen sütlerde farklı problemlere neden olmaktadır. Lipaz enziminin aktivitesi sonucunda sütlerde duyuusal anlamda acılaşıma meydana gelmektedir. Ayrıca serbest yağ asitlerinin oranında artışa ve süt proteinlerinin pıhtılaşması ile uzun süre bekletilen paket sütlerinin dibinde bir sediment meydana gelebilmektedir.

Çalışma sonuçlarına bakıldığında ise, tüketici taleplerine uygun; taze, güvenilir ve besleyici niteliğe sahip sütlerin üretilmesinde yüksek ısı işlemlere maruz kalmadan geliştirilen ısı olmayan bir proses olan vurgulu elektrik alan tekniği bakteriyel kaynaklı lipaz enzimini yüksek oranda azalttığı görülmüştür. Ayrıca bu uygulamanın pastörizasyon sıcaklığının altında farklı sıcaklık değerleri ile kombine edilerek hem daha etkili sonuçlar alınacağı hem de çiğ sütün besin değeri açısından üzerinde farklı araştırmalar yapılabileceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Ajmal, M., Nadeem, M., Imran, M., & Junaid, M., 2018. Lipid compositional changes and oxidation status of ultra-high temperature treated Milk. *Lipids in health and disease*, 17(1), 1-11.
- Alirezalu, K., Munekata, P. E., Parniakov, O., Barba, F. J., Witt, J., Toepfl, S., Lorenzo, J. M., 2020. Pulsed electric field and mild heating for milk processing: a review on recent advances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 16-24.
- Bendicho, S., Estela, C., Giner, J., Barbosa-Cánovas, G. V., & Martin, O., 2002. Effects of high intensity pulsed electric field and thermal treatments on a lipase from *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of dairy science*, 85(1), 19-27.
- Chen, L. D. R. M., Daniel, R. M., & Coolbear, T., 2003. Detection and impact of protease and lipase activities in milk and milk powders. *International dairy journal*, 13(4), 255-275.
- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, A., Tóth-Markus, M., & Lechner, N., 2006. Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1-2), 49-54.
- De Jonghe V, Coorevits A, Van Hoorde K, Messens W, Van Landschoot A, De Vos P & Heyndrickx M., 2011. Influence of storage conditions on the growth of *Pseudomonas* species in refrigerated raw milk. *Appl Environ Microbiol* 77: 460– 470.
- Deeth, H. C., & Fitz-Gerald, C. H., 2006. Lipolytic enzymes and hydrolytic rancidity. *Advanced Dairy Chemistry*, 2, 481-556.
- Deeth, H. C., 2006. Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *International Dairy Journal*, 16(6), 555-562.
- Deeth, H. C., Touch, V., 2000. Methods for detecting lipase activity in milk and milk products. *Methods*, 5(5), 555.
- Eneroth, Å., Ahrné, S., Molin, G., 2000. Contamination of milk with Gram-negative spoilage bacteria during filling of retail containers. *International Journal of Food Microbiology*, 57(1-2), 99-106.
- Evrendilek, G. A., Zhang, Q. H., Richter, E. R., 2004. Application of pulsed electric fields to skim milk inoculated with *Staphylococcus aureus*. *Biosystems Engineering*, 87(2), 137-144.
- Gehring, G., 1980. Multiplikation of bacteria during farm storage. In Factor influencing the bacteriological quality of raw milk. *International Dairy Federation Bulletin*, Document 120.
- Glantz, M., Rosenlöw, M., Lindmark-Månsson, H., Johansen, L. B., Hartmann, J., Höjer, A., ... & Paulsson, M., 2020. Impact of protease and lipase activities on quality of Swedish raw milk. *International Dairy Journal*, 107, 104724.
- Gómez, B., Munekata, P. E., Gavahian, M., Barba, F. J., Martí-Quijal, F. J., Bolumar, T., Lorenzo, J. M., 2019. Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Research International*, 123, 95-105.
- Hasan, F., Shah, A. A., Hameed, A., 2009. Methods for detection and characterization of lipases: a comprehensive review. *Biotechnology advances*, 27(6), 782-798.
- Ho, S. Y., Mittal, G. S., Cross, J. D., 1997. Effects of high field electric pulses on the activity of selected enzymes. *Journal of food engineering*, 31(1), 69-84.
- Jaeger, K. E., Ransac, S., Dijkstra, B. W., Colson, C., van Heuvel, M., & Misset, O., 1994. Bacterial lipases. *FEMS microbiology reviews*, 15(1), 29-63.
- Krewinkel, M., Baur, C., Kranz, B., von Neubeck, M., Wenning, M., Scherer, S., ... & Fischer, L., 2016. A sensitive and robust method for direct determination of lipolytic activity in natural milk environment. *Food analytical methods*, 9(3), 646-655.
- Kumar, A., Parihar, S. S., Batra, N., 2012. Enrichment, isolation and optimization of lipase-producing *Staphylococcus* sp. from oil mill waste (Oil cake). *Journal of Experimental Sciences*, 3(8), 26-30.
- Li, N., Wang, Y., You, C., Ren, J., Chen, W., Zheng, H., & Liu, Z., 2018. Variation in raw milk microbiota throughout 12 months and the impact of weather conditions. *Scientific reports*, 8(1), 1-10.
- Machado, S. G., Baglinière, F., Marchand, S., Van Coillie, E., Vanetti, M. C., De Block, J., & Heyndrickx, M., 2017. The biodiversity of the microbiota producing heat-resistant enzymes responsible for spoilage in processed bovine milk and dairy products. *Frontiers in microbiology*, 8, 302.
- Mosqueda-Melgar, J., Elez-Martinez, P., Raybaudi-Massilia, R. M., Martin-Belloso, O., 2008. Effects of pulsed electric fields on pathogenic microorganisms of major concern in fluid foods: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(8), 747-759.
- Ohshima, T., Tamura, T., Sato, M., 2007. Influence of pulsed electric field on various enzyme activities. *Journal of Electrostatics*, 65(3), 156-161.
- Roy, R. N., 1980. Fluorimetric assay of the activity of extracellular lipases of *Pseudomonas fluorescens* and *Serratia marcescens*. *Journal of Applied Bacteriology*, 49(2), 265-271.
- Salgado, C. A., Baglinière, F., & Vanetti, M. C. D., 2020. Spoilage potential of a heat-stable lipase produced by *Serratia liquefaciens* isolated from cold raw milk. *LWT*, 126, 109289.
- Samaržija, D., Zamberlin, Š., & Pogačić, T., 2012. Psychrotrophic bacteria and their negative effects on milk and dairy products quality. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 62(2), 77-95.
- Sampedro, F., Rodrigo, M., Martinez, A., Rodrigo, D., & Barbosa-Cánovas, G. V., 2005. Quality and safety aspects of PEF application in milk and milk products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(1), 25-47.
- Saraç, N., Boran, R., Ökmen, G., & Aysel, U. G. U. R., 2008. Toprak ve Süt Kökenli Gram Pozitif Bakterilerde Lipaz Üretimi. *Research Journal of Biology Sciences*, 1(2), 23-28.
- Scudino, H., Silva, E. K., Gomes, A., Guimarães, J. T., Cunha, R. L., Sant'Ana, A. S., Cruz, A. G., 2020. Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability. *Ultrasonics sonochemistry*, 67, 105185.
- Sharma, P., Oey, I., & Everett, D. W. (2014). Effect of pulsed electric field processing on the functional properties of bovine milk. *Trends in food science & technology*, 35(2), 87-101.
- Sharma, P., Oey, I., Bremer, P., & Everett, D. W., 2014. Reduction of bacterial counts and inactivation of enzymes in bovine whole milk using pulsed electric fields. *International Dairy Journal*, 39(1), 146-156.
- Thomson, C. A., Delaquis, P. J., & Mazza, G., 1999. Detection and measurement of microbial lipase activity: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(2), 165-187.
- Ünal, R. N., Besler, H. T., 2008. Beslenmede sütün önemi. *Sağlık Bakanlığı Yayın*, 727.

- Vega-Mercado, H., Powers, J. R., Barbosa-Canovas, G. V., Swanson, B. G., 2001. *Effect of added calcium and EDTA on the inactivation of a protease from Pseudomonas fluorescens M3/6 when exposed to pulsed electric fields* (pp. 121-134). Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
- Versaw, W. K., Cuppett, S. L., Winters, D. D., Williams, L. E., 1989. An improved colorimetric assay for bacterial lipase in nonfat dry milk. *Journal of Food Science*, 54(6), 1557-1558.
- Yang, S., Suwal, S., Andersen, U., Otte, J., Ahrné, L., 2020. Effects of pulsed electric field on fat globule structure, lipase activity, and fatty acid composition in raw milk and milk with different fat globule sizes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102548.
- Yangilar, F., 2013. Süt ve Süt Ürünlerinde Hidroksimetilfurfural HMF. *Akademik Gıda*, 11(3), 70-76.
- Yangilar, F., Kabil, E., Yılmaz, F., 2013. Pef işleminin süt ve süt ürünlerinde uygulanabilirliği. *Manas Journal of Engineering*, 1(1), 43-50.
- Zhang, D., Palmer, J., Teh, K. H., Flint, S., 2020. Identification and selection of heat-stable protease and lipase-producing psychrotrophic bacteria from fresh and chilled raw milk during up to five days storage. *LWT*, 134, 110165.
- Zhang, Q., Chang, F. J., Barbosa-Cánovas, G. V., & Swanson, B. G., 1994. Inactivation of microorganisms in a semisolid model food using high voltage pulsed electric fields. *LWT-Food Science and Technology*, 27(6), 538-543.



DÜZELTME / CORRIGENDUM

YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE DOĞRULUK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bekir AKSOY^{1*}

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Görüntü İşleme, Yüz Tanıma, LDA Algoritması, PCA ve SVD Algoritması, LBP Algoritması.</i>	Yüz tanıma sistemlerinin güvenlik açısından önemi son yıllarda oldukça artmıştır. Çalışmada, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesindeki gönüllü öğrenci ve öğretim üyelerinden oluşan 41 kişiye ait ön, yan, üst ve alt yüz görüntüleri alınarak LDA, LBP ve PCA ile SVD yüz tanıma algoritmaları uygulanarak her birine ait model elde edilmiştir. Elde edilen modeller test yüz görüntüleri üzerinde sınıflandırılarak, RMSE ve MAPE performans ölçüt kriterlerine göre değerlendirilerek ön ve yan yüz tanıma sisteminde PCA ve SVD algoritması, üst ve alt yüz tanıma sisteminde ise LBP Algoritmasının en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

EVALUATION OF ACCURACY PERFORMANCE IN FACE RECOGNITION SYSTEMS

Keywords	Abstract
<i>Image Processing, Face Recognition, LDA Algorithm, PCA and SVD Algorithm, LBP Algorithm.</i>	The importance of face recognition systems has increased in recent years. In this study, front, side, upper and lower facial images of 41 people consisting of volunteer students and faculty members from Isparta University of Applied Sciences were taken and LDA, LBP-PCA and SVD facial recognition algorithms were applied and their model was obtained. The obtained models were classified on the test face images and evaluated according to the RMSE and MAPE performance criteria. In the front face and side face recognition system, PCA and SVD algorithm, in the upper and lower face recognition system LBP algorithm were found to give the best results.

Alıntı / Cite

Aksoy, B., (2019). Yüz Tanıma Sistemlerinde Doğruluk Performanslarının Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 835-842.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
B. Aksoy, 0000 0001 8052 9411	Başvuru Tarihi / Submission Date 02.05.2019 Revizyon Tarihi / Revision Date 30.05.2019 Kabul Tarihi / Accepted Date 12.06.2019 Yayın Tarihi / Published Date 19.12.2019
	Düzeltilme Tarihi / Corrigendum Date 01.07.2021 Onay Tarihi / Approved Date 14.07.2021 Yayın Tarihi / Published Date 21.09.2021

1. Düzeltilme (Corrigendum)

Derginizde 2019 yılının 4. Sayısında yayınlanan “<https://doi.org/10.21923/jesd.559887>” DOI numaralı “YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNDE DOĞRULUK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ” isimli makalemde, Katılımcılardan gönüllülük katılım formu (EK) almış olmama rağmen makalenin son bölümünde Teşekkür kısmını eklemeyi sehven unuttum. Makalem Teşekkür kısmına aşağıda vermiş olduğum teşekkür bölümünün eklenmesi için gereğini bilgilerinize arz ederim.

In my article manuscript “EVALUATION OF ACCURACY PERFORMANCE IN FACE RECOGNITION SYSTEMS” with the DOI number “<https://doi.org/10.21923/jesd.559887>” published in the 4th issue of 2019 in your journal,

* İlgili yazar / Corresponding author: bekiraksoy@isparta.edu.tr , +90-246-211-1460

although I have received the “Voluntary Participant Personal Data Processing Clarification Text (Appendix)” from the participants, the last part of the article is I mistakenly forgot to add the Acknowledgments section. I would like to submit to your information what is necessary to add the acknowledgment section that I have given below to the Acknowledgments section of my manuscript.

Teşekkür (Acknowledgements)

Çalışmada Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi’nde Gönüllülük formu ile katılım sağlayan tüm öğrenci ve öğretim üyelerine teşekkür ederim.

I would like to thank all the students and faculty members who participated in the study at Isparta University of Applied Sciences Technology Faculty with the Voluntary Participant Personal Data Processing Clarification Text.

2. Dergi Görüşü (Editorial Review)

Önerilen düzeltmeler basım için onaylanmıştır.
The corrigendum is approved for publishing.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

Herhangi yeni bir kaynak kullanılmamıştır.
No new references was used.

EK/APPENDIX:

GÖNÜLLÜ KATILIMCI KİŞİSEL VERİLERİN İŞLENMESİ AYDINLATMA METNİ

Kişisel verilerinizin bu Aydınlatma Metni kapsamında işlenmesine ilişkin olarak, kendisine ait **Dr. Öğretim Üyesi Bekir AKSOY “Veri Sorumlusu”** sıfatına sahip olup; **kişisel verileriniz** Veri Sorumlusu tarafından aşağıda açıklanan çerçevede ve her zaman 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (“**Kanun**”) ile uyumlu olarak işlenir.

1. Kişisel Verilerinizin İşlenme Amaçları:

Kişisel verileriniz, Veri Sorumlusu ile yapılan çalışmaların hukuka uygun şekilde planlanması ve icrası, Veri Sorumlusu’nun bilimsel çalışmaları kapsamında, veri minimizasyonu ilkesi gözetilerek, Veri Sorumlusu ile yapılmış “Yüz Tanıma Sistemlerinde Doğruluk Performanslarının Değerlendirilmesi” arşiv amaçlı kaydının tutulması **gibi amaçlarla işlenir.**

2. Kişisel Verilerinizin Üçüncü Kişilerle Paylaşılması

Kişisel verileriniz; bilimsel yayın/proje amaçları doğrultusunda ve amacın gerektirdiği ölçüde paylaşılacaktır. Belirtilen amaçlar dışında 3. Kişilerle veri paylaşımı hiçbir surette yapılmayacaktır.

3. Kişisel Verilerinizin Toplanma Yöntemi ve Hukuki Sebebi

Kişisel verileriniz Veri Sorumlusu tarafından, farklı kanallar ve farklı hukuki sebeplere dayanarak fiziki ve/veya elektronik ortamlarda toplanmakta, muhafaza edilmekte ve tamamen veya kısmen otomatik yöntemlerle veya bir veri kayıt sisteminin parçası olmak kaydıyla otomatik olmayan yöntemlerle işlenmektedir. Kişisel verilerinizin toplanmasına ilişkin temel hukuki sebep, bilimsel bir çalışmaya katkıda bulunmanıza ilişkindir. Bu amaçla kişisel verileriniz 6698 sayılı Kanun’un md.5/2/f ilgili kişilerin temel hak ve özgürlüklerine zarar vermemek kaydıyla, veri sorumlusunun meşru menfaatleri için zorunlu olması halinde işlenebilecektir. Bu ve kanunda sayılan hukuki sebeplerden birinin olmadığı hallerde, kişisel verileriniz ancak md.5/1 ve md.6/2 uyarınca açık rızanızın olması halinde işlenecektir.

4. Kişisel Veri Sahibinin 6698 sayılı Kanun’un 11. maddesinde Sayılan Hakları

Kişisel veri sahipleri olarak Kanun’un 11. Maddesi uyarınca;

- Kişisel verilerinizin işlenip işlenmediğini öğrenme,
- Kişisel verileriniz işlenmişse buna ilişkin bilgi talep etme,
- Kişisel verilerinizin işlenme amacını ve bunların amacına uygun kullanılıp kullanılmadığını öğrenme,
- Yurt içinde veya yurt dışında kişisel verilerinizin aktarıldığı üçüncü kişileri bilme,
- Kişisel verilerinizin eksik veya yanlış işlenmiş olması hâlinde bunların düzeltilmesini isteme ve bu kapsamda yapılan işlemin kişisel verilerinizin aktarıldığı üçüncü kişilere bildirilmesini isteme,
- 6698 sayılı Kanun ve sair mevzuat hükümlerine uygun olarak işlenmiş olmasına rağmen, işlenmesini gerektiren sebeplerin ortadan kalkması hâlinde kişisel verilerinizin silinmesini veya yok edilmesini isteme ve bu kapsamda yapılan işlemin kişisel verilerinizin aktarıldığı üçüncü kişilere bildirilmesini isteme,
- İşlenen verilerinizin münhasıran otomatik sistemler vasıtasıyla analiz edilmesi suretiyle aleyhinize olan bir sonucun ortaya çıkmasına itiraz etme,
- Kişisel verilerinizin kanuna aykırı olarak işlenmesi sebebiyle zarara uğramanız hâlinde zararın giderilmesini talep etme,

haklarınız bulunmaktadır.

TC Kimlik No:

Ad Soyad:

Tarih:

İmza: