

YAYINCI
PUBLISHER

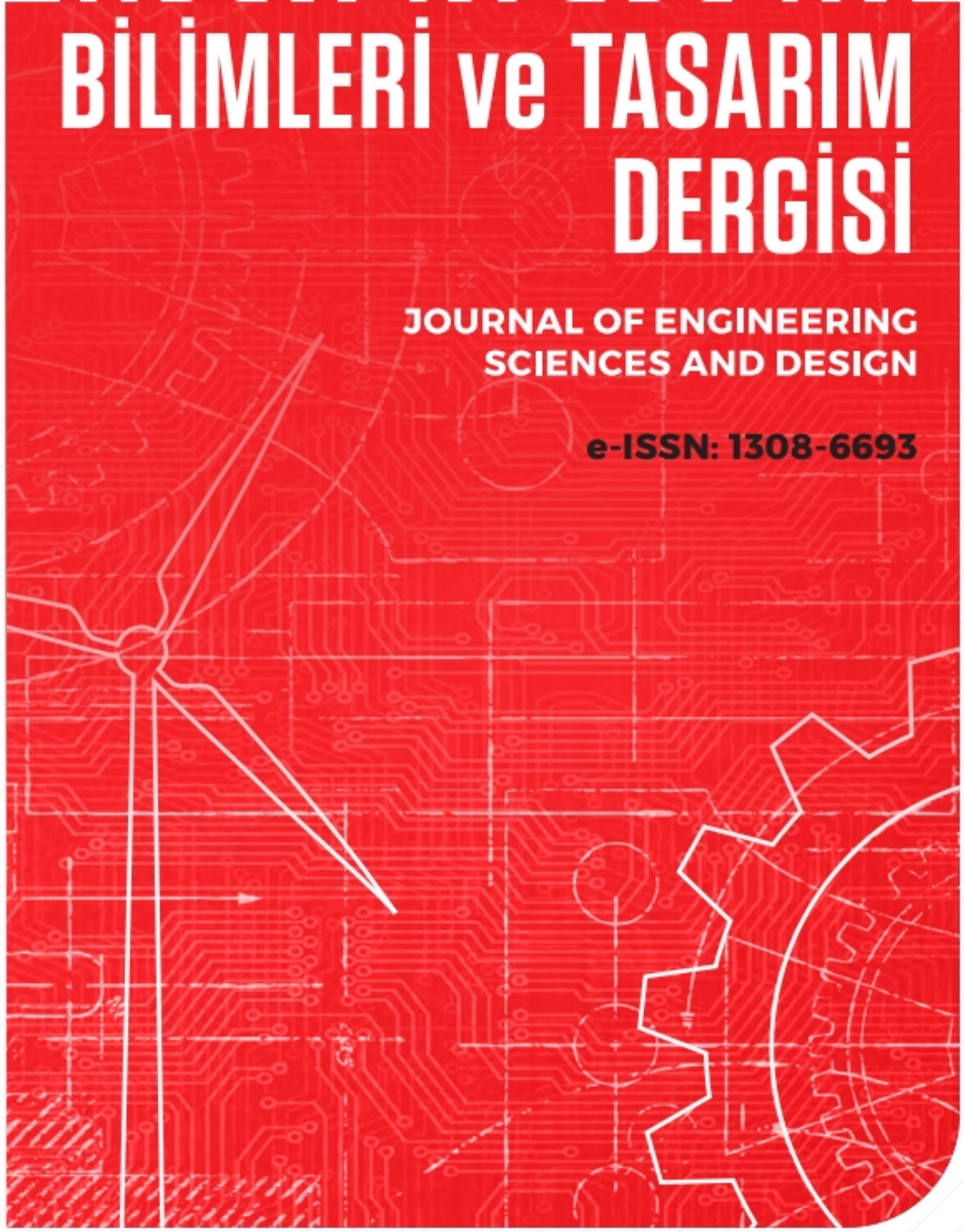


MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 2 Haziran/June 2021



- 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*
Barış GÜREL, *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 OZCELİK, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Savas OZUN, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Yunus PAMUKOĞLU, *Suleyman Demirel University, Isparta, TR*
Olca 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*

- 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*

- 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*

Araştırma Makaleleri / Research Articles

GSM VE ISM BANDI RF ENERJİ HASATLAMA SİSTEMLERİ İÇİN TEK KATLI DOĞRULTUCU DEVRE TASARIMI	359 - 365
Aysu BELEN, Mehmet Ali BELEN	
OLIVE LEAF POLYPHENOLS LOADED MUCOADHESIVE ORAL FILMS	366 - 380
Merve Deniz KÖSE, Şeyma GÜMÜŞ IŞIK, Oguz BAYRAKTAR	
KABLOSUZ İLETİŞİM SİSTEMLERİ İÇİN MAKİNA ÖĞRENİMİ DESTEKLİ ALTERNATİF SEZİCİ TASARIMI	381 - 388
Ahmet EMİR, Ferdi KARA, Hakan KAYA	
SURFACE FREE ENERGY AND FLEXURAL PROPERTIES OF WOLLASTONITE FILLED POLYPROPYLENE COMPOSITES	389 - 395
Serkan SONCU, Meral AKKOYUN	
FARKLI SİLİS VE ALÜMİN KAYNAKLARININ ATIK MERMER TOZU ESASLI ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	396 - 405
Serhat ÇELİKTEKİN, İsmail İsa ATABEY	
ADOKEN: MR İÇİN DERİN ÖĞRENME TABANLI KARAR DESTEK YAZILIMI	406 - 413
Hakan Alp EREN, Savaş OKYAY, Nihat ADAR	
ENERGY MANAGEMENT FOR PV/BATTERY STANDALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM	414 - 424
Evren İŞEN, Ömer KOÇHAN	
PREDICTION OF TURKEY'S ELECTRICITY GENERATION BY SOURCES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND BIDIRECTIONAL LONG SHORT - TERM MEMORY	425 - 435
Batin Latif AYLAK, Mehmet Hakan ÖZDEMİR, Murat İNCE, Okan ORAL	
POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN OPTİMİZASYONUNDA KARLILIK ANALİZİ VE ÇALIŞMA SÜRESİ TAYİNİ	436 - 452
Hasan GÜRSAKAL, Ali UYUMAZ	
A RESEARCH ON THE DETECTION OF FAKE BUTTER BY TRADITIONAL AND MODERN METHODS	453 - 462
Jale NAKTİYOK, Tuba Hatice DOĞAN	
SATHİ KAPLAMALI YOLLARIN YAPISAL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	463 - 475
Onur SARIOĞLU, Mehmet SALTAN	
YER RADARI (GPR) İÇİN 3B SAYISAL MODELLEMEDE FİZİKSEL PARAMETRE ETKİLERİ: DNAPL ÖRNEĞİ	476 - 494
Kerem ÖZKAP, Ertan PEKŞEN	
REGIONALIZATION AND MAPPING OF DISSOLVED OXYGEN CONCENTRATION OF SAKARYA BASIN BY L-MOMENTS METHOD	495 - 510
Hatice ÇITAKOĞLU, Betül GEMİCİ, Alev DEMİR	
MİYASTENİ GRAVİS HASTA KAYITLARINDA JİTTER ÖLÇÜMÜNDE KARŞILAŞILAN BLOKLARI VE DAVRANIŞINI ORTAYA KOYAN YENİ BİR METODOLOJİ	511 - 519
Necdet Tuğrul ARTUĞ	
EGZOZ GAZLARINI KULLANAN TERMAL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİNDE RT35 PARAFİN MUMUNUN ERİME VE KATIŞMA SÜREÇLERİNİN SAYISAL ANALİZİ	520 - 534
Habib GÜRBÜZ, Durukan ATEŞ	
YERALTI SUYU ARAMALARINDA JEOFİZİK ÖZDİRENÇ UYGULAMALARI	535 - 543
Kenan GELİŞLİ, Ali Erden BABACAN	
TEŞİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİNDE MİNİMUM KARBON EMİSYONU YAKLAŞIMI: BİR ÜNİVERSİTENİN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNETİMİ İÇİN UYGULAMA	544 - 553
Fatma Talya SUDABAŞ, Selin SONER KARA	

<i>PERCEIVED SAFETY AND AFFECTING FACTORS IN URBAN NEIGHBORHOODS</i> Deniz GERÇEK, İsmail Talih GÜVEN	554 - 560
<i>KONTROLLÜ İLAÇ SALIMINDA SİLİMARİN YÜKLÜ ALJİNAT MİKROKAPSÜL VE BONCUKLARININ HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU</i> Fatma Burcu ALP	561 - 573
<i>DÜŞÜK SICAKLIĞA SAHİP JEOTERMAL KUYULARDA GÜÇ ÜRETİMİ EKSERJETİK PERFORMANS ANALİZİ</i> Mehmet ALTINKAYNAK, Doğançan ÇELİK	574 - 587
<i>EXACT SOLUTIONS FOR AXIAL STATIC ANALYSIS OF NANORODS USING WEIGHTED RESIDUALS</i> Mustafa Özgür YAYLI, Uğur KAFKAS, Büşra UZUN	588 - 598
<i>İÇ ORTAM SICAKLIĞININ ISITMA VE SOĞUTMA DERECE SAAT DEĞERLERİNE ETKİSİNİN SAKARYA İÇİN ARAŞTIRILMASI</i> Mustafa ERTÜRK	599 - 605
<i>TERSİNE MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA SOLIDWORKS SCAN TO 3D MODÜLÜ KULLANARAK TARAMA DATASINDAN KATI MODEL OLUŞTURULMASI</i> İsmet ÇELİK, Ebru IŞIK	606 - 615
<i>AYLIK VE SEZONLUK YİRMİ DÖRT SAAT ISITMA DERECE SAAT DEĞERLERİNİN SAKARYA İÇİN TAHMİN EDİLMESİ</i> Yusuf ÇAY, Mustafa ERTÜRK	616 - 627
<i>IS IT POSSIBLE TO MAKE FEWER EXPERIMENTS: PREDICTION OF BACTERIAL SURVIVAL/DEATH PROBABILITY FOR HIGH-PRESSURE PROCESSING WITH THE BAYESIAN APPROACH?</i> Sebahattin Serhat TURGUT	628 - 640
<i>SUYA DOYGUN KİLLİ ZEMİNDE TASARLANAN KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMLERİNİN DEFORMASYONA DAYALI OPTİMİZASYONU: KIBRIS ADASI ÖRNEĞİ</i> Ömür ÇİMEN, Uğur OSMANOĞLU	641 - 654
<i>BALIKESİR CİVARINDA YÜZEYLEYEN İZMİR- ANKARA ZONU MESOZOYİK KİREÇTAŞLARININ MALZEME VE BETON AGREGASI ÖZELLİKLERİ</i> Hakan ELÇİ, Şener CERYAN, Özge ÖZSU, Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN	655 - 665
<i>BATMAN-HASANKEYF-GERCÜŞ-MİDYAT KARAYOLU GÜZERGAHINDAKİ YÜKSEK ŞEVLERİN DURAYLILIKLARININ FARKLI ANALİZ PROGRAMLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ</i> Aykut EKE, Atiye TUĞRUL, Murat YILMAZ	666 - 682
<i>BİLİŞİM ALTYAPISI ÜZERİNE SUNUCUSUZ MİMARİ PLATFORMU İNŞA ETME</i> Mete KÖSE, Ecir KÜÇÜKSİLLE	683 - 700

Derleme Makaleler / Review Articles

<i>COVID-19 HASTALIĞININ TEŞHİSİNDE DERİN ÖĞRENME VE VERİ MAHREMİYETİ</i> Yavuz CANBAY, Abdullah İSMETOĞLU, Pelin CANBAY	701 - 715
---	-----------



GSM VE ISM BANDI RF ENERJİ HASATLAMA SİSTEMLERİ İÇİN TEK KATLI DOĞRULTUCU DEVRE TASARIMI

Aysu BELEN^{1*}, Mehmet Ali BELEN²

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksek Okulu, Hibrid ve Elektrikli Araçlar Bölümü, Hatay, Türkiye

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

Anahtar Kelimeler

RF Enerji Hasatlama,
Kablosuz Enerji Transferi,
GSM,
ISM,
SMS7630.

Öz

Kablosuz haberleşme sistemlerinin yaygınlaşmasıyla ortamlarda pek çok frekansta sinyaller bulunmaktadır. Ortamda bulunan mevcut sinyallerin enerji kaynağı olarak dönüştürülmesini hedefleyen sistemler enerji hasatlama sistemleridir. Bu sistemlerin temel kullanım amacı düşük güç tüketimine sahip haberleşme aygıtlarının pil ömürlerini uzatmaktır. Bu çalışma kapsamında 1.8GHz ile 2.5GHz Frekanslarını kapsayan geniş bantlı tek katlı RF doğrultucu devre tasarımı sunulmuştur. Kapsadığı geniş frekans bandından dolayı bu band içerisinde yer alan GSM ve ISM band uygulamalarında kullanılması uygundur. RF doğrultucu devrenin uyumlandırma katında mikroşerit inter dijital kapasitör ve mikroşerit saplama yapıları kullanılmıştır. Tasarlanan devreye 0dBm giriş gücünde 1.8GHz de 100ohm yük direncinde 38mV iken 100Kohm yük direncinde 141mV ve 2.4GHz de 100ohm yük direncinde 125.6mV iken 100Kohm yük direncinde 199mV çıkış gerilimi elde edilmiştir. Doğrultucunun çıkış direnç değeri 100ohm ile 100Kohm arasında değiştirilerek, yük değeri değişiminin doğrultucu performansına etkisi incelenmiştir.

SINGLE STAGE RECTIFIER CIRCUIT DESIGN FOR GSM AND ISM BAND RF ENERGY HARVESTING SYSTEMS

Keywords

RF Energy Harversting,
Wireless Energy Transfer,
GSM,
ISM,
SMS7630.

Abstract

With the expansion of wireless communication systems, the amount of signal in our environment are also increased. RF harvesting systems are designs that aims to harness these available energy in the environment. The main application of these systems, is to provide aid or extend the battery life of communication systems with low power consumption. Herein, design of a single stage RF harvester design with operation band of 1.8-2.5 GHz had been studied. Due to the available GSM and ISM band signals, the proposed design would have good performance results. For design of rectifier stage of RF harvester, Microstrip inter-digital capacitor and microstrip stub designs had been used. With a 0 dBm input power, the designed RF harvester had obtained output voltage of (38/141) mV with a load of 100/100K ohm and (125.6/199) mV for load of 100/100K ohm at 1.8 and 2.4 GHz respectively. The output impedance value of the RF harvester had been take taken between 100-100k ohm to evaluate the performance of the design for different load values.

Alıntı / Cite

Belen, A., Belen, M. A., (2021). GSM ve ISM Bandı RF Enerji Hasatlama Sistemleri için Tek Katlı Doğrultucu Devre Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 359-365.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Belen, 0000-0001-5038-424X
M. A. Belen, 0000-0001-5588-9407

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.04.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.06.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: aysu.belen@iste.edu.tr, +90-326-618-29-31

1. Giriş (Introduction)

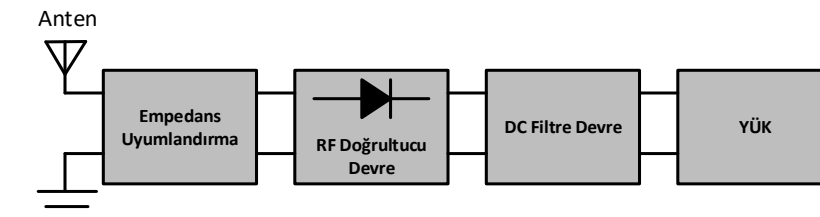
Günlük hayatımızda fabrikalardan sensör ağlarına, akıllı binalardan insan vücuduna kadar pek çok alanda kablosuz sensör ağları yer almaktadır. Mobil baz istasyonları, TV yayınları, el telsizleri ve cep telefonları dahil olmak üzere milyonlar ve hatta milyarlarca farklı cihazdan RF sinyal yayılmakta olup, bu sayı gün geçtikçe artan cihaz ve kullanıcı sayılarına bağlı olarak daha da artmaktadır (Paradiso, Starner, 2005), (Rebello, 2010). Burada önemli araştırmalardan biri (Cheng, Chawathe, 2005) tarafından sunulan, geniş bantlı mobil cihazların sayısının bir milyardan fazla bir sayıya ulaşması olduğu söylenebilir. Dikkat edilmesi gereken bir başka husus ise, dizüstü bilgisayar ve benzeri kablosuz WI-FI ve ISM bandında çalışan cihazların sayısının artması verilen değerlerinde gün geçtikçe artacağına belirgin bir işarettir. Tipik bir kentsel alan konumunda bir cihaz birden fazla Wi-Fi vericisinden sinyal alabilir (Cheng, Chawathe, 2005), veya kapalı alanlardaki kamu erişim noktalarından 100mW güç seviyesindeki sinyallerin algılanması beklenen bir durumdur. Bu veriler göz önüne alındığında, düşük güçlü cihazların batarya ömrünü uzatmak ya da batarya kullanımını ortadan kaldırmak için RF enerji hasatlayıcı devrelerin kullanılabilirliği belirtilmiştir (Gilbert, Balouchi, 2008; Curty, Joehl, 2000). Ortamda bulunan mevcut sinyallerin enerji kaynağı olarak dönüştürülmesini hedefleyen sistemler enerji hasatlama sistemleridir (Kasar ve ark., 2019). Hagerty ve arkadaşları tarafından 2006 yılında dizi anten yapısı ile 2 - 18 GHz bant aralığında, RF gücünü hastalanmayı hedefleyen çalışma gerçekleştirilmiştir. Uzak alan RF enerji hasatlama çalışmalarına örnek verilmesi gereken ilginç çalışmalardan biri ise, Intel Research Seattle tarafından 960KW çıkış enerjisine sahip bir TV yayın istasyonu ile 4 km mesafedeki bir RF hasatlayıcı sisteminin performans incelemesi olmuştur (Sample, A., Smith, 2009). Başka bir benzer uzak alan RF enerji hasatlama çalışması ise, 5 kW çıkış gücüne sahip bir AM radyo verici istasyonu ile 2.4 km uzaktaki RF hasatlayıcı sisteminin performans incelemesi yapılmıştır (Ostaffe, 2010). Literatürde RF enerji hasatlama sistemleri için pek çok devre önerilmiştir. Bunlardan bir tanesinde Greinacher doğrultma devresidir. Bu devre düşük akım ve gerilimlere cevap verebilen şotki diyotu kullanılarak çıkış yükü üzerinde yüksek güç dönüştürme verimi ve yüksek DC gerilim elde edilmesini sağlamaktadır (Gozel ve ark., 2019), (Belen, 2018).

Düşük güçlü enerji tüketiminin yaygınlaşması sonucunda üreticiler yeni geliştirdikleri ürünlerini müşterilere düşük güç tüketen, "çok düşük güç tüketen" ve "aşırı düşük güç tüketen" diye pazarlamaktadır. Örneğin Texas Instruments'ın ürettiği 16 bit "çok düşük güç tüketen" MSP430FR597 mikroişlemcisi aktif modda yaklaşık 400 μ A, bekleme modunda ise yalnızca 0.4 μ A akım çekmektedir(MSP430FR597). Bu ürünler ne kadar düşük güç tüketimine sahip olursa olsun bataryalarının doluluğunun takip edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada enerji hasatlama devreleri ortaya çıkmıştır. Ayrıca enerji hasatlama devrelerinin kullanımı üzerine, cep telefonlarının, dizüstü bilgisayarların, tabletlerin pil ömürlerinin arttırılması üzerine çalışılmaktadır. (Liang vd., 2019; Song vd., 2019).

Bu çalışma kapsamında GSM ve ISM bandlarında kullanılmak üzere tek katlı doğrultucu devre önerilmiştir. Doğrultucu devre giriş empedansı 50ohm olarak uyumlandırma katı tasarlanmıştır. Bu katta mikroşerit saplama yapısı ve interdigital kapasitör kullanılarak 1.8GHz ile 2.5GHz arasında -10dB band genişliği elde edilmiştir. Elde edilen düşük güç seviyeleri ile kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılan sensörlerin, cihazların pil ömürleri uzatılabilir olacaktır.

2. RF Enerji Hasatlayıcı Devre Tasarımı (RF Energy Harvester Design)

Şekil 1'de RF enerji hasatlayıcı sistem blok şeması gösterilmiştir. Sistemin ilk bileşeni olan anten; ortamdaki elektromanyetik sinyallerin toplanması görevini görmektedir. Empedans uyumlandırma devresi doğrultucu devre ile anten girişi arasındaki empedans uyumsuzluğunu gidererek sistemdeki kayıpları önlemektedir. Doğrultulan sinyalin DC çıkış gücü yüke aktarılmadan önce DC filtre devresi tarafından filtrelenir. Tasarım aşamasında RF doğrultucu devre giriş empedansı 50ohm olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 1. RF Enerji Hasatlayıcı Blok Şeması (RF Energy Harvester Block Diagram)

2.1. Uyumlandırma Katı Tasarımı (Matching Stage Design)

RF enerji hasatlayıcıların kablosuz güç iletimi sistemlerinden farkı hasatlayıcıların çok düşük güçlerle çalışmasıdır. Bu nedenle hasatlayıcıların mümkün olduğunca yüksek verimle çalışması gerekir. Anten vasıtasıyla ortamdan alınan gücün verimli bir şekilde doğrultucuya aktarılması vazifesini uyumlandırma katı gerçekleştirmektedir. Doğrultucu devre elemanı olan diyotun doğrusal olmayan çalışma karakteristiğinden dolayı empedans uyumsuzlukları olabilir. Bu uyumsuzlukları uyumlandırma katı kullanarak en aza indirebiliriz. Uyumlandırma katı RF sinyal girişinde meydana gelebilecek enerji yansımaları elimine edilerek çıkış voltajının düşmesi engellenebilecektir. Herhangi bir empedans uyumlandırma tekniği (Toplu elemanlar, Tek saplama yöntemi gibi) devre girişinde uygulanarak farklı bir frekansta rezonansa gelmesi sağlanabilir. Uyumlandırma katı tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus giriş ve çıkış empedans değerleridir. Toplu elemanlar ile yapılan uyumlandırma katlarında uygun değerde eleman temini sorunu, sinyalde kayıp, parazitik etkiler gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında RF doğrultucu devrenin uyumlandırma katında mikroşerit inter dijital kapasitör ve mikroşerit saplama yapıları kullanılarak uyumlandırma sağlanmıştır.

2.2. Şotki Diyot Seçimi (Schottky Diode Selection)

RF enerji hasatlamada dikkat edilmesi gereken en önemli tasarım parametrelerinden biri diyot seçimidir. Bu tarz çalışmalarda ortamdaki enerjinin güç değerlerinin az olması nedeni ile seçilecek olan diyotlarında olabildiğince düşük açılma gerilim değeri yanı sıra, yüksek anahtarlama hızına da sahip olması gerekmektedir (H. Yan, J. G. M. Montero, 2005). Önerilen çalışma kapsamında hedeflenen 1.8 ve 2.4 GHz frekanslarında çalışacak olan geniş bantlı doğrultucu devre tasarımı için toplu (lumped) elemanlar ile SMS-7630 schottky diyot elemanı kullanılmıştır.

Tablo 1. Şotki diyotlar ve parametreleri (Rehman ve ark., 2017). (Schottky diodes and parameters)

Diode	V _t (V)	V _b (V)	R _s (ohm)	J _c (pF)
HSMS-2860	0.65	7	6	0.18
HSMS-8202	0.35	4	14	0.26
SMS-7630	0.34	2	20	0.14
SMS7621	0.55	3	12	0.1
MA-40417	0.65	11	4.9	0.04

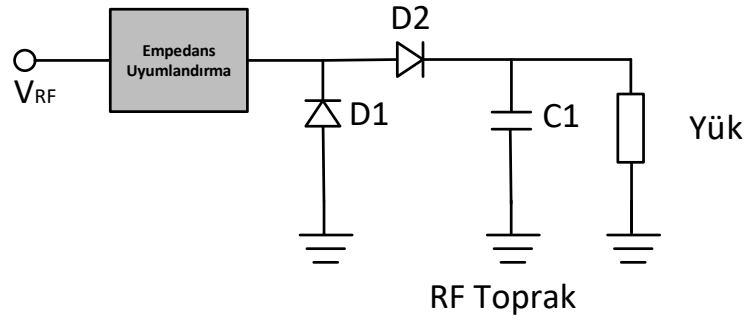
Belirlenen çalışma frekansı için (1.8-5 GHz) en iyi diyot elemanını seçimi için piyasada bulunan bazı ticari ürünler incelenmiş olup tablo 1’de parametreleri ile birlikte listelenmişlerdir (Rehman ve ark., 2017). Tablodan da görüleceği üzere, en düşük V_t değeri SMS-7630 elemanı ile elde edilmektedir. Buda diyotun, diğer elemanlara kıyasla daha düşük bir giriş gücü ile aktif hale gelebileceğini göstermektedir ve bu neden ile en iyi seçim olacaktır. Bir diğer önemli parametre ise J_c diğer diyot yapılarındaki bu değer yüksek olması elemanların performanslarının yüksek frekanslarda bozulacağını göstermektedir. Her ne kadarda (MA-40417 ve SMS-7621 elemanlarının değerleri daha iyi olsa da bu elemanların eşik değerlerinden dolayı daha yüksek bir giriş gücüne ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısı ile çalışma kapsamında kullanılacak en uygun diyot yapısı SMS-7630 elemanı olarak seçilmiştir.

2.3. Yük Empedansı Seçimi (Load Impedance Selection)

Kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan elektronik bileşenlerin belirli bir yük empedansı bulunmaktadır, bu aralıkların dışında çalışıldığında çalışma performansı düşmektedir. Bu nedenle RF doğrultucu devrelerde yük empedans aralığının seçilmesi önemli bir kriterdir. Bu çalışmada devrenin yük empedansı 4 farklı yük (100ohm, 1Kohm, 10Kohm, 100Kohm) üzerinden incelenerek yük değerinin değişiminin devre performansına etkisi gözlenmiştir.

2.4. Doğrultucu Tasarımı (Rectifier Design)

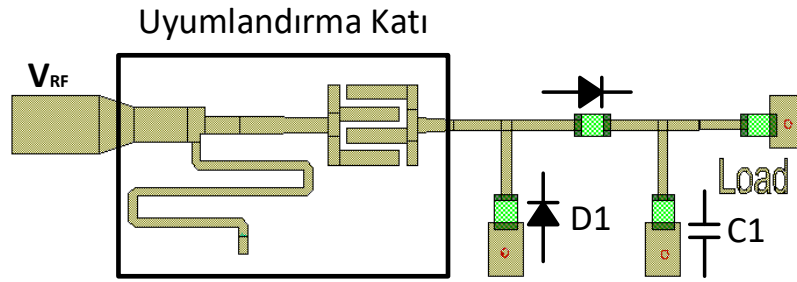
Kablosuz haberleşme sistemlerinin yaygınlaşmasıyla ortamlarda pek çok frekansta sinyaller bulunmaktadır. Ortamda bulunan mevcut sinyallerin enerji kaynağı olarak dönüştürülmesini hedefleyen tek katlı doğrultucu devrenin gösterimi şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’de D1 ve D2 zero-bias low barrier schottky diyotları kullanılarak düşük güçlü RF sinyallerin yüksek çıkış gerilimi ile toplanması sağlanmıştır. Devrenin girişinde 50ohm giriş empedansına göre uyumlandırma katı eklenmiştir. Uyumlandırma katı antenin doğrultucu katına maksimum güç aktarmasında önem taşımaktadır. Bir enerji hasatlama devresinde çalışma performansının değerlendirildiği parametreler; çalışma frekansı, toplam güç dönüştürme verimi ve yük direncine göre çıkış gerilimidir (Gozel ve ark., 2019), (Kasar ve ark., 2019).



Şekil 2. Tek Katlı Tam Dalgı Doğrultucu (Single Stage Full Wave Rectifier)

1.8GHz (GSM) ve 2.4(ISM) bandlarını kapsayan geniş bandlı tek katlı doğrultucu devre tasarımı bu çalışma kapsamında önerilmiştir. +30dBm ile -30dBm arasında devreye giriş gücü uygulanarak yük üzerinden alınabilecek güç seviyesi izlenmiştir.

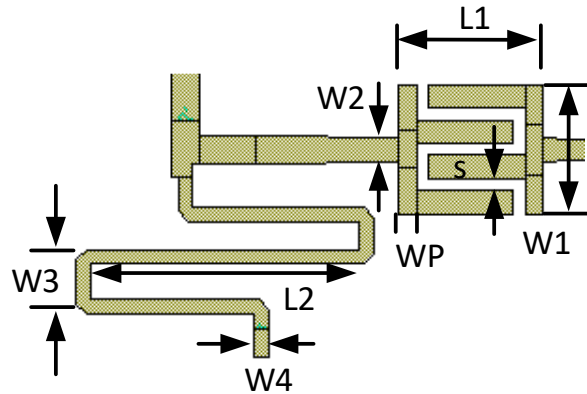
Şekil 3'te uyumlandırılmış devrenin şematik devre gösterimi verilmiştir. D1 diyot modeli olarak SMS7630, C1 kapasite değeri 100pF kullanılmıştır. Devre boyutları 45mmx30mm dir.



Şekil 3. Tek Katlı Tam Dalgı Doğrultucusu Baskı Devre Gösterimi (Single Stage Full Wave Rectifier Printed Circuit)

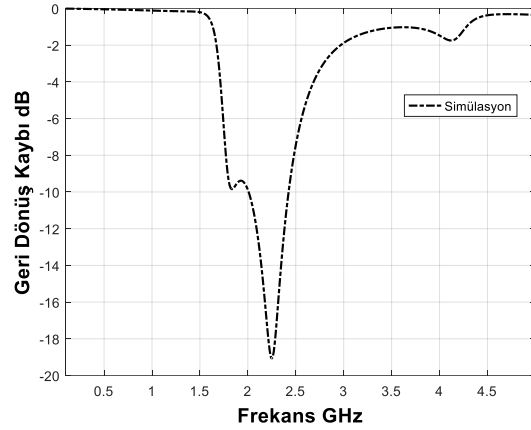
Tablo 2. Uyumlandırma katı parametre listesi (Matching stage parameter list)

L1	5.14mm	W1	4.58mm
L2	10.5mm	W2	0.88mm
WP	0.65mm	W3	2.25mm
S	0.4mm	W4	0.5mm



Şekil 4. Geniş Band Uyumlandırma Devresi (Wideband Matching Circuit)

Şekil 4'teki devre yapısında uyumlama devresi tasarlanmış, bu uyumlama devresi interdigital kapasitör ve mikroşerit saplama elemanlarını kapsamaktadır. Uyumlandırma katı değişken parametreleri tablo 2'de verilmiştir. Şekil 5'te devreye ait geri-dönüş (S_{11}) kaybı verilmiş olup, görüleceği üzere, hedeflenen çalışma bant aralığında -10dB den daha az bir değere sahiptir. 1.75GHz ile 2.45GHz arasında -10dB band genişliği elde edilmiştir.



Şekil 5. Uyumlandırılmış tek katlı devrenin geri dönüş kaybı (Return Loss of Matched Single Stage Circuit)

Şekil 3'te verilen devrenin yük direnci (100ohm, 1Kohm, 10Kohm ve 100Kohm) değiştirilerek çıkışta elde edilebilecek çıkış güçleri Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Düşük yük direncinde elde edilen çıkış gücünün daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Doğrultucu devrede düşük yük direncinde verim yüksek olmasına rağmen çıkışta elde edilen gerilim değeri düşük seviyededir.

Tablo 3. 100 ohm ile 100Kohm Arasında Giriş Gücüne Göre Çıkış Gücü 1.8GHz (Variation of output power with respect to input power for different loads (100-100k Ω))

Giriş Gücü dBm	Çıkış Gücü dBm			
	100ohm	1Kohm	10Kohm	100Kohm
-30	-40.7	-48.5	-58.4	-68.4
-25	-35.7	-43.6	-53.5	-63.3
-20	-30.7	-38.4	-48.34	-58.2
-15	-25.5	-33.5	-43.12	-52.8
-10	-20.8	-28.4	-37.8	-47.3
-5	-15.6	-23.2	-32.5	-42
0	-10.8	-18.4	-27.5	-37.1
5	-5.6	-13.4	-22.63	-32.5
10	-0.6	-8.4	-17.8	-27.8
15	4.3	-3.5	-13.1	-23.1
20	9.4	1.6	-8.3	-18.2
25	14.3	6.5	-3.33	-13.3
30	19.3	11.5	1.63	-8.4

Tablo 4. 100 ohm ile 100Kohm Arasında Giriş Gücüne Göre Çıkış Gücü 2.4GHz (Output power @ 2.4 GHz for variant loads (100-100k Ω))

Giriş Gücü dBm	Çıkış Gücü dBm			
	100ohm	1Kohm	10Kohm	100Kohm
-30	-38.1	-44.8	-54.6	-64.57
-25	-33.6	-39.8	-49.6	-59.5
-20	-28.1	-34.8	-44.5	-54.5
-15	-23.6	-29.79	-39.5	-49.3
-10	-18	-24.77	-34.3	-44.12
-5	-13	-19.75	-29.2	-39
0	-8	-14.7	-24.2	-34
5	-3.1	-9.7	-19.3	-29
10	1.96	-4.7	-14.36	-24.3
15	7	0.25	-9.4	-19.4
20	12	5.25	-4.5	-14.5
25	17	10.24	0.5	-9.5
30	22	15.23	5.5	-4.5

Tablo 5'de SMS7630 diyotlu tek katlı doğrultucu devre tasarımı iki farklı yük direnci için elde edilebilecek DC gerilim seviyesi verilmiştir. -30dBm ile +30dBm arasında RF giriş uygulanarak çıkış gerilimi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tek katlı doğrultma devresinin düşük yük direncinde verimi yüksek olduğu, yüksek yük

direncinde ise çıkış voltajının yüksek olduğu gözlenmiştir. Buradan RF doğrultucu devrenin kullanılacağı uygulamaya göre yük direnci seçiminin önemi anlaşılmaktadır.

Tablo 5. RF Giriş gücü – DC Çıkış gerilim (PIN-VOUT) (Input RF power – DC output voltage values)

Giriş RF Gücü (dBm)	Vout (mV) (DC)			
	100ohm (1.8GHz)	100Kohm (1.8GHz)	100ohm (2.4GHz)	100Kohm (2.4GHz)
-20	9.2	12.2	12.5	18.8
-10	28.9	43.1	39.7	62.2
0	38	141	125.6	199
10	294	407.4	396.2	608
20	932	1228.8	1261	1871
30	2910	3800	3974.9	5950

Tablo 6’da tasarlanan doğrultucu devrenin performansı literatürdeki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, doğrultucu devre tasarımı ile düşük empedans seçiminde veriminin daha yüksek, yüksek empedans seçiminde ise çıkış geriliminin arttığı gözlenmiştir. Bu konuda yapılacak iyileştirme çalışmalarında kullanılacak sistem yükünün belirlenerek devrenin çıkış gerilimi arttırılabilir.

Tablo 6. Doğrultucu Performans Karşılaştırması (Comparison of Rectifier Performances)

Kaynak	Bu Çalışmada	(Papotto, Carrara, 2011)	(Le, Mayaram, 2008)	(Kasar ve ark., 2019).	(Liu ve ark., 2019).
f (GHz)	1.8 / 2.4	0.9	0.91	2.45	2.1
P_{RF} (dBm)	10	-22	-15	9	0
V_{rec} (V)	0.4 / 0.6	1	2.8	1	0.8
Kademe	1	17	16	1	2
Teknoloji	SMS7630	CMOS 90um	CMOS 150um	HSMS-285C	SMS7630
Boyut	45mmx30mm	1.31mmx1.03mm	---	67.4mmx11.2mm	40mmx25mm

3. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında GSM ve ISM bandlarında kullanılmak üzere tek katlı doğrultucu devre önerilmiştir. Doğrultucu devre giriş empedansı 50ohm olarak uyumlandırma katı tasarlanmıştır. Bu katta mikroşerit saplama yapısı ve interdigital kapasitör kullanılarak 1.8GHz ile 2.5GHz arasında -10dB band genişliği elde edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında yük direnci değerinin değeri değiştirilerek doğrultucu verimi ve çıkış voltajı değişimi incelenmiştir. Tek katlı doğrultucu devresinin düşük yük direncinde verimi yüksek olduğu, yüksek yük direncinde ise çıkış voltajının yüksek olduğu gözlenmiştir. Buradan RF doğrultucu devrenin kullanılacağı uygulamaya göre yük direnci seçiminin önemi anlaşılmaktadır. 10dBm giriş gücünde 1.8GHz de 100ohm yük direncinde 294mV iken 100Kohm yük direncinde 407mV ve 2.4GHz de 100ohm yük direncinde 396mV iken 100Kohm yük direncinde 608mV çıkış gerilimi elde edilmiştir. Elde edilen düşük güç seviyeleri ile kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılan sensörlerin, cihazların pil ömürleri uzatılabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Belen, M.A. 2018. RF Enerji Hasatlama Sistemleri için Çift Bandlı Greinacher Doğrultucu Devre Tasarımı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6, 2, 348–353.
- Cheng, Y.-C., Chawathe, Y., LaMarca, A., Krumm, J., 2005. Accuracy Characterization for Metropolitan-Scale Wi-Fi Localization. Proc. Third Int. Conf. on Mobile Systems, 233–245.
- Curty, J.-P., Joehl, N., Krummenacher, F., Dehollain, C., Declercq, M., 2000. A model for m-power rectifier analysis and design. IEEE Trans. Circuits Syst. I, 52 (12), 2771–2779.
- Gilbert, J.M., Balouchi, F., 2008. Comparison of energy harvesting systems for wireless sensor networks. Int. J. Autom. Comput., 5 (4), 334–347.

- Gozel, M. A., Kahrman, M., Kasar, O. (2019). Design of an Efficiency-Enhanced Greinacher Rectifier Operating in the GSM 1800 Band by using Rat-Race Coupler For RF Energy Harvesting Applications. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29 (1), 1-8.
- Hagerty, J.A., Helmbrecht, F.B., McCalpin, W.H., Zane, R., Popovic, Z.B., 2004. Recycling ambient microwave energy with broadband rectenna arrays. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, 52(3), 1014–1024.
- Kasar, O., Kahrman, M., Gozel, M. A. (2019). Application of Ultra Wideband RF Energy Harvesting by Using Multisection Wilkinson Power Combiner. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29 (1), 1-8.
- Kasar, O , Kahrman, M , Gözel, M . (2019). Wilkinson Güç Birleştirici Kullanarak İki Girişli RF Enerji Hasatlama Devresi ve DC Yük Analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1), 68-72.
- Le, T., Mayaram, K., Fiez, T., 2008. Efficient Far-Field Radio Frequency Energy Harvesting For Passively Powered Sensor Networks. *IEEE J. Solid-State Circuits*, 43 (5), 1287–1302.
- Liang, X., Zhao, T., Jiang, W., Yu, X., Hu, Y., Zhu, P., Zheng, H., Sun, R., Wong, C.-P. (2019). Highly Transparent Triboelectric Nanogenerator Utilizing in-situ Chemically Welded Silver Nanowire Network as Electrode for Mechanical Energy Harvesting and Body Motion Monitoring. *Nano Energy*, 59, 508-516.
- Liu, W., Huang, K., Wang, T., Zhang, Z., Hou, J., (2020). A Broadband High-Efficiency RF Rectifier for Ambient RF Energy Harvesting," *IEEE Microw. e Wirel. Comp. Lett.*, vol. 30, no. 12, pp. 1185-1188, Dec. 2020, doi: 10.1109/LMWC.2020.3028607.
- MSP430FR597x(1), MSP430FR587x(1) Mixed-Signal Microcontrollers (Rev. B), <http://www.ti.com/lit/ds/slase66b/slase66b.pdf>, (Accessed on 05/04/2021).
- Olgun, U., Chen, C.-C., Volakis, J.L., 2012. Design of an Efficient Ambient WiFi Energy Harvesting System. *IET Microw. Antennas Propag.*, 6(11), 1200–1206.
- Ostafte, H., 2010. Power out of Thin Air: Ambient RF Energy Harvesting for Wireless Sensors. <http://powercastco.com/PDF/Power-Out-of-Thin-Air.pdf>
- Papotto, G., Carrara, F., Palmisano, G., 2011. A 90-nm CMOS Threshold-Compensated RF Energy Harvester, *Solid-State Circuits. IEEE Journal Solid-State Circuits* , 46(9), 1985 – 1997.
- Paradiso, J.A., Starner, T., 2005. Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics. *IEEE Pervasive Comput.*, 4 (1), 18–27.
- Rebello, J., 2010. Global Wireless Subscriptions Reach 5 Billion. Available: <http://www.isuppli.com/Mobile-and-Wireless-communications/News/Pages/Global-Wireless-Subscriptions-Reach-5-Billion.aspx>
- Rehman, M. U., Ahmad W., Qureshi, M. I., Khan, W. T. 2017. A Highly Efficient Tri Band (GSM1800, WiFi2400 and WiFi5000) Rectifier for Various Radio Frequency Harvesting Applications, 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS - FALL), 2017, 2039-2044.
- Sample, A., Smith, J., 2009. Experimental Results with Two Wireless Power Transfer Systems. *Proc. IEEE RWS*, 16–18.
- Song, G. J., Kim, K.-B., Cho, J. Y., Woo, M. S., Ahn, J. H., Eom, J. H., Ko, S. M., Yang, C. H., Do Hong, S., Jeong, S. Y. 2019. Performance of a Speed Bump Piezoelectric Energy Harvester for an Automatic Cellphone Charging System. *Applied Energy*, 247, 221-227.
- Yan, H., Montero, J. G. M., Akhnoikh, A., de Vreede, L. C. N., Burghart, J. N., 2005. An integration Scheme for RF Power Harvesting. 8th Annu. Workshop Semiconductor Advances Future Electron. Sensors, Veldhoven, the Netherlands.



OLIVE LEAF POLYPHENOLS LOADED MUCOADHESIVE ORAL FILMS

Merve Deniz KÖSE¹, Şeyma GÜMÜŞ IŞIK¹, Oguz BAYRAKTAR^{2*}

¹ Department of Chemical Engineering, Ege University, İzmir, Turkey

² Department of Bioengineering, Ege University, İzmir, Turkey

Keywords

*Mouth Dissolving Film,
Oral Film,
Carboxymethyl Chitosan,
Okra Gum,
Olive Leaf Extract.*

Abstract

Among drug delivery systems, mouth dissolving films (MDFs) are a form of drug administration with many advantages. Some problems could be experienced, primarily in pediatric and geriatric patients with conventional drug delivery methods as swallowing. It is of great convenience to dispensing the drug with a film dispersed in the mouth in such cases. In this study, for the preparation of films, the solvent casting method was preferred. The effect of biopolymer ratio and loaded olive leaf extract on the film properties were investigated with the central composite experimental design. Characterization studies of the prepared films were done with AFM, SEM, and FTIR analysis. Based on the characterization studies, the four best formulations were chosen, and further investigations were focused on these formulations. Formulation 8 was chosen as the optimum formulation among 17 formulations due to its better film properties as flexibility and homogeneity, lower disintegration time 200s, and a higher antioxidant capacity 3.21 mM TEAC/g MDF. The obtained data revealed that it is possible to deliver olive leaf polyphenols with the prepared mouth dissolving films.

ZEYTİN YAPRAĞI POLİFENOLLERİ YÜKLÜ MUKOADHESİF ORAL FİLMLER

Anahtar Kelimeler

*Ağızda Çözünen Film,
Oral Film,
Karboksimetil Kitosan,
Bamya Zamkı,
Zeytin Yaprağı Ekstraktı.*

Öz

İlaç aktarım sistemleri arasında, ağızda çözünen filmler (AÇF'ler) birçok avantajı olan bir ilaç uygulama şeklidir. Yutma gerektiren geleneksel ilaç verme yöntemleri ile özellikle pediatrik ve geriatric hastalarda bazı sorunlar yaşanabilir. Bu gibi durumlarda, ilacın ağızda dağılmış bir filmle verilmesi büyük kolaylık sağlar. Bu çalışmada, filmlerin hazırlanması için solvent döküm yöntemi tercih edilmiştir. Biyopolimer oranı ve yüklenmiş zeytin yaprağı ekstraktının film özellikleri üzerindeki etkisi, merkezi kompozit deneysel tasarım ile araştırılmıştır. Hazırlanan filmlerin karakterizasyon çalışmaları AFM, SEM ve FTIR analizleri ile yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmalarına dayanarak, en iyi dört formülasyon seçilmiş ve araştırmada bu formülasyonlara odaklanılmıştır. Formülasyon 8, esneklik ve homojenlik gibi daha iyi film özellikleri, daha düşük parçalanma süresi (200 s) ve daha yüksek antioksidan kapasitesi (3.21 mM TEAC/g AÇF) nedeniyle 17 formülasyon arasından optimum formülasyon olarak seçilmiştir. Elde edilen veriler, hazırlanan ağızda çözünen filmlerle zeytin yaprağı polifenollerinin aktarımının mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Alıntı / Cite

Köse, M.D., Gümüş Işık, Ş., Bayraktar, O., (2021). Olive Leaf Polyphenols Loaded Mucoadhesive Oral Films, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(2), 366-380.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.D. Köse, 0000-0003-0307-6417
Ş. G. Işık, 0000-0001-9409-6047
O. Bayraktar, 0000-0003-4210-2825

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.01.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	06.04.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: oguzbayraktar70@gmail.com, +90-232-311-2283

1. Introduction

Oral administration is the most preferred drug delivery for pediatrics, geriatrics, bedridden, nauseous, or noncompliant patients (Irfan et al. 2016). However, in some cases, handicaps like choking hazards or lack of patient compliance can lead to solid dosage problems. In order to overcome these problems, mouth dissolving films (MDF) (Verma et al. 2018) were proposed. With MDFs, it is possible to directly enter into the systemic circulation without water to swallow (Dahiya et al. 2009; Patel et al. 2011). Recently, worldwide interest in medicinal and aromatic plants has increased, providing many raw materials for the food, cosmetic and pharmaceutical industries (Rahmanian et al. 2015). Due to synthetic polymers' unseeable effects, natural raw materials are now more preferred than synthetic raw materials in medicines and material science (Vilar et al. 2012).

Natural polymers usage has become widespread while obtaining MDF (Verma et al. 2018). Hydrophilic polymers are used to prepare the MDFs because of the rapid dissolution of these polymers on the tongue or buccal cavity (Ashok Pawar and Kamat 2017). Water solubility is an important parameter because the drug should be dispersed in the mouth mucosa and directly enter the systemic blood circulation (Verma et al. 2018).

Chitosan is a natural polymer with essential properties such as biocompatibility, biodegradability, mucoadhesion, non-toxicity, antimicrobial activity, low immunogenicity, inexpensive, and attainability (Shariatnia 2018). In the medical field, chitosan is widely used due to its properties as quickly forming gels and films (Wang et al. 2007). In order to increase the water solubility, a reaction between chitosan and chloroacetic acid in alkaline conditions was done to obtain carboxymethyl-chitosan, which has better water solubility than chitosan. Carboxymethyl-chitosan (CMC) is a useful polymer for drug delivery due to some benefits like pH-sensitivity, solubility, absorbability, non-toxicity of its degradation products, controlled biodegradability, bioadhesion, simple administration, and continuous drug release (Shariatnia 2018).

In recent years, okra gum has been used in the food and confectionery industry as a thickener, emulsifier, foam stabilizer, and suspending agent in many products. OG's dissolution in water and its rheological properties in an aqueous medium facilitate its use as a potential pharmaceutical adjuvant in several pharmaceutical dosage formulations (Nayak, Ahmad, et al. 2018). Okra gum (OG) is a natural polymer often used in the pharmaceutical industry. It is inert, nonirritant, biodegradable, biocompatible, and eco-friendly (Zaharuddin et al. 2014). OG is insoluble in organic solvents while soluble in water. In the aqueous medium, OG swells and generates adhesive solutions (Nayak, Ara, et al. 2018). OG was used as a binding agent in tablet dosage forms in drug delivery systems. The resulting tablets showed excellent properties in terms of hardness, friability, and drug release profiles (Kalu et al. 2007). OG was also used as a film-coating agent in drug tablets. Tablets coated with okra gum have better physicochemical properties than core tablets, such as uniformity of weight, friability, disintegration time, and dissolution profiles (Ogaji and Nnoli 2014).

Olea europaea L. leaves are the by-product of olive farming and have high phenolic compounds. So far, olive leaf extract (OLE) has been used in the pharmaceutical industry (Navarro and Morales 2017). Olive leaf extract includes different phenolic compounds, such as secoroids, flavonoids, simple phenols, flavones, flavonols, and acid phenols. The predominant polyphenol in it is oleuropein. Various studies stated OLE's antioxidant properties due to phenolic compounds present in the olive leaf extract (Moudache et al. 2016). These phenolic compounds have antioxidant, antimicrobial, and antifungal properties (Cejudo Bastante et al. 2018). The synergistic effects of all polyphenols are essential, as well as the individual polyphenols it contains (Navarro and Morales 2017).

Olive leaf is one of the leading natural sources of therapeutically active compounds. Various studies have shown that the untreated olive leaf extract comprises oleuropeosides, flavones, flavonols, flavan-3ols, and substituted phenols (Erdoğan et al. 2018). The concentration of polyphenols varies depending on the quality, origin, and variety of olive leaves (Altıok et al. 2008). OLE is one of the most effective natural sources in removing free radicals. The bitter compound oleuropein, the dominant secoiridoid in olive leaf extract, has an antimicrobial, anti-inflammatory, and antioxidant effect. It also has a protective effect against plant pathogens (El and Karakaya 2009; Erdoğan et al. 2018). When combined with a biomaterial, OLE increases functionality, improves biocompatibility, reduces inflammation, and increases cellular proliferation (Erdogan et al. 2015).

In recent years, drug-loaded various oral films have been popular. For many drugs, oral mucosa has better permeability. The mucoadhesive film is used as a new approach. It is so crucial to dissolve rapidly in the mouth and directly reaching the systemic circulation. The future looks promising as new technologies are discovered to produce thin films day by day (Karki et al. 2016; Tomar et al. 2012). Garcia and coworkers gathered the literature in a book chapter named "Orally disintegrating films of biopolymers for drug delivery" recently (Garcia et al. 2020). Even though CMC has been preferred in the literature for delivery systems, it has been used with biopolymers as guar gum, whey protein, starch etc. in order to improve mechanical properties and thermal stability (Iqbal et al.

2020; Jiang et al. 2020; Suriyatem et al. 2018). Nagpal and coworkers used okra gum and chitosan to obtain polymer films. In the study, formulation, and evaluation of okra fruit gum (OFG)-chitosan (CH) impregnated polymer network films were investigated. Their results revealed that $-\text{COO}^-$ moieties present in OFG and $-\text{NH}_3^+$ moieties present in CH interaction improved the chitosan okra gum film-forming properties (Nagpal et al. 2017). Unlike this study in the present study, carboxymethyl-chitosan was preferred due to better solubility and active bioactive compound added to prepared biopolymer films.

In this study, OLE was chosen as an active compound for the delivery system. CMC and OG were used in the biopolymer blend in order to deliver olive leaf polyphenols to the systemic circulation.

2. Material and Method

2.1. Materials

Dried okra was purchased from a local market from Mugla province, and olive leaves were collected from the Muğla province in the Aegean region. Absolute Ethanol and HPLC grade acetonitrile obtained from Isolab Chemicals, Germany. Carboxymethyl chitosan supplied from Santa Cruz Biotechnology, USA. Acetic acid and oleuropein standard (HPLC grade) were purchased from Merck, USA. Phosphate buffer saline, acetone, and ABTS supplied from Sigma-Aldrich, Germany.

2.2. Extraction of Okra Gum

For the okra gum extraction, a study done by Zaharuddin et al. was modified. 44 g dry okra was ground and added to the distilled water with 1:20 solid to liquid ratio and left overnight at room temperature 24°C. The obtained mixture was filtered with a muslin cloth. Acetone was added to the viscous adhesive part with 1:1 v/v and waited until the separation was observed. Excess acetone was removed after phase separation was observed (Zaharuddin et al. 2014). The residue was dried in a forced convection oven (JSR JSOF-050 Model, Korea), milled with a grinder, and labeled as okra gum.

2.3. Preparation of Olive Leaf Extract (OLE)

Dried olive leaves were ground and mixed with 70 % ethanol-water solution for 24 h at a 1:20 solid to liquid ratio. When the extraction was over, filtration was done to remove insoluble parts. For ethanol removal from the extract, a rotary evaporator was used. The remaining aqueous solution was lyophilized, and OLE was obtained (Erdogan et al. 2015).

2.4. Determination of Total Biopolymer Amount

Two parallel experiments were performed with a total amount of biopolymer of 140 mg and 170 mg. Stock solutions were prepared by dissolving biopolymers in the water at room temperature with stirring overnight. Stock solutions for the preparation of polymer blend solutions with a total biopolymer of 140 mg were 5 mg/ml CMC and 2 mg/ml OG. Stock solutions for the preparation of solutions with a total biopolymer of 170 mg were 6 mg/ml CMC and 2.5 mg/ml OG. Polymer solutions in the ratios specified in Table 1 and 2 were prepared with stirring for 6 hours and then was cast in petri-dish and dried at 50 °C for 30 h in a forced convection oven (JSR JSOF-050 Model, Korea). The dried films were carefully removed from the petri dish.

Table 1. Preparation Conditions of Polymer Solution for Total Biopolymer 140 mg

Okra gum % (w/w)	Carboxymethyl chitosan % (w/w)	Mixing
75	25	7 ml CMC solution (35 mg CMC) + 52.5 ml OG solution (105 mg OG)
50	50	14 ml CMC solution (70 mg CMC) + 35 ml OG solution (70 mg OG)
25	75	21 ml CMC solution (105 mg CMC) + 17.5 ml OG solution (35 mg OG)
0	100	28 ml CMC solution (140 mg CMC)
100	0	70 ml OG solution (140 mg OG)

Table 2. Preparation Conditions of Polymer Solution for Total Biopolymer 170 mg

Okra gum % (w/w)	Carboxymethyl chitosan % (w/w)	Mixing
75	25	7.1 ml CMC solution (42.5 mg CMC) + 51 ml OG solution (127.5 mg OG)
50	50	14.2 ml CMC solution (85 mg CMC) + 34 ml OG solution (85 mg OG)
25	75	21.3 ml CMC solution (127.5 mg CMC) + 17 ml OG solution (42.5 mg OG)
0	100	28.3 ml CMC solution (170 mg CMC)
100	0	68 ml OG solution (170 mg OG)

2.5. Preparation of Loaded Mouth Dissolving Films

In experimental studies, different values were assigned to independent variables in order to examine the effect of parameters on response function. The first stage of the experimental design is to determine the effective process parameters of the experiment. With the experimental design, the maximum amount of data can be obtained with the minimum possible experiment.

Response surface methodology was used to analyze the effects of parameters on the responses. OG and OLE percent were determined as parameters. The effect of biopolymers concentration on the film properties was investigated with Central Composite Experimental Design (CCD) by using Design Expert® Version 7.0.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA). The responses were thickness, weight, disintegration time, and pH. Total biopolymer amount was kept constant at 140 mg by preparing polymer blends from stock solutions of 5 mg/ml CMC and 2 mg/ml OG. All 17 experiments were done, and responses were recorded. The ratios of the polymer solutions with OLE were given in Table 3.

Table 3. Preparation Conditions of OLE Loaded MDFs

Experiment Run no	Okra gum % (w/w)	Olive leaf extract % (w/w)	Mixing
1 2	20	1	22.4 ml CMC solution (112 mg CMC) + 14 ml OG solution (28 mg OG) + 1.4 g OLE
3	42.5	5	16.1 ml CMC solution (80.5 mg CMC) + 29.75 ml OG solution (59.5 mg OG) + 7.4 mg OLE
4 12	50	1	14 ml CMC solution (70 mg CMC) + 35 ml OG solution (70 mg OG) + 1.4 mg OLE
5 6 7 11 16	35	5	18.2 ml CMC solution (91 mg CMC) + 24.5 ml OG solution (49 mg OG) + 7.4 mg OLE
8 10	20	9	22.4 ml CMC solution (112 mg CMC) + 14 ml OG solution (28 mg OG) + 13.9 mg OLE
9	27.5	5	20.3 ml CMC solution (101.5 mg CMC) + 19.3 ml OG solution (38.5 mg OG) + 7.4 mg OLE
13 17	50	9	14 ml CMC solution (70 mg CMC) + 35 ml OG solution (70 mg OG) + 13.9 mg OLE
14	35	7	18.2 ml CMC solution (91 mg CMC) + 24.5 ml OG solution (49 mg OG) + 10.5 mg OLE
15	35	3	18.2 ml CMC solution (91 mg CMC) + 24.5 ml OG solution (49 mg OG) + 4.3 mg OLE

2.6. Characterization of Loaded Mouth Dissolving Films

2.6.1. Thickness and Weight

Film thicknesses were measured and averaged from 5 points with a digital micrometer (Electronic digital micrometer, 0-25-0.001 mm). The weight of each film was measured and recorded.

2.6.2. Disintegration Time

The film was placed in a petri dish with 25 ml of distilled water. The petri dish was swung every 10 seconds. The hydrophilic film's disintegration time is stated as the time it starts to break when in contact with water.

2.6.3. pH

pH determination is vital to avoid irritation of the oral mucosa (Irfan et al., 2015). A piece of film was placed in a petri dish and soaked with distilled water. The pH meter electrode was touched to the surface of the wet film, and the measured pH value was recorded.

2.6.4. Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis of OLE Loaded MDFs

SEM was used to investigate the surface morphology of the mouth dissolving films. The prepared films were coated with Au/Pd before the analysis. SEM analysis was performed with Jeol-JSM-7600F Field Emission SEM.

2.6.5. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Analysis of OLE Loaded MDFs

The molecular structures of mouth dissolving films and prepared OLE were determined with FTIR analysis. Analyses were made in the range of 650 to 4000 cm^{-1} with the attenuated total reflectance (ATR) unit using 100 FTIR Spectrometer (Perkin Elmer Spectrum, USA).

2.6.6. Atomic Force Microscopy (AFM) Analysis of OLE Loaded MDFs

AFM can allow molecular and surface forces to be measured on a near molecular scale. AFM is used to determine macromolecules' binding from solution to the mucosal surface (Pinhas and Peled, 2010). AFM analysis was done with ezAFM (Nanomagnetics Instruments, Turkey) to determine the surface roughness and topography of the films.

2.7. Determination of Oleuropein Amount in the Olive Leaf Extract and Loaded Mouth Dissolving Films

HPLC analysis was performed to determine the amount of oleuropein in the olive leaf extract. The mobile phase was prepared with water with 0.5% acetic acid: acetonitrile (1:1 v/v). 1000 ppm stock standard oleuropein solution was prepared for calibration. Various oleuropein standard solutions with different concentrations (800, 500, 300, and 150 ppm) were prepared by diluting with the mobile phase. Oleuropein calibration was obtained at 280 nm with these standard solutions (Al-Rimawi 2014). OLE stock solution was prepared by dissolving 0.1 g of OLE in 10 ml of ethanol. The sample from this solution was delivered directly to the device, and the results were recorded. Four selected films were kept in 15 ml phosphate buffer for a day. Film solutions were centrifuged and filtered on a 0.45 μm HPLC filter (Sartorius Minisart). Samples were analyzed with HPLC, and results were recorded.

2.8. Determination of Total Antioxidant Capacity

Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) was evaluated for radical scavenging ability according to the ABTS method. 5 ml of 7 mM ABTS activated with 5 ml of 2.45 mM $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$. The solution was allowed to stand in the dark for 16 hours. The ABTS solution was diluted with ethanol to obtain 0.70 absorbance at 734 nm and equilibrated at 30 $^{\circ}\text{C}$. 1490 μl ABTS solution, and 10 μl sample was placed in cuvettes and kept in the dark for 30 min. The absorbance of samples at 734 nm was recorded (Re et al. 1999). Percent inhibition of ABTS cation due to the antioxidant activity of samples was calculated by the following formula (1):

$$\text{ABTS Inhibition \%} = \left(1 - \left(\frac{A_f}{A_0} \right) \right) * 100 \quad (1)$$

where A_f was the final absorbance value measured on the last measurement, and A_0 was the absorbance value measured directly after dispensing ABTS on the sample. Trolox was used as a standard in the calibration curve (Trolox equation: $y=5.1642x$). Calculated percent ABTS inhibition values of samples were placed by the Trolox equation to determine TEAC's values as mM Trolox for 1 mg of olive leaf extract (Altıok et al. 2008).

3. Result and Discussion

3.1. Characterization of Components of the OLE Loaded MDFs

The extraction yield of okra gum was determined as 11%. In a study done by Mohan et al., characterization of okra mucilage was done, and components were identified. In addition to the polysaccharides, it was stated that okra mucilage was rich in protein (Chandra Mohan et al. 2018). The extraction yield of OLE was determined as 28%. The amount of oleuropein in 1 g of OLE was 71 mg. The oleuropein percentage in olive leaf extract was 7.1%. Altıok and coworkers stated that 1 g OLE contained 134.4 mg oleuropein. (Altıok et al. 2008) The obtained amount of oleuropein in the prepared OLE was in accordance with the reported values in the literature. The difference may occurred due to the different regions and collection time of the olive leaves.

3.2. Characterization of Loaded Mouth Dissolving Films

As a result of the preliminary tests, it was observed that films with a 140 mg total biopolymer amount were more flexible and easy to remove. So, the total amount of biopolymer was selected as 140 mg. The FTIR spectra of films with increasing CMC ratios are shown in Figure 1.

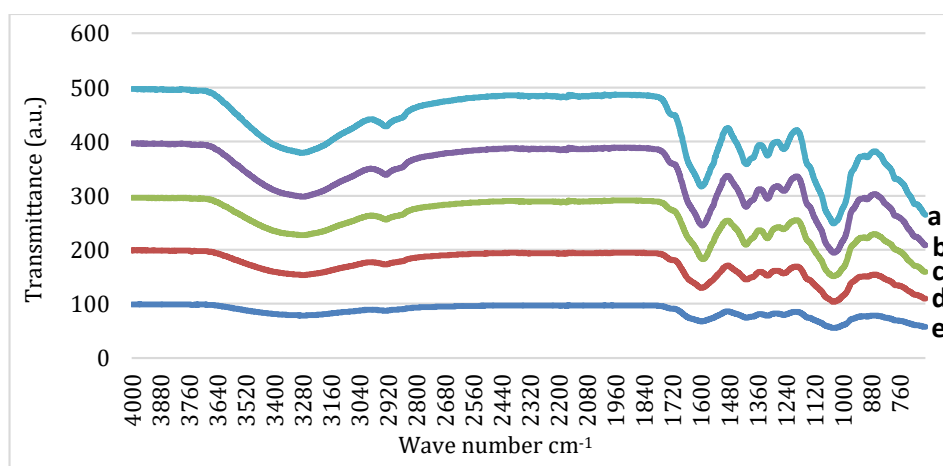


Figure 1. FTIR spectrum of blend films and compounds a) Okra Gum b) Carboxymethyl chitosan c) OG:CMC (1:3) d) OG:CMC (1:1) e) OG:CMC (3:1)

The broad peak around 3280 cm^{-1} was considered as O-H stretching vibration. While the O-H peak was flat for the 75% OG blend film, the O-H stretching was sharper as CMC's amount increased. This could be due to the N-H stretch from CMC and the bonding between the two polymer molecules. The peak around 2929 cm^{-1} was considered as C-H stretching vibration. In the blend film, which contained 75% OG, the second peak seems indistinct, but when the amount of CMC increases, it becomes apparent at the same point. The peak around 1600 cm^{-1} can be seen as N-H bending. The peak around 1400 cm^{-1} can be assigned to O-H bending. There were several peaks in the region of $750\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$. These regions were reported as the fingerprint region for polysaccharides due to the characteristic of the carbohydrate region (Ruiz et al. 2013). As the CMC amount increased intensity of those peaks also increased. Intermolecular bonding between polymers may have been more stable as the OG increases, and this may have occurred as a decrease in the intensity of the functional group's peaks examined. FTIR spectra of loaded films are shown in Figure 2.

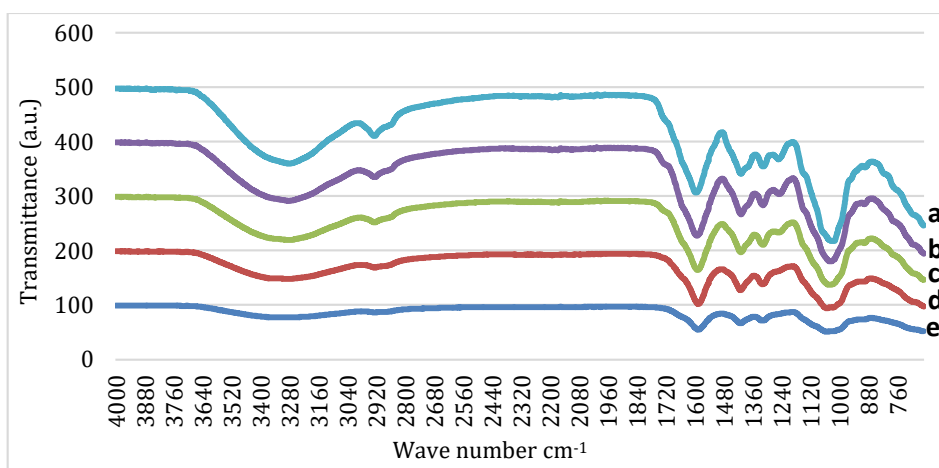


Figure 2. The FTIR spectrum of loaded film and OLE powder a) OLE powder b) Run 15 c) Run 14 d) Run 8 e) Run 1

The broad peak around 3280 cm^{-1} was considered as O-H stretching vibration, and the peak around 2900 cm^{-1} is considered as C-H stretching vibration. When the amount of olive leaf extract increased in the films, it was observed that the peak in the O-H vibration region sharpened. It suggested that OLE was attached to the surface by molecular interaction. The peak around 1600 cm^{-1} can be labeled as N-H bending. The peak around 1400 cm^{-1} can be assigned to O-H bending. There were several peaks in the region of $750\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$. They occurred due to the fingerprint region for polysaccharides as a characteristic of the carbohydrate region (Ruiz et al. 2013).

3.3. Characterization of OLE Loaded Mouth Dissolving Films

The pictures of the films prepared according to the central composite design are shown in Figure 3.



Figure 3. Pictures OLE Loaded Mouth Dissolving Films

All films were visually evaluated on their flexibility and how easily they were removed from the petri dish. As seen from Figure 3, some films were broken at one or several points. Drying conditions could cause these fractures. Some film features and evaluations are shown in Table 4.

Table 4. Properties and Evaluations of the Prepared MDFs

Run	Okra Percent (%)	OLE Percent (%)	Visual Inspection	Thickness (mm)	Weight (g)	Disintegration (s)	pH
1	20	1	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0408	0.1514	20	9.3
2	20	1	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0419	0.1536	25	9.4
3	42.5	5	Flexible film, breaks from many points	0.0392	0.1498	198	8.5
4	50	1	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0385	0.1477	40	9
5	35	5	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0429	0.1555	220	8.9
6	35	5	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0425	0.1549	210	8.8
7	35	5	Flexible film, break from one point	0.0422	0.1537	180	8.7
8	20	9	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0480	0.1590	200	8.9
9	27.5	5	Flexible film, breaks from many points	0.0425	0.1552	235	9
10	20	9	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0430	0.1557	180	9.5
11	35	5	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0478	0.1588	170	9
12	50	1	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0350	0.1423	44	8.8
13	50	9	Flexible film, breaks from many points	0.0347	0.1418	290	8.7
14	35	7	Flexible film, breaks from many points	0.0397	0.1501	258	9
15	35	3	Flexible film, break from one point	0.0400	0.1505	50	9.4
16	35	5	Flexible film, easy to remove from petri dish	0.0462	0.1563	166	8.9
17	50	9	Flexible film, breaks from many points	0.0388	0.1488	279	8.7

3.3.1. Thickness and Weight

In order to achieve the same thickness in all films, the total amount of biopolymer was kept constant for the prepared films. Uniformity of thickness is essential for the correct delivery of the dose (Irfan et al. 2016). The thickness of all films was approximately the same and was about 0.04 mm. Likewise, the weight is expected to be the same, and all are about 0.15 g.

3.3.2. Disintegration Time

Disintegration times of films are an essential parameter for patient compliance and easy acceptance. If the film is not dispersed within a certain period, the entire film could be aspirated and led to choking hazards. In the literature, studies were suggested that a film should start to disintegrate between 5 to 30 seconds to be counted among fast-disintegrated films (Arya et al. 2010; Irfan et al. 2016; Speer et al. 2018). The disintegration time of the obtained films changed with the OLE amount. It was observed that films with low OLE had shorter disintegration times. This result can be explained with the cross-linking effect of olive leaf extract (Erdogan et al. 2015).

ANOVA was applied to estimate the significance ($p < 0.05$) of the model. As shown in Table 5, the model chosen for disintegration time was significant, p-value: < 0.0001 and F value: 63.16. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms were significant.

Table 5. ANOVA for Response Surface Reduced Cubic Model for the Disintegration Time

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	1.314E+05	7	18765.42	63.16	< 0.0001
A-Okra percent	684.50	1	684.50	2.30	0.1634
B-OLE percent	21632	1	21632.00	72.81	< 0.0001
AB	2812.50	1	2812.50	9.47	0.0132
A ²	2324.49	1	2324.49	7.82	0.0208
B ²	5741.83	1	5741.83	19.33	0.0017
A ² B	5237.76	1	5237.76	17.63	0.0023
AB ²	2018.94	1	2018.94	6.80	0.0284
Residual	2673.94	9	297.10		
Lack of Fit	20.14	1	20.14	0.06	0.8116
Pure Error	2653.80	8	331.73		
Cor Total	1.340E+05	16			

not significant

Std. Dev.	17.24		R-Squared	0.9800
Mean	162.647		Adj R-Squared	0.9645
C.V. %	10.60		Pred R-Squared	0.9646
PRESS	4748.64		Adeq Precision	22.1578

In this case, B, AB, A², B², A²B, AB² were significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms were not significant. The "Lack of Fit F-value" of 0.06 refers to the Lack of Fit was not significant and relative to the experimental error. These results suggested that the obtained data fit the model, and a non-significant lack of fit was good. The "Predicted R-Squared" of 0.9646 is matched with the "Adjusted R-Squared" of 0.9645. "Adequate Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. This model can be used to navigate the design space.

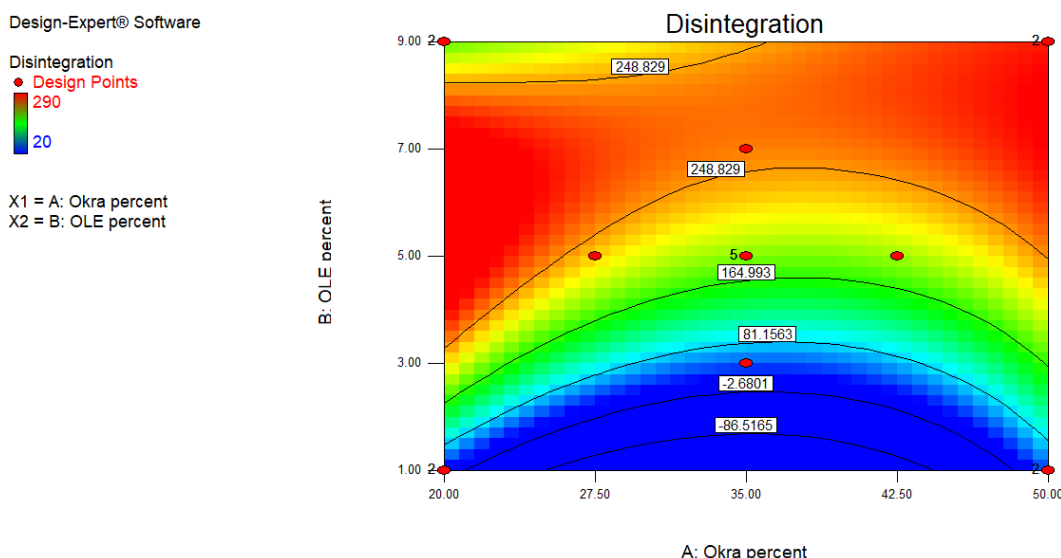


Figure 4. 2D Contour Plot of Disintegration Time

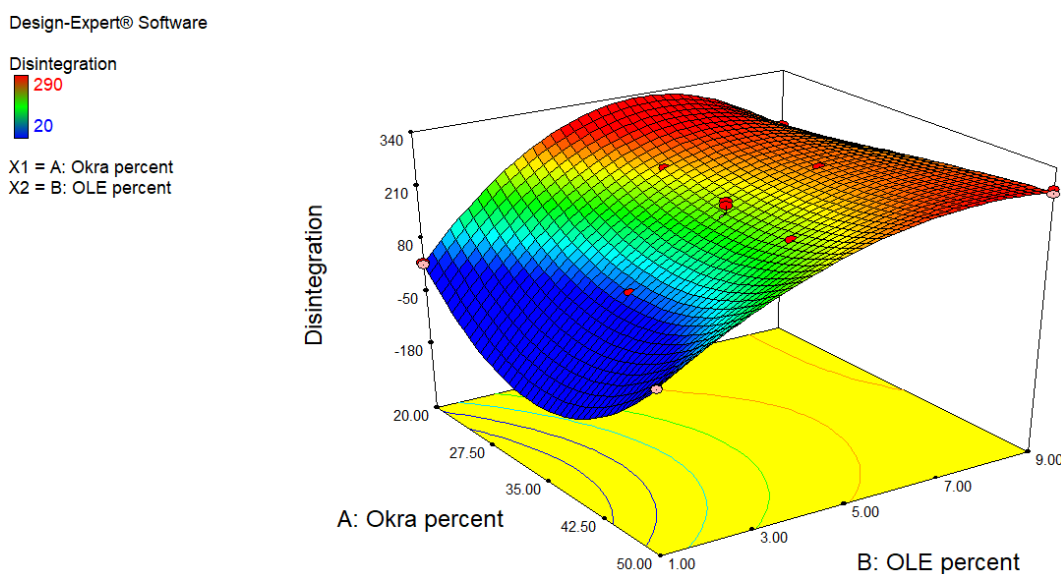


Figure 5. 3D Response Surface Plot of Disintegration Time

2D contour plots and 3D response surfaces were set to visualize the effect of independent variables on response. 3D response surface plots gave the opinion about the independent variables' interaction, whereas the visual representation of the responses' values was given by 2D contour plots (Verma et al. 2018). As can be seen from the 2D contour plot and 3D response surface plot (Figures 4 and 5, respectively), when the OLE percentage increased regardless of the OG percentage, there was an increase in disintegration time at different rates.

3.3.3. pH

The saliva pH has a variable structure from 5.3 to 7.8 (Gittings et al. 2015). pH is expected to be close to neutral since the MDF is too acidic or basic, causing irritations in the mouth. The pH of the obtained films ranges from 8.5 to 9.5.

3.3.4. Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis of Loaded MDFs

Taken SEM images showed a few aggregates, which may have occurred during the film's drying. SEM images revealed that OLE is integrated with the polymers and that prepared formulation can be used as an effective drug delivery system (Bharti et al. 2019; Nair et al. 2018). In Figure 6, SEM images of the selected four films were appeared to be a non-porous whole structure.

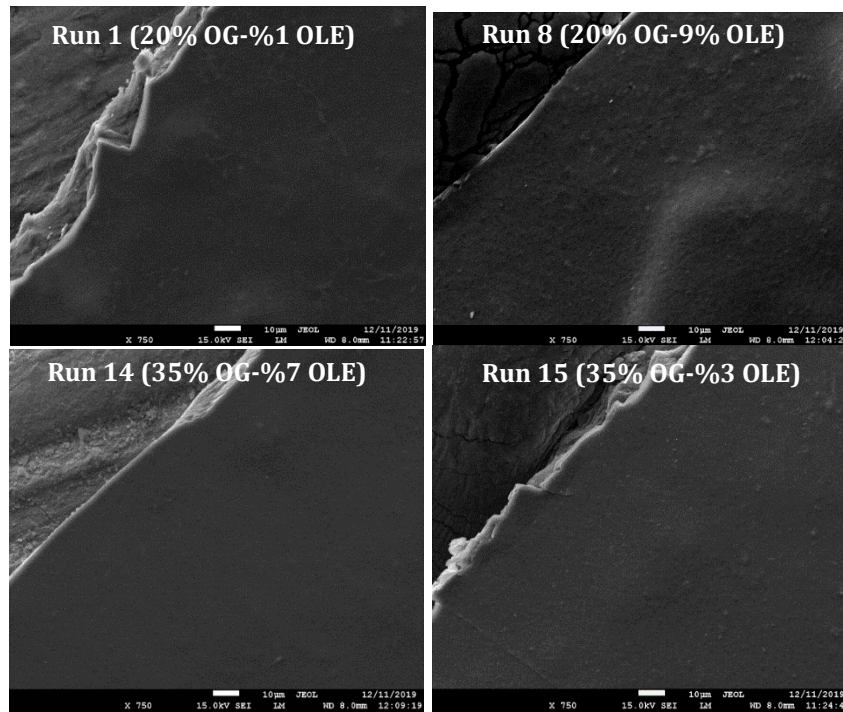


Figure 6. SEM pictures of selected loaded films

When SEM images of polymer films in literature were examined, it was observed that the structures were similar in appearance.

3.3.5. Atomic Force Microscopy (AFM) Analysis of Loaded MDFs

The AFM images of polymeric films were used to visualize morphological structure and determine the prepared films' roughness. In Figure 7, AFM images of the selected films are given.

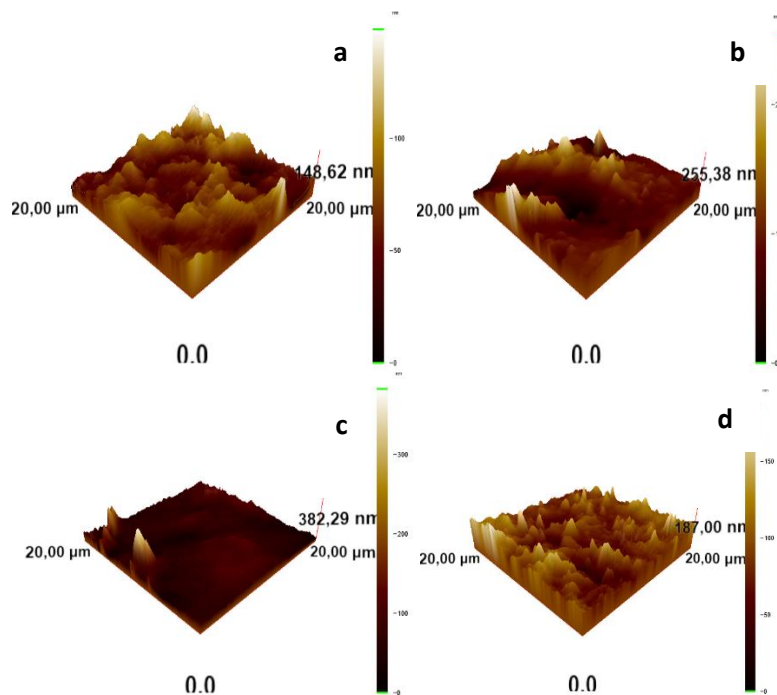


Figure 7. 3D image of prepared MDFs, a) Run 1 (20% OG-1% OLE) b) Run 8 (20% OG-9% OLE) c) Run 14 (35% OG-7% OLE) d) Run 15 (35% OG-3% OLE)

The films' roughness values were determined as 14.23, 25.57, 19.10, and 15.79 nm, respectively. As the OLE content of the film increased, the roughness value increased. This result revealed that the OLE amount directly changed the surface properties of the prepared films (Bharti et al. 2019).

3.3.6. Total Antioxidant Capacity of Loaded Mouth Dissolving Films

Antioxidant capacity was determined by the ABTS method. The obtained data are shown in Table 6.

Table 6. Antioxidant capacity of selected MDFs

Experiment Number	Antioxidant Capacity (mM TEAC/g MDF)
Run 1 (20% OG-%1 OLE)	0.96
Run 8 (20% OG-9% OLE)	3.21
Run 14 (35% OG-%7 OLE)	2.58
Run 15 (35% OG-%3 OLE)	1.37

As seen from Table 6, antioxidant activity was increased with increasing concentration of OLE in the films. In the literature, the total antioxidant capacity of OLE using the same method was reported as 11.62 ± 1.22 mM TEAC/g olive leaf extract (Basal et al. 2016). The total antioxidant capacity of OLE in this study was determined as 9.97 mM TEAC/g. The values found were similar to each other. It is expected that the results found in the films will be lower than the results in the extract. These results may be affected by the prepared films' drying conditions and the possibility of OLE interacting with film-forming polymers.

3.3.7. Amount of Oleuropein in Loaded Mouth Dissolving Films

The obtained data are given in Table 7. HPLC results were consistent with the increase of OLE in film content.

Table 7. Amount of oleuropein in loaded MDFs

Experiment	Amount of Oleuropein (theoretical) (mg/g MDF)	Amount of Oleuropein (experimental) (mg/g MDF)	Recovery of oleuropein (%)
Run 1 (20% OG-%1 OLE)	0.66	0.40	60
Run 8 (20% OG-9% OLE)	6.16	3.88	63
Run 14 (35% OG-%7 OLE)	5.00	3.55	71
Run 15 (35% OG-%3 OLE)	2.06	1.40	68

The amount of oleuropein present in the olive leaf extract initially added to the film solutions, and the HPLC results obtained from the experimental study resulted in a recovery of 60 -70%. Due to cross-linking between OLE and biopolymers, the complete recovery of loaded OLE might not be achieved.

4. Conclusion

In this study, the suitability of carboxymethyl chitosan and okra gum as a biopolymer for the carrier system for olive leaf extract was investigated. Both preliminary experiments and experimental design showed that with changing concentrations of the carboxymethyl chitosan and okra gum drastically changed the film properties as homogeneity and flexibility. These results revealed that okra gum worked as a plasticizer in the film mixture. As the experimental design data showed that OLE amount directly related to the prepared films' surface properties and disintegration time. In order to overcome any problems with patients' compliance among 17 formulations, 4 formulations were chosen due to shorter disintegration time. Then further characterizations were carried out. Due to the higher OLE amount in the formulations, higher antioxidant capacity was achieved in formulations 8 (20% OG-9% OLE) and 14 (35% OG-%7 OLE). Due to the higher OG amount in the formulation, a longer disintegration time was recorded for formulation 14 as 258 s. Obtained data revealed that prepared biopolymer blend films were suitable for the olive leaf extract and preserved the olive leaf extract's antioxidant property.

Acknowledgement

This study was supported by Ege University Scientific Research Fund (BAP).

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Al-Rimawi, F. (2014). Development and validation of a simple reversed-phase HPLC-UV method for determination of oleuropein in olive leaves. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), 285–289.
- Altıok, E., Bayçın, D., Bayraktar, O., & Ülkü, S. (2008). Isolation of polyphenols from the extracts of olive leaves (*Olea europaea* L.) by adsorption on silk fibroin. *Separation and Purification Technology*, 62(2), 342–348.
- Arya, A., Chandra, A., Sharma, V., & Pathak, K. (2010). Fast Dissolving Oral Films: An Innovative Drug Delivery System and Dosage Form. *International Journal of ChemTech Research*, 2(1), 576–583.
- Ashok Pawar, H., & Kamat, S. R. (2017). Development and Evaluation of Mouth Dissolving Film of Ondansetron Hydrochloride Using Hpmc E 5 in Combination with Taro Gum and Other Commercially Available Gums. *Journal of Molecular Pharmaceutics & Organic Process Research*, 05(01), 1–9.
- Basal, G., Tetik, G. D., Kurkcu, G., Bayraktar, O., Gurhan, I. D., & Atabey, A. (2016). Olive leaf extract loaded silk fibroin/hyaluronic acid nanofiber webs for wound dressing applications. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 11(4), 1113–1123.
- Bharti, K., Mittal, P., & Mishra, B. (2019). Formulation and characterization of fast dissolving oral films containing buspirone hydrochloride nanoparticles using design of experiment. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 49, 420–432.
- Cejudo Bastante, C., Casas Cardoso, L., Fernández Ponce, M. T., Mantell Serrano, C., & Martínez de la Ossa-Fernández, E. J. (2018). Characterization of olive leaf extract polyphenols loaded by supercritical solvent impregnation into PET/PP food packaging films. *Journal of Supercritical Fluids*, 140, 196–206.
- Chandra Mohan, C., Harini, K., Vajiha Aafrin, B., Lalitha priya, U., Maria jenita, P., Babuskin, S., et al. (2018). Extraction and characterization of polysaccharides from tamarind seeds, rice mill residue, okra waste and sugarcane bagasse for its Bi-thermoplastic properties. *Carbohydrate Polymers*, 186, 394–401.
- Dahiya, M., Saha, S., & Shahiwala, A. (2009). A Review on Mouth Dissolving Films. *Current Drug Delivery*, 6(5), 469–476.
- El, S. N., & Karakaya, S. (2009). Olive tree (*Olea europaea*) leaves: Potential beneficial effects on human health. *Nutrition Reviews*, 67(11), 632–638.
- Erdoğan, İ., Bayraktar, O., Uslu, M. E., & Tüncel, Ö. (2018). Wound Healing Effects of Various Fractions of Olive Leaf Extract (OLE) on Mouse Fibroblasts. *Romanian Biotechnological Letters*, 23(6), 14217–14228.
- Erdogan, I., Demir, M., & Bayraktar, O. (2015). Olive leaf extract as a crosslinking agent for the preparation of electrospun zein fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(4).
- Garcia, V. A. dos S., Borges, J. G., Vanin, F. M., & Carvalho, R. A. de. (2020). Orally disintegrating films of biopolymers for drug delivery. In *Biopolymer Membranes and Films* (pp. 289–307).
- Gittings, S., Turnbull, N., Henry, B., Roberts, C. J., & Gershkovich, P. (2015). Characterisation of human saliva as a platform for oral dissolution medium development. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 91, 16–24.
- Iqbal, D. N., Tariq, M., Khan, S. M., Gull, N., Sagar Iqbal, S., Aziz, A., et al. (2020). Synthesis and characterization of chitosan and guar gum based ternary blends with polyvinyl alcohol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 546–554.
- Irfan, M., Rabel, S., Bukhtar, Q., Qadir, M. I., Jabeen, F., & Khan, A. (2016). Orally disintegrating films: A modern expansion in drug delivery system. *Saudi Pharmaceutical Journal*. Elsevier B.V.
- Jiang, S., Zou, L., Hou, Y., Qian, F., Tuo, Y., Wu, X., et al. (2020). The influence of the addition of transglutaminase at different phase on the film and film forming characteristics of whey protein concentrate-carboxymethyl chitosan composite films. *Food Packaging and Shelf Life*, 25, 100546.
- Kalu, V. D., Odeniyi, M. A., & Jaiyeoba, K. T. (2007). Matrix properties of a new plant gum in controlled drug delivery. *Archives of Pharmacol Research*, 30(7), 884–889.
- Karki, S., Kim, H., Na, S. J., Shin, D., Jo, K., & Lee, J. (2016). Thin films as an emerging platform for drug delivery. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. Shenyang Pharmaceutical University, 11(5), 559–574.
- Moudache, M., Colon, M., Nerin, C., & Zaidi, F. (2016). Phenolic content and antioxidant activity of olive by-products and antioxidant film containing olive leaf extract. *Food Chemistry*, 212, 521–527.
- Nagpal, M., Aggarwal, G., Jain, U. K., & Madan, J. (2017). Okra fruit gum-chitosan impregnated polymer network films: Formulation and substantial depiction. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(10), 219–222.
- Nair, A. B., Al-Dhubiab, B. E., Shah, J., Vimal, P., Attimarad, M., & Harsha, S. (2018). Development and evaluation of palonosetron loaded mucoadhesive buccal films. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 47, 351–358.
- Navarro, M., & Morales, F. J. (2017). Evaluation of an olive leaf extract as a natural source of antiglycative compounds. *Food Research International*, 92, 56–63.
- Nayak, A. K., Ahmad, S. A., Beg, S., Ara, T. J., & Hasnain, M. S. (2018). Drug delivery: Present, past, and future of medicine. In *Applications of Nanocomposite Materials in Drug Delivery* (pp. 255–282). Elsevier.
- Nayak, A. K., Ara, T. J., Saquib Hasnain, M., & Hoda, N. (2018). Okra gum-alginate composites for controlled releasing drug delivery. In *Applications of Nanocomposite Materials in Drug Delivery* (pp. 761–785). Elsevier.
- Ogaji, I., & Nnoli, O. (2014). Film coating potential of okra gum using paracetamol tablets as a model drug. *Asian Journal of Pharmaceutics*, 4(2), 130–134.
- Patel, V. F., Liu, F., & Brown, M. B. (2011). Advances in oral transmucosal drug delivery. *Journal of Controlled Release*. J Control Release. 153(2), 106–116.
- Pinhas, M. D., Peled, H. V., 2010, Mucoadhesion: a review of characterization techniques. *Expert Opinion Drug Delivery*, 7(2), 259–271.
- 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.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237.
- Ruiz, H. A., Cerqueira, M. A., Silva, H. D., Rodríguez-Jasso, R. M., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2013). Biorefinery valorization of autohydrolysis wheat straw hemicellulose to be applied in a polymer-blend film. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 2154–2162.
- Shariatnia, Z. (2018). Carboxymethyl chitosan: Properties and biomedical applications. *International Journal of Biological*

Macromolecules, 120, 1406–1419.

- Speer, I., Steiner, D., Thabet, Y., Breitzkreutz, J., & Kwade, A. (2018). Comparative study on disintegration methods for oral film preparations. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 132, 50–61.
- Suriyatem, R., Auras, R. A., & Rachtanapun, P. (2018). Improvement of mechanical properties and thermal stability of biodegradable rice starch-based films blended with carboxymethyl chitosan. *Industrial Crops and Products*, 122, 37–48.
- Tomar, A., Sharma, K., Chauhan, N. S., Mittal, A., & Bajaj, U. (2012). *Formulation and Evaluation of Fast Dissolving Oral Film of Dicyclomine as potential route of Buccal Delivery*. *International Journal of Drug Development and Research* (Vol. 4). iMedPub.
- Verma, U., Rajput, R., & Naik, J. B. (2018). Development and characterization of Fast Dissolving Film of Chitosan embedded Famotidine Using 32 Full Factorial Design Approach. In *Materials Today: Proceedings*, 5, 408–414.
- Vilar, G., Tulla-Puche, J., & Albericio, F. (2012). Polymers and Drug Delivery Systems. *Current Drug Delivery*, 9(4), 367–394.
- Wang, L.-C., Chen, X.-G., Yu, L.-J., & Li, P.-W. (2007). Controlled drug release through carboxymethyl-chitosan/poly(vinyl alcohol) blend films. *Polymer Engineering & Science*, 47(9), 1373–1379.
- Zaharuddin, N. D., Noordin, M. I., & Kadivar, A. (2014). The use of hibiscus esculentus (Okra) gum in sustaining the release of propranolol hydrochloride in a solid oral dosage form. *BioMed Research International*, 2014, 1-8.



KABLOSUZ İLETİŞİM SİSTEMLERİ İÇİN MAKİNA ÖĞRENİMİ DESTEKLİ ALTERNATİF SEZİCİ TASARIMI

Ahmet EMİR*, Ferdi KARA, Hakan KAYA

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Zonguldak, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>CNN,</i> <i>QPSK,</i> <i>BSPK,</i> <i>ML,</i> <i>Derin Öğrenme.</i>	Son yıllarda derin öğrenme (deep learning-DL) teknikleri fiziksel seviye iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. DL teknikleri, modern haberleşme sistemlerindeki işlem karmaşıklığını azaltmasından ve daha iyi başarımlar sağlaması gibi nedenlerden dolayı hali hazırda var olan haberleşme yöntemlerine alternatif seçenekler sunmaktadır. Bu çalışmada, Rayleigh sönümlenmeli kanalda ikili faz kaydırmalı anahtarlama (binary phase shift keying-BPSK) veya dördün faz kaydırmalı anahtarlama (quadrature phase shift keying-QPSK) modülasyonu kullanılması durumunda alıcıya ulaşan işaretin işaret yıldız kümesi görüntüsünden, gönderilen işaretin DL ile kestirimi hedeflenmiştir. DL tekniklerinden olan evrişimli sinir ağı (convolutional neural network -CNN) girişine alıcıya gelen işaretin ve denkleştirilmiş işaretin işaret yıldız kümesi görüntüsü uygulanmıştır. CNN sınıflandırıcı ile bulunan sistemin hata başarımları klasik en büyük olasılıklı sezici (maximum likelihood-ML) başarımları ile karşılaştırılmıştır. İşaret yıldız kümesinde farklı boyutlarda bölgeler seçilmiştir. Bu bölgelerin her biri ayrı senaryo olarak değerlendirilir. Belirli senaryolar altında bu bölgelerin CNN sınıflandırıcı ile elde edilen hata başarımları ile ML hata başarımları ile benzer çıktığı görülmüştür.

MACHINE-LEARNING AIDED ALTERNATIVE DETECTOR DESIGN FOR WIRELESS COMMUNICATIONS SYSTEMS

Keywords	Abstract
<i>CNN,</i> <i>QPSK,</i> <i>BPSK,</i> <i>ML,</i> <i>Deep Learning.</i>	In recent years, deep learning (DL) techniques are widely used for physical layer solutions in communication systems. DL techniques offer alternative options to existing communication methods since they can reduce the computational complexity and provide better performance in modern communication systems. In this study, we propose a DL-aided signal detections for BPSK (Binary Phase Shift Keying) or QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) modulation over Rayleigh fading channel where the DL-aided detection is performed based on the constellation diagram image of the received signal. The constellation diagram image of received signal and the equalized signal are given as inputs to the convolutional neural network (CNN), which is one of the commonly used DL techniques, Regions of different sizes are selected in the constellation diagram. Each of these regions is considered as different scenarios. The error performance of the system obtained with the CNN classifier is compared with the classical maximum likelihood (ML) detector performance. Under certain scenarios, it has been revealed that the DL-aided signal detection could achieve the performance of the ML detector which shows the effectiveness of the proposed solution.

Alıntı / Cite

Emir, A., Kara, F., Kaya, H., (2021). Kablosuz İletişim Sistemleri İçin Makina Öğrenimi Destekli Alternatif Sezici Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 381-388.

* İlgili yazar / Corresponding author: ahmet.emir@beun.edu.tr, +90-372-291-1526

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Emir, 0000-0001-8038-2747	Başvuru Tarihi / Submission Date	03.02.2021
F. Kara, 0000-0001-9735-5200	Revizyon Tarihi / Revision Date	01.04.2021
H. Kaya, 0000-0003-4390-5363	Kabul Tarihi / Accepted Date	04.05.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Uçtan-uca iletişim sistemlerinin tasarımı ve analizi, işaret iletimi, işaret yayılımı, alıcı gürültüsü vb. diğer bileşenlerinin çoğunu tanımlayan matematiksel modellerin geliştirilmesine dayanır. Uçtan uca kablosuz iletişim sistemlerinin temelinde, bir mesaj işaretinin alıcıda mükemmel bir şekilde kestirilebilmesi için kanal bozulmalarına dirençli bir şekilde gönderilmesi ve alınması hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda haberleşme sistemlerinin alıcı ve verici kısımları kaynak kodlama, kanal kodlama, modülasyon, demodülasyon, denkleştirme vb. alt görevlere ayrılmıştır. Derin öğrenme (deep learning- DL) yardımcı sistemlerin uçtan-uca haberleşme sistemlerinde kullanımı ilk kez (Dorner vd., 2018)'te önerilmiştir. Son zamanlarda ise literatürde değişik amaçlarla, farklı derin ağlardan yararlanılarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu farklı DL ağları, evrimsimli sinir ağları (convolutional neural network-CNN), uzun kısa dönem hafıza (long short term memory- LSTM), derin öğrenme takviyeli (deep reinforcement learning-DRL), otomatik kodlayıcı (autoencoders-AE), üretken rakip ağlar (generative adversarial nets-GAN) olarak sıralanabilir. (Ye vd., 2020)'de uçtan-uca haberleşme sistemlerinin tüm modellerinin tasarımı GAN'lar ile yapılmıştır. (Peng vd., 2017)'de haberleşme sistemlerinde modülasyon sınıflandırması için CNN'den faydalanılmıştır. (Lu vd.,2019)'da ise farklı sönümlenmeli kanal (Rayleigh, Rician, vb.) modellerine göre modülasyon sınıflandırma doğruluğu incelenmiştir. (Soltani vd.,2019)'da CNN dikgen frekans bölmeli çoğullama (orthogonal frequency division multiplexing-OFDM) sistemlerinde kanal kestirimi için kullanılmıştır. Yine OFDM için kanal kestirimi ile işaret kestirimi LSTM ağlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ye vd.,2018). OFDM ile sınırlı olmamakla birlikte diğer çeşitli kablosuz iletişim sistemlerinde de işaret kestirimi için matematiksel modeller yerine DL ağları kullanmak alternatif hale gelmiştir (Jiang vd.,2020;Farsad ve Goldsmith,2018;Xu vd.,2020). (Wu vd.,2019)'da rasgele blok uzunluklu akıllıca çalışabilen, farklı çıkış hızlarını destekleyebilen ve toplanır beyaz gauss gürültüsü (additive white gaussian noise-AWGN) ile Rayleigh sönümleme kanallarında çalışabilen yeni bir CNN tabanlı AE iletişim sistemi önerilmiştir. Bu gibi çalışmaların ötesinde DL ağlar, büyük ölçekli çoklu-giriş-çoklu-çıkış haberleşme sistemleri için de bir alternatiftir (Yuan vd.,2020;Zhenyu vd.,2020;Hojatian vd.,2020;Jiajia vd.,2020). DL aynı zamanda 5. Nesil (5G) haberleşme sistemleri için dikgen olmayan çoklu erişim (non orthogonal multiple Access-NOMA) tekniklerinde sinyal kestirimi için kullanılmıştır (Emir vd., 2019;Gui vd., 2018;Lin vd., 2019). Öte yandan NOMA sistemlerinde sinyal kestiriminin dışında güç atama (Wang vd.,2020), kaynak atama (Xu vd.,2020), sistem çıkış hızı (throughput) artırma (Zhang vd.,2020) işlemlerinde DL ağlarına başvurulmuştur. Ayrıca görünür ışık modülasyonu (Xiao vd.,2019), milimetre dalga iletişimi (Alrabeiah ve Alkhateeb,2020) ve indis modülasyonu (Luong vd., 2019) vb. pek çok güncel alanda da DL kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, alıcıda gerçekleştirilen işaret kestirimi için yeni bir yöntem olan DL-CNN ağı önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntemde, geleneksel haberleşme sistemleri alıcılarında kullanılan en büyük olabirlikli sezici (maximum likelihood-ML) gibi işaret sezim yöntemlerinin aksine, alıcıya ulaşan sinyalin işaret yıldız kümesi görüntüsünden işaret sezilmeye çalışılmaktadır. BPSK ve QPSK modülasyonlu Rayleigh sönümlenmeli kanalın var olduğu sistemde alıcıda CNN sınıflandırıcı kullanılmasıyla giriş sinyalinin demodülasyonu/kestirimi gerçekleştirilmiştir. Kanalın alıcıda bilindiği varsayılarak; CNN sembol sembol eğitilmiştir. Bu çalışmada alıcıda sinyal tespiti için görüntüler üzerinde çalışan 3 katmanlı CNN ağı kullanılmıştır. CNN ağı ile sinyal kestirimindeki hata başarımı, klasik ML ise sinyal sezimdeki hata başarımı ile benzerdir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri aşağıdaki gibi sunulmuştur. Bölüm 2'de sistem modeli ve DL parametreleri açıklanmıştır. Bölüm 3'te simülasyon sonuçları verilmiştir. Bölüm 4'te ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir ve literatüre katkı sağlayacak avantajları açıklanarak gelecek çalışmalara yer verilmiştir

2. İşaret Modeli (Signal Model)

Bu çalışmada bir kullanıcı (user equipment-UE) ve bir baz istasyonundan (Base Station-BS) bir aşağı yönlü (downlink) haberleşme sistemi düşünülmüştür. BS'den gönderilen işaret:

$$y = \sqrt{P}xh + n \quad (1)$$

ile ifade edilmektedir.

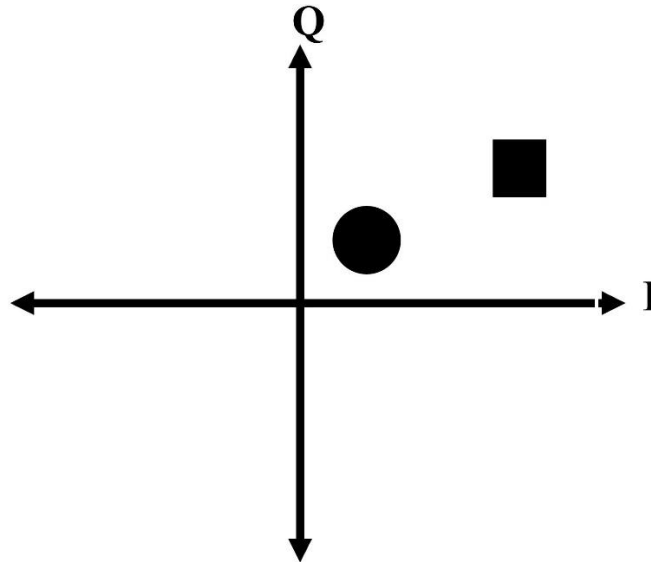
Burada x UE'nin mesaj işareti (m) modülasyonlu halidir. P baz istasyonunun toplam iletim gücüdür.h, BS ile UE

arasındaki σ^2 varyanslı Rayleigh sönümlenme katsayısı olup, n alıcıda $N_0/2$ spektral yoğunluğa sahip AWGN'dir. Alıcıya gelen işarete kanal etkisinin azaltılması için, kanal denkleştirme işlemi

$$y_{eq} = \frac{y}{h} \quad (2)$$

olarak verilir.

Tek sembol üzerinden veri gönderildiğinde y ve y_{eq} birlikte gösterilerek, alıcıdaki işaret yıldız kümesi görüntüsünün bir örnek modeli Şekil 1'de verilmiştir. Dairesel çizim y 'yi, karesel çizim y_{eq} 'i ifade etmektedir. İşaret diyagramında y ve y_{eq} kendi genlikleri ile normalizasyon yapılarak belirli bir genişlik ve uzunlukta görüntü formatına dönüştürülmüştür. Böylelikle; alıcıya gelen işaret ve denkleştirilmiş işareten alıcıda hangi bitlerin gönderildiğinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu sebeple gelen işaretin ve kanal denkleştirilmiş işaretinin işaret yıldız kümesinin 8 bit gri ölçekli görüntüsü CNN ağına giriş olarak verilmektedir.



Şekil 1. y ve y_{eq} 'in İşaret Yıldız Kümesi (Signal Constellation of y and y_{eq})

BPSK ve QPSK modülasyon türleri için, işaret gürültü oranının (İGO) 10dB olduğu durumda alıcıya ulaşan sinyale göre elde edilen CNN giriş verileri için örnekler Şekil 2'de verilmiştir. CNN, modülasyon türüne göre BPSK modülasyonu için 2 sınıf (0,1), QPSK modülasyonu için 4 sınıf (0,1,2,3) üzerinden verileri eğitir. Bu sınıf değerleri, BPSK'da sırasıyla {0} ,{1}; QPSK'da {00} ,{01} ,{10} ve {11} mesaj işaretlerinin birer temsilidir. Sınıf değerleri (S) uçtan-uça haberleşme sisteminde vericiden gönderilen mesaj işaretlerinin (m) ondalık karşılığını ifade ettiğini gösterir. CNN, QPSK mesaj işaretinde 2 bit veri olduğu ve 4 ayrı mesaj işareti seçeneği olduğundan ötürü 4 sınıf üzerinden, BPSK için ise mesaj işaretinde 1 bit veri olduğu ve 2 ayrı mesaj işareti seçeneği olduğundan ötürü 2 sınıf üzerinden işaret kestirimi yapmaktadır. CNN ağında BPSK ve QPSK hem iki hem de dört sınıfı eğitim seçeneği mümkün olmadığından iki ayrı sınıflandırma için iki ağ gereklidir. Bu sebeple BPSK ve QPSK için birbirleri ile benzer iki CNN ağı kurgulanmıştır.

3. Önerilen CNN Modeli (Proposed CNN Model)

Gönderilen sinyalin kestirimi için, işaret yıldız kümesi görüntüsünün özneteliklerinin çıkarılması gereklidir. Bu işlemi gerçekleştiren DL ağlarından birisi de CNN ağlarıdır. CNN ağları 1988 yılında Yann LeCun tarafından geliştirilen LeNet mimarisine dayanır (Cun vd.,1989). Çalışmamızda kullanılan CNN ise, Şekil 3'te gösterildiği üzere 3 katmanlı yapıdadır. Her bir CNN katmanı konvolüsyon filtresi, yığın normalizasyonu (Batch Normalization-BN), aktivasyon fonksiyonu ve maksimum havuzlama (max pooling) katmanlarından oluşmaktadır.

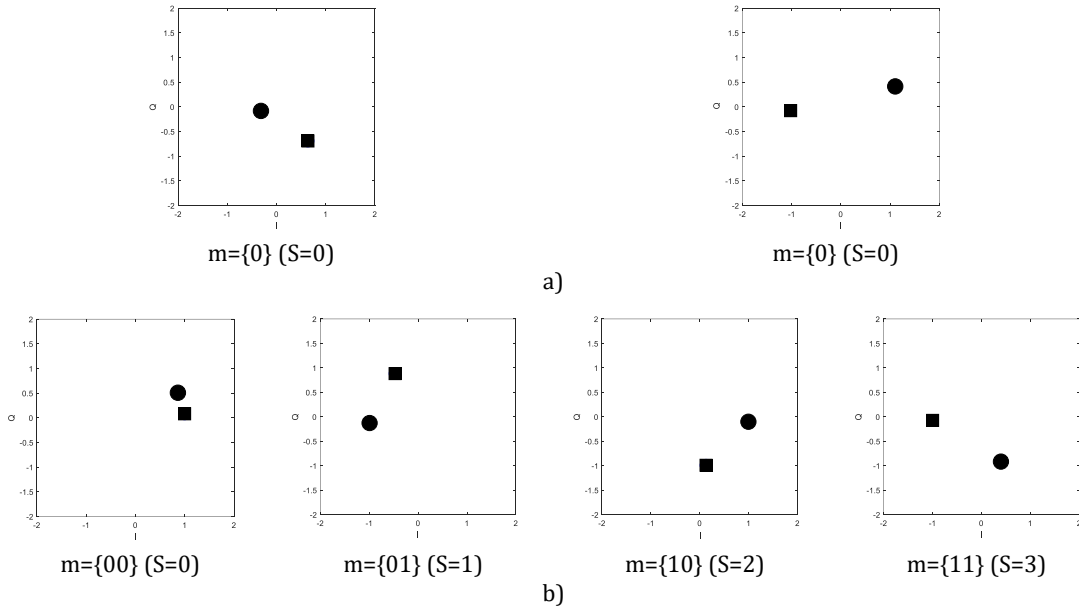
Konvolüsyon filtreleri, işaret yıldız kümesi görüntüsünde 3×3 'lük bölgeler seçilerek oluşturulan alanların öznetelik çıkarma çekirdek işlemleri (kernel) ile konvolüsyon işlemlerini yerine getirmektedir (Albawi vd., 2018). Buradaki konvolüsyon işlemi bu mikro alanlardaki görüntülerin kendi uyarısına verdiği cevaptır.

BN, aktivasyon fonksiyonu ile konvolüsyon katmanı arasında kullanılmaktadır (Sledevic,2019). BN, her bir mini grup (mini batch) için girdileri bir katmana standartlaştıran derin sinir ağlarını eğitmek için bir tekniktir. Ayrıca, öğrenme sürecini stabilize etme ve derin ağları eğitmek için gereken eğitim dönemi sayısını (epoch) önemli ölçüde

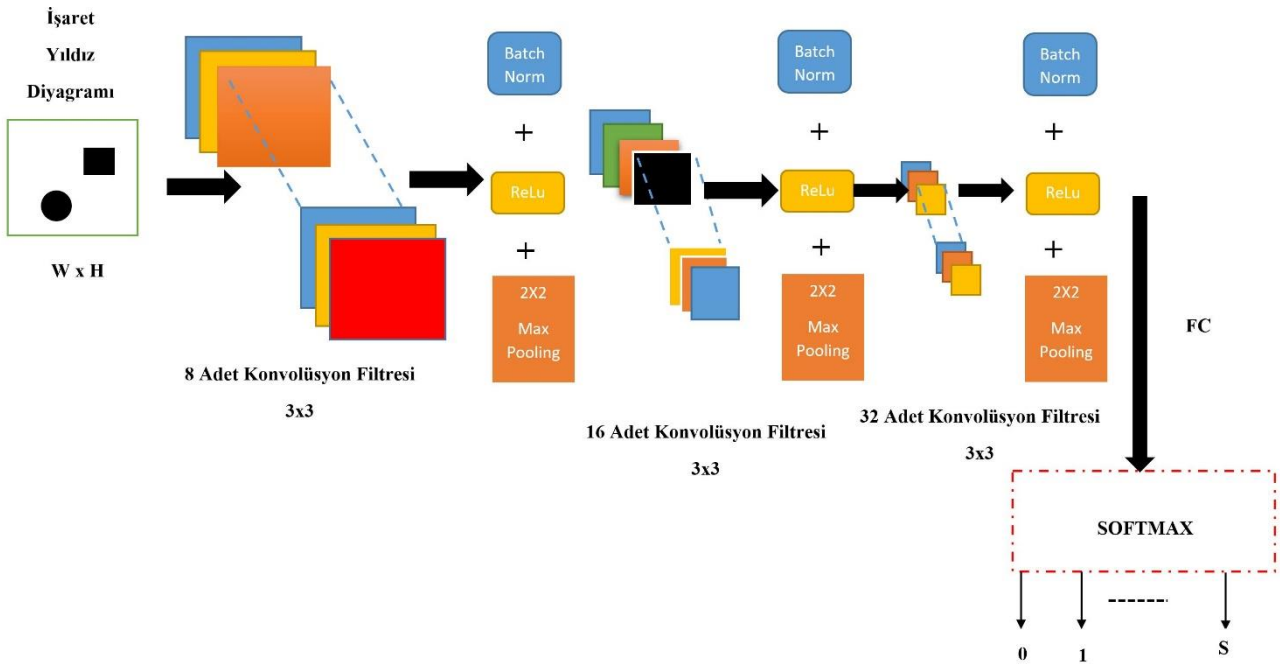
azaltma etkisine sahiptir. Bu katmanda her bir eğitim örneği için, ilk önce konvolüsyon sonucu elde edilen veriden grup ortalaması (μ) kadar çıkarılıp; sonrasında çıkan değer grup varyansına (σ_Y^2) bölünmektedir. Çıkan sonuç öğrenilir β parametresi kadar kaydırılıp ve öğrenilir γ uyarınca ölçeklenmektedir. BN işlemlerinin matematiksel ifadeleri Eşitlik (3) ve (4)'te gösterilmiştir.

$$Y' = \frac{Y - \mu}{\sqrt{\sigma_Y^2}} \quad (3)$$

$$Y'' = \gamma Y' + \beta \quad (4)$$



Şekil 2. Modülasyon türüne göre a) BPSK için 2 sınıf (0, 1) CNN giriş verileri, b) QPSK için 4 sınıf (0, 1, 2, 3) (According to Modulation Type a) 2 class (0,1) for BPSK input data b) 4 class (0,1,2,3) for QPSK input data)



Şekil 3. CNN Sistem Modeli (CNN System Model)

(3) 'te Y konvolüsyon çıkışlarını göstermektedir.

BN işlemlerinin ardından aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu işlevi kullanılmıştır. ReLu fonksiyonu Eşitlik (5)'teki gibidir:

$$f(Y^n) = \begin{cases} 0 & , Y^n < 0 \\ Y^n & , Y^n \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te görüldüğü üzere Y^n , BN işlemlerinin çıkışıdır.

Maksimum havuzlama, örnek tabanlı bir ayırıklaştırma sürecidir. Maksimum havuzlamanın amacı, bir girdiden (görüntü, matris, gizli katman çıkışı vs.) örnek seyrelterek örnek sayısını azaltmaktır. Böylelikle alt bölgelerdeki özellikler hakkında varsayımlar yapılabilir. Bu çalışmada 2x2 maksimum havuzlama işlevi, ReLu işlevi sonucunda bulunan sonuçtan 2x2 dikdörtgenel bölgeler olarak bu bölgelerdeki en büyük değeri yeni sonuç matrisine kaydetmektedir.

İlk CNN katmanında 8, ikinci CNN katmanında 16, üçüncü CNN katmanında 32 adet konvolüsyon filtresi bulunmaktadır. Fazla sayıda konvolüsyon filtrelerinin kullanılmasının sebebi işaret diyagram görüntüsündeki kare ve daire piksellerinin görüntüye göre küçük bir bölgede yer alması dolayısıyla öznelik çıkarma zorluğundan kaynaklanmaktadır.

CNN katmanlarından sonra tam bağlı katmanı (fully connected layer-FC) yer almaktadır. FC katmanı öznelik elde etme işlemleri sonrası elden edilen sonucu belirli bir ağırlık matrisi ile çarpıp ve son-eşik (bias) ekler.

En son katman, normalizasyonlu üstel fonksiyonu olarak da bilinen softmax katmanıdır. Softmax, bir ağıncı çıktısını çıktı sınıfları üzerinden bir olasılık dağılımına normalleştirir. Örneğin K bir eğitim örneğindeki mini grup boyutu olmak, z_i i. gruptaki çıktıları göstermek üzere softmax fonksiyonun çıktısı aşağıdaki gibi hesaplanır (Chen vd.,2018):

$$\varphi(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^K e^{z_j}} \quad (6)$$

Softmax fonksiyon sonuçlarına göre en iyi olasılıklı sonucu veren sınıf CNN ağının bulunduğu sonuçtur. Şekil 3'teki S sınıf indisini göstermektedir. Bu sınıflar girişteki mesaj işaretlerinin ondalık karşılığıdır.

Çalışmada kullanılan eğitim öğrenme türü ise denetimli öğrenmedir. Örnek girdi-çıkı çiftlerine dayalı olarak, denetimli öğrenme, bir girdiyi bir çıktıya eşleyen bir işlevi öğrenmenin makine öğrenimi sürecidir. Denetimli öğrenmede, her örnek, bir girdi nesnesi (vektör, matris, vb.) ve istenen bir çıktı değerinden oluşan bir çifttir. Bu durum giriş ve çıkış seti örneğine göre CNN ağının eğitildiği anlamına gelmektedir.

Eğitilen ağ aşağıdaki gibi mesaj işaretini sınıflandırabilmektedir.

$$m^{est} = \text{sınıflandırıcı} \left([y; y_{eq}] \right), i=1,2 \quad (7)$$

Burada sınıflandırıcı gelen işaret ve gelen işaretin denkleştirilmiş halinden sınıflandırma yapan fonksiyondur. m^{est} ise CNN'nin bulunduğu S sınıflandırmasıdır.

x girişteki modülasyonlu işaret olmak üzere; x^{est} kestirilen modülasyonlu işaret arasındaki kayıp fonksiyonu yarı ortalama karesel hata (half mean squared error-hmse) ile ifade edilir:

$$E = \frac{\sum_{j=1}^N (x_j - x_j^{est})^2}{N} \quad (8)$$

4. Benzetim Sonuçları (Simulation Results)

BPSK ve QPSK modülasyonuna göre iki farklı CNN ağı, alıcıda gönderilen sembolü sınıflandıracak şekilde eğitilmiştir. Veri setinin giriş parametreleri olarak alıcıda alınan işaret ve alınan işaretin kanal denkleştirilmiş halinin işaret yıldız diyagram görüntüsü; çıkış parametresi olarak da vericide girişteki sembol alınmıştır. Eğitim örneği sayısı, 10^6 farklı denemede veri seti oluşturulduğunu göstermektedir. Veri setinin %80 eğitim %20'si

eğitilen ağı test etmek (validation) için kullanılmıştır. Mini grup boyutu ise her bir iterasyonda ağının kaç veri örneğini eğiteceğini göstermektedir. Epoch ise tüm bir veri örneğinin tamamının ilk kez eğitildiği iterasyon sayısını ifade etmektedir. 1000 iterasyonda tüm veri örneği eğitilebilmektedir. Eğitim süresi ise 20 epoch olarak seçilmiştir. Optimizasyon ise her bir iterasyondan sonra eğitim parametrelerinin güncelleme algoritmasıdır. Eğitim aşamasında eğitimler %99 doğrulukla sonuçlanmıştır.

Tablo 1. Simülasyon Parametreleri (Simulation Parameters)

Kullanılan Program	MATLAB 2018b
Kullanıcı Sayısı	2 (1 BS 1 UE)
Haberleşme Kanalı	Rayleigh + AWGN
Modülasyon	BPSK, QPSK
Kullanılan DL Modeli	CNN
Öğrenme türü	Denetimli (supervised)
Veri Seti Giriş Parametreleri	Alıcıda alınan sinyal ve Rayleigh kanalın işaret diyagram görüntüsü
Veri Seti Çıkış Parametreleri	Girişteki Sembol
Veri Seti Eğitim-Test Oranı	%80 eğitim,%20 test
Alıcıda alınan sinyal ve rayleigh kanalın işaret diyagram görüntüsü boyutları	30x30,50x50,100x100
Eğitimdeki Epoch Sayısı	20
Eğitim Örneği Sayısı	10 ⁶
İterasyon Sayısı	20000
Mini grup boyutu	1000
Eğitim Optimizasyon Algoritması	SGDM
Eğitim Doğruluğu	%99

BPSK ve QPSK modülasyonuna göre iki farklı CNN ağı, alıcıda gönderilen sembolü sınıflandıracak şekilde eğitilmiştir. Veri setinin giriş parametreleri olarak alıcıda alınan işaret ve alınan işaretin kanal denkleştirilmiş halinin işaret yıldız diyagram görüntüsü; çıkış parametresi olarak da vericide girişteki sembol alınmıştır. Eğitim örneği sayısı, 10⁶ farklı denemede veri seti oluşturulduğunu göstermektedir. Veri setinin %80 eğitim %20'si eğitilen ağı test etmek (validation) için kullanılmıştır. Mini grup boyutu ise her bir iterasyonda ağının kaç veri örneğini eğiteceğini göstermektedir. Epoch ise tüm bir veri örneğinin tamamının eğitildiği iterasyon sayısını ifade etmektedir. 1000 iterasyonda tüm veri örneği eğitilebilmektedir. Eğitim süresi ise 20 epoch olarak seçilmiştir. Optimizasyon ise her bir iterasyondan sonra eğitim parametrelerinin güncelleme algoritmasıdır. Rmsprop, Adadelta ve Adam optimizasyon algoritmaları ile de benzetimler yapılmış olup benzer hata başarımları elde edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmaya özgü olarak SGDM tercih edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda farklı optimizasyon türlerinin DL destekli kablosuz haberleşme problemlerine etkileri incelenecektir. Eğitim aşamasında eğitimler %99 doğrulukla sonuçlanmıştır.

Tablo 1'de verilen eğitim parametreleri uçtan uca hata olasılığını minimize edecek şekilde seçilmiştir. CNN girişi olarak kullanılan işaret diyagram görüntüsünün farklı boyutlarda sınırlandırılmasına göre üç farklı senaryo belirlenmiştir. CNN, bu üç farklı senaryoya göre eğitilmiş ve sembol kestirimi için kullanılmıştır. Senaryo I işaret yıldız diyagram görüntüsü boyutlarının 30 piksel genişlik ve 30 piksel yükseklik (30x30) seçilmesi, Senaryo II 50x50'lik boyutlar ve Senaryo III 100x100 olarak boyutların seçilmesidir.

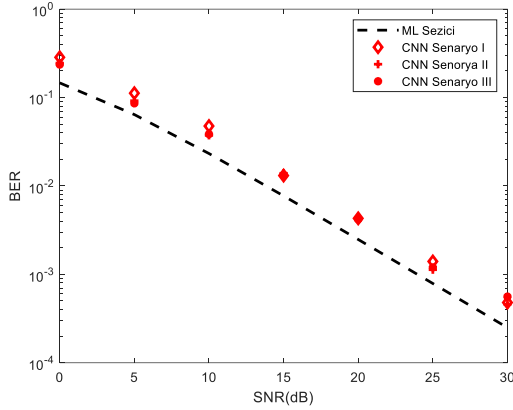
Yukarıda belirtilen üç farklı senaryoya göre, gelen işaret ve denkleştirilmiş işaretin normalizasyon yapılmamış işaret yıldız diyagram görüntülerinden, CNN ağları ile sistemin giriş sembolleri sezilmiştir. Şekil 4'te, CNN senaryoları ile edilen bit hata oranı (bit error rate-BER) ve klasik ML sezici BER başarımları karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.a'da, BPSK, Şekil 4.b'de QPSK için BER sonuçları görülmektedir. Şekil 4'ten görüleceği üzere, normalizasyon yapılmamış işaret yıldız diyagram görüntüsü durumunda CNN Senaryo II ve III'ün hata başarımları standart ML seziciye yaklaşımaktadır. CNN Senaryo I'nin hata başarımları grafiği ise diğerlerinden biraz daha düşüktür.

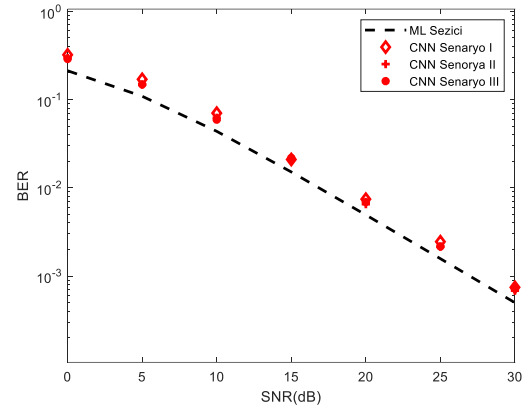
Diğer bir yöntem olarak, yukarıda açıklanan üç farklı senaryoya göre, gelen işaret ve denkleştirilmiş işaretin normalizasyon yapılmış işaret yıldız diyagram görüntülerinden, CNN ağları ile sistemin giriş sembolleri sezilmiştir. Şekil 5'te, CNN senaryoları ile elde edilen BER ve klasik ML sezici BER başarımları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.a'da, BPSK Şekil 5.b'de QPSK sonuçları görülmektedir. Şekil 5'ten görüleceği üzere CNN Senaryo II ve III'ün

hata başarımları standart ML sezici ile hemen hemen aynı çıkmıştır. CNN Senaryo I'nin hata başarımları grafiği ise diğerlerinin az daha gerisindedir.

Şekil 4 ve Şekil 5 beraber düşünüldüğünde CNN girişindeki işaret yıldız kümesi görüntüsünde yapılan normalizasyonun gerekliliği açıkça görülmektedir. Normalizasyon yapılmadığında işaret yıldız diyagram görüntüsündeki saçılma daha fazla olacağından ötürü BER performansı olumsuz etkilenmiştir. Normalizasyon yapıldığında ise görüntü verisinin içindeki alınan işaret ve kanal denkleştirilmiş işaret verileri birbirlerine daha yakın yerleşimlerle oluşmaktadır ve saçılmanın önüne geçilerek daha iyi bir sınıflandırma/kestirim yapılabilir. İşaret yıldız diyagram görüntüsünde büyük bölgeler seçmek daha iyi görüntü çözünürlüğü sağlar. Ayrıca, işaret yıldız diyagram görüntüsünün çözünürlüğü arttıkça CNN sınıflandırma yapabilme kabiliyeti de artmaktadır.

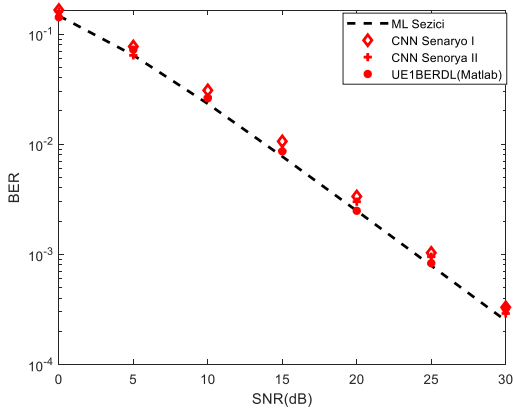


BPSK Normalizasyonsuz CNN Sonuçları

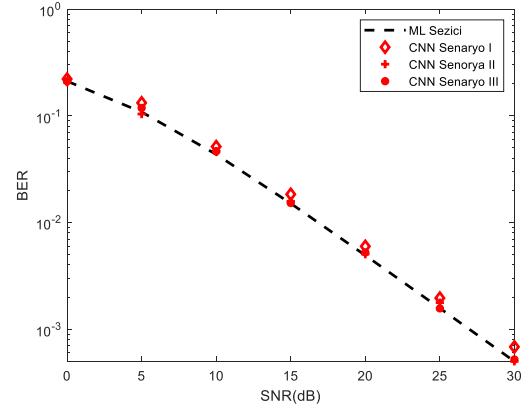


QPSK Normalizasyonsuz CNN Sonuçları

Şekil 4. Normalizasyonsuz CNN sınıflandırıcı başarımları (CNN classifier performances without normalization)



BPSK Normalizasyonlu CNN Sonuçları



QPSK Normalizasyonlu CNN Sonuçları

Şekil 5. Normalizasyonlu CNN sınıflandırıcı başarımları (CNN classifier performances with normalization)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Son yıllarda kablosuz iletişim sistemlerinde sinyal kestirimi için matematiksel modeller yerine DL kullanmak alternatif çözümler olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada BPSK veya QPSK modülasyonun var olduğu Rayleigh sönmülemeli kanalda alıcıda CNN kullanıldığında hata başarımlarına etkisi araştırılmıştır. ML sezici ile benzer sonuçlar elde edildiğinden, DL'nin ML sezicilere alternatif olabileceği görülmüştür. Gelen işaretin ve kanal denkleştirilmiş işaretin işaret yıldız diyagramı, görüntü formatına dönüştürülerek CNN yardımıyla alıcıda giriş sembollerinin kestirebileceği çalışmada vurgulanmıştır. Görüntü boyutlarını değiştirmenin ve işaret yıldız diyagramında normalizasyon işlemlerinin bit hata başarımlarına ne gibi etkileri olduğu tartışılmıştır. İlerleyen çalışmalarda CNN ve başka DL ağları ile 5G sistemleri için düşünülen NOMA, indis modülasyonu gibi sistemlerde işaret kestirim hata başarımları incelenecektir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S., 2018. Understanding of a convolutional neural network. Proceedings of 2017 International Conference on Engineering and Technology, ICET 2017, 2018-January, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186>
- Alrabeiah, M., & Alkhateeb, A., 2020. Deep Learning for mmWave Beam and Blockage Prediction Using Sub-6 GHz Channels. IEEE Transactions on Communications, 68(9), 5504–5518. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2020.3003670>.
- Chen, L., Zhou, M., Su, W., Wu, M., She, J., & Hirota, K., 2018. Softmax regression based deep sparse autoencoder network for facial emotion recognition in human-robot interaction. Information Sciences, 428, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.10.044>.
- Cun, Y. Le, Guyon, I., Jackel, L. D., Henderson, D., Boser, B., Howard, R. E., Denker, J. S., Hubbard, W., & Graf, H. P., 1989. Handwritten Digit Recognition: Applications of Neural Network Chips and Automatic Learning. IEEE Communications Magazine, 27(11), 41–46. <https://doi.org/10.1109/35.41400>.
- Dorner, S., Cammerer, S., Hoydis, J., & Brink, S. Ten., 2018. Deep Learning Based Communication over the Air. IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing, 12(1), 132–143. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2017.2784180>.
- Emir, A., Kara, F., & Kaya, H., 2019. Deep learning-based joint symbol detection for NOMA. In 27th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2019. <https://doi.org/10.1109/SIU.2019.8806600>.
- Farsad, N., & Goldsmith, A., 2018. Neural network detection of data sequences in communication systems. IEEE Transactions on Signal Processing, 66(21), 5663–5678. <https://doi.org/10.1109/TSP.2018.2868322>.
- Gui, G., Huang, H., Song, Y., & Sari, H., 2018. Deep Learning for an Effective Nonorthogonal Multiple Access Scheme. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67(9), 8440–8450. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2848294>.
- Hojatian, H., Nadal, J., Frigon, J. F., & Leduc-Primeau, F., 2020. Unsupervised Deep Learning for Massive MIMO Hybrid Beamforming. In arXiv: <https://arxiv.org/pdf/2007.00038.pdf>
- Jiajia Guo, Chao-Kai Wen & Shi Jin, 2020. Deep Learning-Based CSI Feedback for Beamforming in Single- and Multi-cell Massive MIMO Systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Submitted 11 Nov 2020. In arXiv: <https://arxiv.org/pdf/2011.06099.pdf>
- Jiang, R., Sun, C., Zhang, L., Tang, X., Wang, H., & Zhang, A., 2020. Deep learning aided signal detection for SPAD-Based underwater optical wireless communications. IEEE Access, 8, 20363–20374. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2967461>.
- Lin, C., Chang, Q., & Li, X., 2019. A deep learning approach for mimo-noma downlink signal detection. Sensors (Switzerland). <https://doi.org/10.3390/s19112526>.
- Luo, B., Peng, Q., Cosman, P. C., & Milstein, L. B., 2019. Robustness of Deep Modulation Recognition under AWGN and Rician Fading. In Conference Record - Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (Vol. 2018-October, pp. 447–450). <https://doi.org/10.1109/ACSSC.2018.8645089>.
- Luong, T. Van, Ko, Y., Vien, N. A., Nguyen, D. H. N., & Matthaiou, M., 2019. Deep Learning-Based Detector for OFDM-IM. IEEE Wireless Communications Letters, 8(4), 1159–1162. <https://doi.org/10.1109/LWC.2019.2909893>.
- Peng, S., Jiang, H., Wang, H., Alwageed, H., & Yao, Y. D., 2017. Modulation classification using convolutional Neural Network based deep learning model. In 2017 26th Wireless and Optical Communication Conference, WOCC 2017. <https://doi.org/10.1109/WOCC.2017.7929000>.
- Sledevic, T., 2019. Adaptation of Convolution and Batch Normalization Layer for CNN Implementation on FPGA. 2019 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences, EStream 2019 - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/eStream.2019.8732160>.
- Soltani, M., Pourahmadi, V., Mirzaei, A., & Sheikhzadeh, H., 2019. Deep Learning-Based Channel Estimation. IEEE Communications Letters, 23(4), 652–655. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2019.2898944>.
- Wang, X., Zhang, Y., Shen, R., Xu, Y., & Zheng, F. C., 2020. DRL-Based Energy-Efficient Resource Allocation Frameworks for Uplink NOMA Systems. IEEE Internet of Things Journal, 7(8), 7279–7294. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2982699>.
- Wu, N., Wang, X., Lin, B., & Zhang, K., 2019. A CNN-Based End-to-End Learning Framework Toward Intelligent Communication Systems. IEEE Access, 7, 110197–110204. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2926843>.
- Xiao, L., Sheng, G., Liu, S., Dai, H., Peng, M., & Song, J., 2019. Deep Reinforcement Learning-Enabled Secure Visible Light Communication against Eavesdropping. IEEE Transactions on Communications, 67(10), 6994–7005. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2019.2930247>.
- Xu Y, Yang C, Hua M and Zhou W., 2020. Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG)-Based Resource Allocation Scheme for NOMA Vehicular Communications. IEEE Access. 2020; 8: 18797-18807. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968595.
- Xu, W., Zhong, Z., Beery, Y., You, X., & Zhang, C., 2018. Joint neural network equalizer and decoder. In Proceedings of the International Symposium on Wireless Communication Systems (Vol. 2018-August). <https://doi.org/10.1109/ISWCS.2018.8491056>.
- Ye, H., Li, G. Y., & Juang, B. H., 2018. Power of Deep Learning for Channel Estimation and Signal Detection in OFDM Systems. IEEE Wireless Communications Letters, 7(1), 114–117. <https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2757490>.
- Ye, H., Liang, L., Li, G. Y., & Juang, B. H., 2020. Deep Learning-Based End-to-End Wireless Communication Systems with Conditional GANs as Unknown Channels. IEEE Transactions on Wireless Communications, 19(5), 3133–3143. <https://doi.org/10.1109/TWC.2020.2970707>.
- Yuan, J., Ngo, H. Q., & Matthaiou, M., 2020. Machine Learning-Based Channel Prediction in Massive MIMO with Channel Aging. IEEE Transactions on Wireless Communications, 19(5), 2960–2973. <https://doi.org/10.1109/TWC.2020.2969627>.
- Zhang, J., Tao, X., Wu, H., Zhang, N., & Zhang, X., 2020. Deep Reinforcement Learning for Throughput Improvement of the Uplink Grant-Free NOMA System. IEEE Internet of Things Journal, 7(7), 6369–6379. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2972274>.
- Zhenyu Liu, Mason del Rosario & Zhi Ding, 2020. A Markovian Model-Driven Deep Learning Framework for Massive MIMO CSI Feedback. IEEE Transactions on Wireless Communications. Submitted 20 Sep 2020. In arXiv: <https://arxiv.org/pdf/2009.09468.pdf>.



SURFACE FREE ENERGY AND FLEXURAL PROPERTIES OF WOLLASTONITE FILLED POLYPROPYLENE COMPOSITES

Serkan SONCU¹, Meral AKKOYUN^{2*}

¹ Demo Plastik Ürünleri San. ve Tic. A.Ş., Bursa, Turkey

² Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Polymer Materials Engineering, Bursa, Turkey

Keywords

*Polymer Composites,
Surface Free Energy,
Contact Angle,
Wollastonite,
Flexural Properties.*

Abstract

Nowadays, appearance is an important factor in vehicles. For this reason, paint application is widely used in plastic parts. Surface energy is a key parameter for the adhesion of paint on the surface of polymers. Among thermoplastic polymers, polycarbonate and acrylonitrile butadiene styrene are commonly used materials due to their higher surface energies. For low surface energy materials, surface energies can be increased using streamer, plasma, corona, mechanical etching and chemical etching methods. The aim of this work is to eliminate the pre-treatments applied to parts produced with polypropylene (PP) polymer using wollastonite (CaSiO₃) additive. For this purpose, CaSiO₃ filled PP composites containing 40 wt.% wollastonite with different sizes and coatings were produced by extrusion process. Afterwards, plate samples were prepared from granules using a hot pressing device. Flexural properties and surface free energy measurements were performed on these composites produced in plate form. From the results, an increased surface free energy was observed for small particle size and aminosilane coated wollastonite added PP composite with an increase by 23% of the total surface free energy. Flexural strengths were well correlated with the surface free energy results and showed an increase by 1.2% for the same additive.

VOLLASTONİT KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN YÜZEY SERBEST ENERJİSİ VE EĞİLME ÖZELLİKLERİ

Anahtar Kelimeler

*Polimer Kompozitler,
Yüzey Serbest Enerjisi,
Temas Açısı,
Vollastonit,
Eğilme Özellikleri.*

Öz

Günümüzde, araçlarda görsellik önemli bir faktördür. Bu nedenle, plastik parçalarda boya uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyanın polimer yüzeyine yapışması için yüzey enerjisi önemli bir etkidir. Termoplastik polimerler arasında, yüzey enerjileri daha yüksek olduğundan dolayı genellikle polikarbonat ve akrilonitril bütadien stiren polimerleri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Düşük yüzey enerjili malzemelerde ise flamaj, plazma, korona, mekanik dağlama ve kimyasal dağlama yöntemleri kullanılarak yüzey enerjileri artırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı wollastonit (CaSiO₃) katkı malzemesi kullanılarak, polipropilen (PP) polimeri ile üretilen parçalara uygulanan ön işlemlerin ortadan kaldırılmasını sağlayabilmektir. Bu amaçla, ağırlıkça %40 katkı içeren ve farklı boyut ve kaplamalardan oluşan CaSiO₃ katkılı PP kompozitler ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra, sıcak presleme cihazı kullanılarak granüllerden plakalar elde edilmiştir. Plaka halinde üretilen kompozitlerin eğilme özellikleri ve yüzey serbest enerjisi ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, küçük partikül boyutlu ve aminosilan kaplı wollastonit katkılı PP kompozitin toplam yüzey serbest enerjisinin %23 değerinde bir artışıyla, yüzey enerjisini artırıcı bir özelliği olduğu görülmüştür. Eğilme mukavemetleri yüzey serbest enerjisi sonuçlarıyla örtüşmektedir ve aynı katkı için %1.2 oranında bir artış elde edilmiştir.

* İlgili yazar / Corresponding author: meral.akkoyun@btu.edu.tr, +90-224-300-3736

Alıntı / Cite

Soncu, S., Akkoyun, M., (2021). Surface Free Energy and Flexural Properties of Wollastonite Filled Polypropylene Composites, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 9(2), 389-395.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Soncu, 0000-0002-7464-3768
M. Akkoyun, 0000-0002-8113-5534

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.02.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	19.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	29.04.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

Among the various plastic materials classified as thermoplastics, thermosets and elastomers, thermoplastics are widely preferred materials in the industry and have broad usage areas due to their microstructure and particularly to their high formability. For this reason, the adhesion and surface treatment of thermoplastic materials were largely investigated in the literature (Cantero et al., 2003; Lee et al., 2018; Khoshkava and Kamal, 2013; Demjen et al., 1998; Drelich and Miller, 1995; Brandl et al., 2004; Rudawska et al., 2017; Zapata-Massot and Le Bolay, 2007). The process of painting the surface of plastic parts used in the automotive industry is gaining importance day by day. Although plastic surfaces can be produced in the desired color and brightness, they are also required to be painted in many applications for aesthetics or function.

The aim of this work is to prepare and investigate the surface free energy and mechanical properties of highly wollastonite filled PP composites in order to remove the pre-treatment step, which is generally applied to parts produced with polypropylene. For this purpose, CaSiO₃ filled PP composites containing 40 wt.% additives with different sizes and coatings were produced by extrusion process. To the best of our knowledge, no studies on the investigation of the surface free energy of CaSiO₃ reinforced PP composites exist in the literature. Afterwards, plate samples were prepared from granules using a hot pressing device. Mechanical properties and surface energy measurements were performed on these composites produced in plate form.

The literature survey and materials and methods of this work were given in Section 2 and Section 3, respectively. Section 4 presents the experimental results and discussion concerning the surface free energy and flexural properties of PP/CaSiO₃ composites. In the last Section 5, a conclusion of the study can be found.

2. Literature Survey

The improvement of the interactions between filler and polymer materials is most widely realized by non-reactive and reactive surface treatment of the additives (Demjén et al., 1998; Cantero et al., 2003; Drelich and Miller, 1995; Khoshkava and Kamal, 2013; Rudawska et al., 2017). In the case of non-reactive treatment, the interactions between fillers and polymer/filler are affected due to the presence of a substance inducing a drop of the surface free energy of the filler and then enhancing the homogeneity and processing of polymer composites. The other technique called reactive treatment allows the coverage of the filler by an organic substance resulting again in the diminution of the surface free energy of the additives. However, this method is not suitable for apolar polymers without reactive groups in the main chain, due to the weak interaction between the coupling agent and the polymer. The use of silane coupling agents with various reactive groups result in highly improved properties of polymer composites especially in the case of thermoset polymer matrices due to the presence of reactive groups in the polymer chain (Shokoohi et al., 2008; Yang et al., 2013). These coupling agents were also used for low reactive polyolefin materials such as polypropylene in order to improve their final properties (Cantero et al., 2003; Demjén et al., 1998; Khoshkava and Kamal, 2013; Yang et al., 2013).

The properties such as hardness, strength, thermal and electrical conductivity and thermal resistance of polymeric materials can be enhanced using additives of different nature and size (Brandl, Marginean, Chirila, & Warschewski, 2004) (Cantero et al., 2003; Khoshkava and Kamal, 2013; Rothon, 1999). However, for the painting of the surface of plastic parts used in the automotive industry, outside of all these properties, the surface free energy property, which is desired to rise, remains important. In this way, the adhesion strength of the material can be improved. The surface energy of polymeric materials is determined using the intermolecular forces taking into account the various attraction forces occurring between the surface and the adhesive during the bonding of polymeric surfaces (Şekercioğlu and Kaner, 2014; Drelich and Miller, 1995; Shimizu and Demarquette, 2000). In the literature, the surface free energy of polymer composites are widely investigated for fillers of different nature and type such as calcium carbonate, talc and glass fibers (Cantero et al., 2003; Demjen et al., 1998; Drelich and Miller, 1995; Khoshkava and Kamal, 2013; Lee et al., 2018; Rudawska et al., 2017; Shokoohi et al., 2008).

Wollastonite is a calcium silicate used as a functional filler in polymers and due to its specific acicular crystal form allowing high shape ratios, this naturally white mineral is an appropriate additive for polypropylene composites (Rothon, 1999). The structure of CaSiO_3 particles, namely their aspect ratios, depends not only on natural conditions but also largely on the preparation and size reduction techniques used. The mechanical properties such as tensile and flexural strengths of CaSiO_3 filled polypropylene composites are widely studied and usually an improvement was obtained for untreated and treated CaSiO_3 (Chan et al., 2020). In addition, for polypropylene/wollastonite composites the studies were mainly focused on the determination of the adhesion parameters such as the work of adhesion and interfacial free energy of the composites (Svab et al., 2005; Svab et al., 2007; Svab et al., 2009). To the best of our knowledge, no studies on the investigation of the surface free energy of CaSiO_3 reinforced PP composites exist in the literature.

3. Materials and Methods

3.1. Materials

Natural and unfilled polypropylene (Moplen HP500N) (density: 0.9 g/cm^3 , MFR: 12 g/10min ($230^\circ\text{C}/2.16 \text{ kg}$)) provided from LyondellBasell was used in this study. Wollastonite powders were provided by Quarzwerke GmbH with the references TREMIN 939 300 AST (T1) ($\rho=2.85 \text{ g/cm}^3$ and $d(50\%) = 30 \mu\text{m}$), Tremin 939 300 FST (T2) ($\rho=2.85 \text{ g/cm}^3$ and $d(50\%) = 37 \mu\text{m}$), Tremin 283 010 AST (T3) ($\rho=2.85 \text{ g/cm}^3$ and $d(50\%) = 19 \mu\text{m}$) and Tremin 283 400 AST (T4) ($\rho=2.85 \text{ g/cm}^3$ and $d(50\%) = 5 \mu\text{m}$). All these wollastonite powders were surface treated materials. The applied treatments were aminosilane for T1, T3 and T4 and alkylsilane for T2. All materials were used as received.

3.2. Preparation of Wollastonite Filled Polypropylene Composites

CaSiO_3 reinforced PP composites were prepared at a high filler content of 40 wt.% for CaSiO_3 powders of different surface treatments and shape ratios (T1, T2, T3 and T4), in order to obtain an improvement in the surface free energy of the composites. Table 1 presents the formulations used for the preparation of these composites. CaSiO_3 particles were first pre-mixed with PP. Then, PP/ CaSiO_3 mixtures were blended with a Polmak Plastik Lab. Extruder/18mm co-rotating twin screw extruder in order to have a homogeneous blend. The mixtures were prepared at a feeding rate of 4 rpm and a rotational speed of 60 rpm. Therefore, the temperatures were set at 90°C , 190°C , 195°C , 200°C , 205°C , 210°C , 210°C , 210°C , 210°C and 200°C , from the feeding zone to the exit die. During the next step, a water bath was used in order to cool the composite immediately after being extruded through the die which is finally granulated and dehydrated. In the last step, a CARVER 12-12 compression molding device was used for the preparation of plate samples ($200 \times 200 \times 4 \text{ mm}$). During this process, the compression was carried out at a pressure of 3 tons at 200°C . For mechanical tests, appropriate samples were cut from the plates.

Table 1. Formulations for PP/ CaSiO_3 composites

Sample	Filler content (wt.%)	PP content (wt.%)
PP/T1 (aminosilane - $30 \mu\text{m}$)	40	60
PP/T2 (alkylsilane - $37 \mu\text{m}$)	40	60
PP/T3 (aminosilane - $19 \mu\text{m}$)	40	60
PP/T4 (aminosilane - $5 \mu\text{m}$)	40	60

3.3. Surface Free Energy Measurements

Surface free energies of PP/ CaSiO_3 composites were obtained from the measurements of contact angles. These measurements were performed on a Biolin Scientific Attension Theta Flex Instrument at room temperature, immediately after the drop deposition from 10 to 30 s. The surface free energy of PP/ CaSiO_3 composites were obtained using Owens Wendt Rabel and Kaelbel (OWRK) method (Owens and Wendt, 1969). In OWRK method, the surface free energy of the solid is calculated from the use of at least two liquids where the polar and dispersive components are known. The equation proposed in the OWRK model for the calculation of the surface free energy of a solid is given in Equation 1, where γ_L^D and γ_S^D are the dispersive parts and γ_L^P and γ_S^P are the polar parts of liquid and solid surface free energies, respectively whereas θ was the contact angle between the surface of the sample and the standard liquid.

$$\frac{\gamma_L(1 + \cos\theta)}{2\sqrt{\gamma_L^D}} = \frac{\sqrt{\gamma_S^P}\sqrt{\gamma_L^P}}{\sqrt{\gamma_L^D}} + \sqrt{\gamma_S^D} \quad (1)$$

The Equation 1 can be expressed in the linear form as presented in Equation 2. The parameters c , m and x were given as $c = \sqrt{\gamma_S^D}$, $m = \frac{\sqrt{\gamma_L^P}}{\sqrt{\gamma_L^D}}$ and $x = \frac{\sqrt{\gamma_S^P}\sqrt{\gamma_L^P}}{\sqrt{\gamma_L^D}}$.

$$y = mx + c \quad (2)$$

In this work, four different standard liquids (water, ethylene glycol, formamide and diiodomethane) were used and their total, dispersive and polar surface tensions were presented in Table 2. From these values, a determination of the dispersive and polar parts of the surface free energy of the different CaSiO₃ filled PP composites can be realized. From the slope of the OWRK graph plotted using the Equation 1, the polar part of the composites surface free energy is obtained whereas the dispersive part is determined with the vertical intercept.

Table 2. Surface tensions (SFT) of the standard liquids

Solvent	SFT - Total (mN/m)	SFT - Dispersive (mN/m)	SFT - Polar (mN/m)
Water	72.3	18.7	53.6
Formamide	59.4	39.4	20
Ethylene Glycol	47.5	29.3	18.2
Diiodomethane	50.8	50.8	0

3.4. Mechanical Properties Measurement

A three-point flexural test was performed according to ISO 178 using a Devotrans DVT GP D S60 N testing device at a cross-head speed of 10 mm/min. The specimens were prepared using the plate samples of 4 mm thickness obtained by compression molding.

4. Experimental Results and Discussion

4.1. Surface Free Energy Results

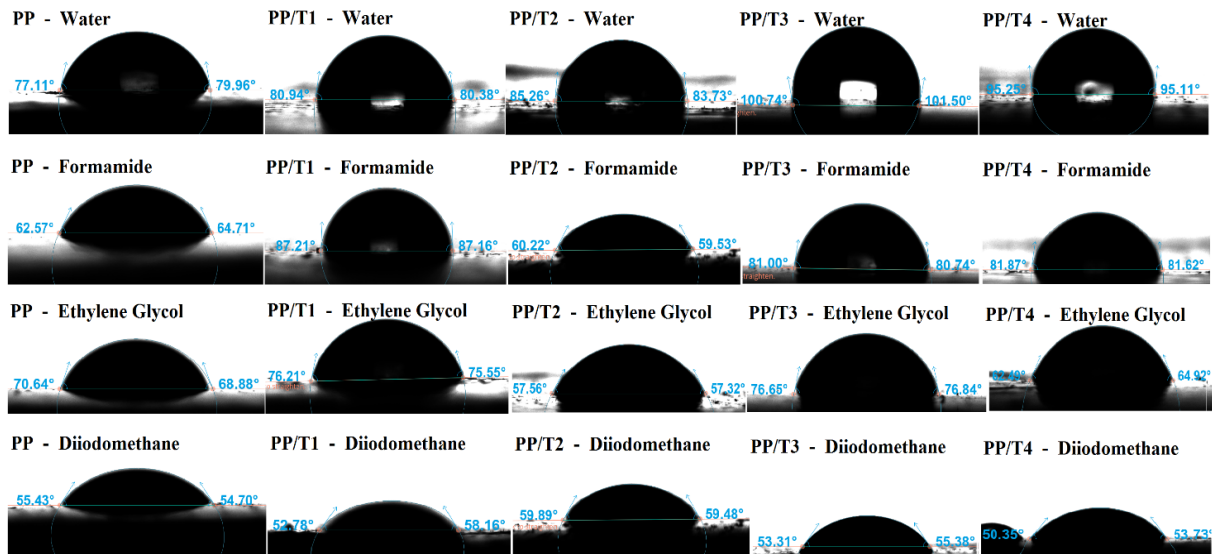
The images obtained during the contact angle measurements for the different PP/CaSiO₃ composites with water, ethylene glycol, diiodomethane and formamide were given in Figure 1. Table 3 summarizes the measured contact angles using these four standard liquids. In this work, contact angle measurements were performed for the surface characterization of PP/CaSiO₃ composites. Table 4 presents the total, dispersive and polar surface free energies determined using OWRK model. From Table 4, as expected the polar part value of the total surface free energy for pure PP sample is low compared to the dispersive one, because of highly apolar nature of the PP surface.

The comparison of all PP/CaSiO₃ composites revealed an improvement of the polar component value, particularly in the case of T3 and T4 filled PP composites. This behavior can be explained by the presence of H₂N- functional group in aminosilane coupling agent at the additive surface (Svab et al., 2005). However, the unexpected lower polar component of the surface free energy value obtained in the case of T1 and T2 filled PP composites is probably due to the higher particle size (30 μm) of fillers inducing a decrease of the surface free energy of the additives. As reported in the literature, the use of low sized particles leads commonly an improved surface free energy of the particles engendering enhanced adhesive properties (Holec et al., 2020; Rudawska et al., 2017).

Another explanation for the higher total surface free energy value determined in the case of T3 reinforced PP composites, with a rise by 23% may be a more homogeneous dispersion of these particles (Rudawska et al., 2017). In this case, a more detailed investigation of the microstructure can be valorized in a future paper. Furthermore, it can be stated that the particle shape can also have an effect on these results. While a higher polar component value of the surface free energy determined for anisotropic particle shaped T3 and T4 filled PP composites, needle-structured T1 and T2 filled PP composites exhibited lower values.

Table 3. Contact angles of PP/CaSiO₃ composites obtained with four different standard liquids

Sample	Water Contact angle (°)	Formamide Contact angle (°)	Ethylene Glycol Contact angle (°)	Diiodomethane Contact angle (°)
PP	78.5	63.6	69.8	55.1
PP/T1	80.4	87.2	75.7	56.3
PP/T2	84.5	68.8	57.4	59.8
PP/T3	101.1	80.1	76.8	54.4
PP/T4	95.1	81.7	63.7	52.0

**Figure 1.** Pictures of contact angles obtained for the different PP/CaSiO₃ composites with water, ethylene glycol, diiodomethane and formamide**Table 4.** Total surface free energies (SFE) of PP/CaSiO₃ composites with their polar and dispersive components

Solvent	γ_S^P (mN/m)	γ_S^D (mN/m)	γ_S^T (mN/m)
PP	7.420	50.79	58.21
PP/T1	5.240	46.44	51.68
PP/T2	0.120	20.02	20.14
PP/T3	71.55	0.001	71.55
PP/T4	39.90	7.310	47.21

4.2. Mechanical Properties Results

The flexural strength values obtained for pure PP and PP/CaSiO₃ composites prepared with fillers of different size and surface treatment were gathered in Table 5 and presented in Figure 2. The results showed a slight increase by 1.2% of the flexural strength only in the case of T3 reinforced PP composite compared to the unfilled PP sample. This behavior is in correlation with the surface free energy results where an increase was obtained only in the case of PP/T3 composite. The slight improvement of flexural strength in the case of PP/T3 composites is mainly due to the surface treatment of the particles with aminosilane. As largely reported in the literature, the surface treatment of wollastonite allows the improvement of mechanical properties due to the stronger interfacial adhesion between the filler and the polymer matrix and then the facilitated load transfer from the polymer matrix to the filler during the mechanical test (Meng and Dou, 2008; Chen et al., 2008; Qu et al., 2009).

On the other hand, T1, T2 and T4 filled PP composites revealed a drop by 24%, 23% and 14% compared to neat PP, respectively. The decrease of flexural strength observed for T1, T2 and T4 added PP composites is a result of the weak interactions between the fillers and the polymer matrix, where the load transfer at the interface is hindered. Similar results were obtained in the literature (Luyt et al., 2009; Svab et al., 2007). Moreover, this behavior can also be explained by the reduced motion of polymer chains inducing a decrease of the crystallinity of

the polymer due to the presence of CaSiO₃ particles (Sohail et al., 2017; Sohail et al., 2012; Yuan et al., 2017).

Table 5. Flexural strength values of pure PP and PP/CaSiO₃ composites

Sample	PP	PP/T1	PP/T2	PP/T3	PP/T4
Flexural strength (MPa)	40.8 ± 0.50	31.10 ± 3.10	31.50 ± 2.60	41.30 ± 0.53	35.10 ± 2.40

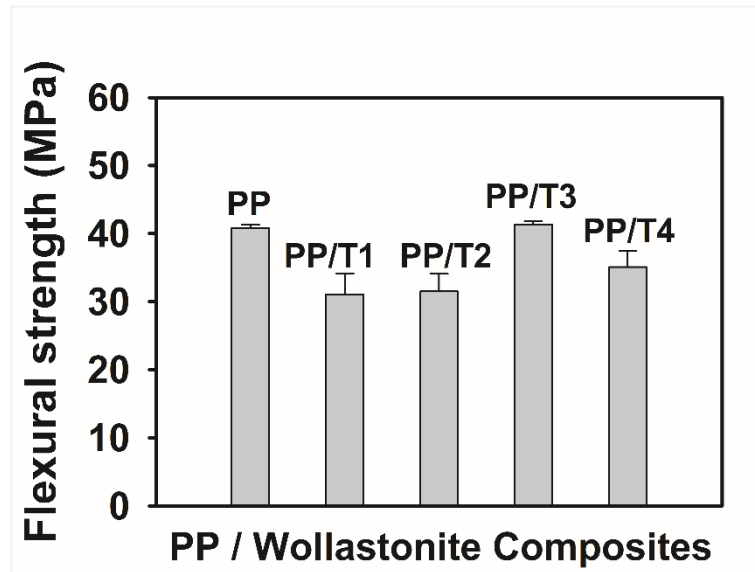


Figure 2. Flexural strength values of pure PP and PP/CaSiO₃ composites

5. Conclusion

PP/CaSiO₃ composites were produced using a twin-screw extruder and the surface free energy with the flexural properties were investigated. The results indicated an increase by 23% of the total surface free energy only in the case of PP/T3 composite probably due to the presence of H₂N- functional group in aminosilane coupling agent at the additive surface and a better filler-matrix interaction compared to the other composites. The flexural strength results of PP/CaSiO₃ composites also revealed a slight enhancement of the flexural properties only for PP/T3 composite with an augmentation by 1.2%. The other composites showed a maximum diminution by 24% for PP/T1 composite mainly due to the poor load transfer between polypropylene and wollastonite as a result of poor interactions between these two phases.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of Demo Plastik Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. (Turkey).

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Brandl, W., Marginean, G., Chirila, V., Warschewski, W. 2004. Production and characterisation of vapour grown carbon fiber/polypropylene composites. *Carbon*, 42 (1), 5-9.
- Cantero, G., Arbelaz, A., Llano-Ponte, R., Mondragon, I. 2003. Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behaviour of flax/polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 63 (9), 1247-1254.
- Chan, J. X., Wong, J. F., Hassan, A., Mohamad, Z., Othman, N. 2020. Mechanical properties of wollastonite reinforced thermoplastic composites: A review. *Polymer Composites*, 41 (2), 395-429.
- Chen, M., Wan, C., Shou, W., Zhang, Y., Zhang, Y., Zhang, J. 2008. Effects of interfacial adhesion on properties of polypropylene/Wollastonite composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 107 (3), 1718-1723.
- Demjén, Z., Pukánszky, B., Nagy, J. 1998. Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO₃ composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29 (3), 323-329.
- Drelich, J., Miller, J. D. 1995. A critical review of wetting and adhesion phenomena in the preparation of polymer-mineral composites. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 12 (4), 197-204.
- Holec, D., Dumitraschkewitz, P., Vollath, D., Fischer, F. D. 2020. Surface Energy of Au Nanoparticles Depending on Their Size and Shape. *Nanomaterials*, 10 (3), 484.

- Khoshkava, V., Kamal, M. R. 2013. Effect of Surface Energy on Dispersion and Mechanical Properties of Polymer/Nanocrystalline Cellulose Nanocomposites. *Biomacromolecules*, 14 (9), 3155-3163.
- Lee, C. H., Yang, H. E., Bae, Y. C., Oh, J. S. 2018. Phase equilibria and the surface tension of polypropylene polyol series in water/methanol mixtures: A consideration of structural effects. *Polymer*, 146, 169-178.
- Luyt, A. S., Dramicanin, M. D., Antic, Z., Djokovic, V. 2009. Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nanostructured wollastonite filler. *Polymer Testing*, 28 (3), 348-356.
- Meng, M. R., Dou, Q. 2008. Effect of pimelic acid on the crystallization, morphology and mechanical properties of polypropylene/wollastonite composites. *Materials Science and Engineering A*, 492 (1-2), 177-184.
- Owens, D. K., Wendt, R. C. 1969. Estimation of the surface free energy of polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 13 (8), 1741-1747.
- Qu, J., Liu, W., He, H. 2009. The Preparation of Polypropylene/Wollastonite Composites with Tri-screw Dynamic Compounding Extruder. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48 (3), 260-264.
- Rothon, R. N. 1999. *Mineral Fillers in Thermoplastics: Filler Manufacture and Characterisation*. Berlin: Springer.
- Rudawska, A., Jakubowska, P., Kloziński, A. 2017. Surface free energy of composite materials with high calcium carbonate filler content. *Polymery*, 62 (6), 434-440.
- Şekercioglu, T., Kaner, S. 2014. Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 55 (648), 37-43.
- Shimizu, R. N., Demarquette, N. R. 2000. Evaluation of Surface Energy of Solid Polymers Using Different Models. *Journal of Applied Polymer Science*, 76 (12), 1831-1845.
- Shokoohi, S., Arefazar, A., Khosrokhavar, R. 2008. Silane Coupling Agents in Polymer-based Reinforced Composites: A Review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27 (5), 473-485 .
- Sohail, O. B., Bin-Dahman, O. A., Rahaman, M., Al-Harhi, M. A. 2017. Effect of aluminum nitride concentration on different physical properties of low density polyethylene based nanocomposites. *Journal of Polymer Engineering*, 37 (8), 765-775.
- Sohail, O. B., Sreekumar, P. A., De, S. K., Khan, M. J., Hakeem, A., Alshaiban, A. A., Al-Harhi, M. A. 2012. Thermal Effect of Ceramic Nanofiller Aluminium Nitride on Polyethylene Properties. *Journal of Nanomaterials*, 250364.
- Svab, I., Musil, V., Leskovic, M. 2005. The Adhesion Phenomena in Polypropylene/Wollastonite Composites. *Acta Chimica Slovenica*, 52 (3), 264-271.
- Svab, I., Musil, V., Pustak, A., Smit, I. 2009. Wollastonite-reinforced polypropylene composites modified with novel metallocene EPR copolymers. II. Mechanical properties and adhesion. *Polymer Composites*, 30 (8), 1091-1097.
- Svab, I., Musil, V., Smit, I., Makarovic, M. 2007. Mechanical Properties of Wollastonite-Reinforced Polypropylene Composites Modified With SEBS and SEBS-g-MA Elastomers. *Polymer Engineering and Science*, 47 (11), 1873-1880.
- Yang, J., Xiao, J., Zeng, J., Bian, L., Peng, C., Yang, F. 2013. Matrix modification with silane coupling agent for carbon fiber reinforced epoxy composites. *Fibers and Polymers*, 14 (5), 759-766.
- Yuan, D., Gao, Y. F., Guo, Z. X., Yu, J. 2017. Improved thermal conductivity of ceramic filler-filled polyamide composites by using PA6/PA66 1:1 blend as matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, 134 (40), 45371.
- Zapata-Massot, C., Le Bolay, N. 2007. Effect of the Mineral Filler on the Surface Properties of Co-Ground Polymeric Composites. *Particle and Particle Systems Characterization*, 24 (4-5), 339-344.



FARKLI SİLİS VE ALÜMİN KAYNAKLARININ ATIK MERMER TOZU ESASLI ALKALİ İLE AKTİVE EDİLMİŞ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Serhat ÇELİKTEN, İsmail İsa ATABEY*

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Alkali Aktivasyon, Atık Mermer Tozu, Atık Cam Tozu, Kalsiyum Alüminat Çimentosu.</i>	Bu çalışmada mermer kesim atölyesinden kesim atığı olarak doğaya bırakılan atık mermer tozları alkali ile aktive edilerek çimentosuz harçlar üretilmiştir. Üretilen harçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine atık cam tozu ile kalsiyum alüminatlı çimentonun etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, mermer tozu yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında atık cam tozu ile kalsiyum alüminatlı çimento ayrı ayrı veya %5+%5, %10+%10 ve %15+%15 oranlarında birlikte ikame edilerek harç karışımları oluşturulmuştur. Harçlar üzerinde yayılma tablası, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mermer tozu yerine %10+%10 oranlarında atık cam tozu ile kalsiyum alüminatlı çimento birlikte ikame edilen harçlarda en yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Bu harçlarda 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 4.7 MPa 26.3 MPa olmuştur. Deney sonuçları mermer tozu yerine silis kaynağı olarak atık cam tozu ve alümin kaynağı olarak da kalsiyum alüminatlı çimento ikame edilmesinin, atık mermer tozunun çimentosuz harç üretimiyle geri kazanım potansiyelini artırdığını göstermiştir.

THE EFFECT OF DIFFERENT SILICA AND ALUMIN SOURCES ON THE PROPERTIES OF THE WASTE MARBLE POWDER BASED ALKALI-ACTIVATED MORTARS

Keywords	Abstract
<i>Alkali Activation, Waste Marble Powder, Waste Glass Powder, Calcium Aluminate Cement.</i>	In this study, cementless mortars are produced with activation of waste marble dust, a waste material disposed from stone cutting plants, The influences of waste glass powder and calcium aluminate cement on the physical and mechanical properties of the mortars. For this purpose, mortar mixtures are composed replacing 10%, 20% and 30% of waste marble dust by waste glass powder and calcium aluminate cement separately and also together at the 5%+5%, 10%+10% and 15%+15% proportions by weight. The flow table, unit weight, ultrasound pulse velocity, flexural strength and compressive strength test are performed on the mortars. The highest mechanical properties are achieved on the mortars including 10%+10% waste glass powder + calcium aluminate cement by waste marble dust. The flexural and compressive strength of these mortars are 4.7 MPa and 26.3 MPa at the age of 28 days, respectively. The experimental results showed that substituting waste glass powder as a silica source and calcium aluminate cement as a source of alumina instead of marble dust, increased the recovery potential of waste marble powder through cementless mortar production.

Alıntı / Cite

Çelikten, S., Atabey, İ.İ., (2021). Farklı Silis ve Alümin Kaynaklarının Atık Mermer Tozu Esaslı Alkali İle Aktive Edilmiş Harçların Özelliklerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 396-405.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Çelikten, 0000-0001-8154-7590
İ.İ. Atabey, 0000-0002-7026-5579

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	21.02.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	12.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: ismailatabey@nevsehir.edu.tr, +90-384-228-1000

1. Giriş (Introduction)

Portland çimentosu üretimi atmosfere yüksek CO₂ salınımı sebebiyle çevresel problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle çimentolu üretilen yapı malzemelerine ek olarak çimentosuz üretilen yeni çevreci yapı malzemelerine talep giderek artmaktadır (Yurt, 2020; Yurt ve Emiroğlu, 2020). Bununla birlikte günümüzde giderek artan katı atıklar önemli çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Mermer atölyesi kesim atıkları da araştırmacılar tarafından çimentolu ve çimentosuz harç yapımı için talep gören katı atıklar arasındadır. Türkiye yaklaşık 3782 milyon m³ mermer rezervi ile Dünyadaki toplam mermer rezervinin %40'ına sahiptir (Singh vd., 2019). Türkiye'de farklı renk ve karakteristiğe sahip 250'nin üzerinde mermer çeşidi bulunmaktadır (Çelik ve Sabah, 2008). Türkiye'de işlenen farklı türdeki mermer bloklardan kayda değer miktarda atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Mermer maden ocaklarından gelişigüzel şekillerde çıkarılan mermer bloklar istenilen şekillerdeki daha küçük bloklar halinde kesilir. Bu kesme işlemi sırasında mermerin yaklaşık %25'i kesim sırasında bıçaklara dökülen suyla birlikte atık mermer çamurunu oluşturur (Karaşahin ve Terzi, 2007). Daha sonra bu çamur mermer kesim atölyesinden kanallar vasıtasıyla dışarı atılır ve kendiliğinden kurumaya bırakılır (Singh vd., 2019). Kuruyan çamurdan arta kalan mermer tozu özellikle yaz aylarında toz oluşumuna yol açmakta ve çevreye dağılan bu tozların tarıma ve canlı sağlığına olumsuz etkileri olmaktadır. Bu nedenle atık mermer tozunun geri kazanımı ekonomik ve ekolojik açıdan önem arz etmektedir. Ayrıca diğer bir katı atık olan camlar geri dönüştürülemez ise depolama alanlarında bekletilmektedir. Birleşmiş Milletler, yıllık ortaya çıkan katı atıkların 200 milyon ton civarında olduğunu, bunun %7'sini atık camın oluşturduğunu tahmin etmektedir. Türkiye'de ise bu atık cam miktarının 120000 ton olduğu ve bunun ancak 80000 tonu geri dönüştürülebildiği belirtilmektedir (Topçu ve Canbaz, 2004).

Atıkların kullanımında kristal yapıları kadar kimyasal kompozisyonu da önemlidir (Bingöl ve Balaneji, 2019). Yüksek oranda Ca içeren atık mermer tozunun inşaat sektöründe çeşitli uygulamalarda geri kazanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Zorluer ve Demirbaş, 2013; Binici vd., 2007; Saboya vd., 2007). Bu çalışmalardan bazıları da atık mermer tozunun çimento yerine belirli oranlarda ikame edilmek suretiyle çimento esaslı bağlayıcılarda kullanılabilirliği üzerinedir (Singh vd. 2019; Aliabdo vd., 2014; Ergün, 2011; Shirule vd., 2012). Yapılan çalışmalar mermer tozunun özellikle boşluk doldurma etkisiyle çimento esaslı bağlayıcıların mekanik özelliklerini geliştirmede etkili olduğunu göstermiştir (Ergün, 2011). Diğer taraftan, atık mermer tozunun çimento yerine optimum ikame oranı %7.5 (Ergün, 2011), %10 (Shirule vd., 2012), veya %10-%15 (Singh vd., 2019) gibi düşük oranlarda kaldığından, bu atık malzemenin tüketilmesi için alternatifler araştırılmıştır. Bu nedenle atık mermer tozunun alkali ile aktive edilmiş bağlayıcı üretiminde kullanımı ile daha yenilikçi bir bağlayıcı elde edilmeye çalışılmıştır (Tekin, 2016).

Alkali ile aktive edilmiş bağlayıcılar ile ilgili çalışmalar araştırmacılar tarafından son zamanlarda ilgi görmektedir. Ayrıca atık tozların alkali aktivatörler kullanılarak harç üretilmesi ile ilgili araştırmalar endüstriyel atıkların çevresel etkileri nedeniyle yaygınlaşmaktadır (Çelikten ve Atabay, 2021). Ancak, araştırmalarımıza göre atık mermer tozu ile yenilikçi bağlayıcı elde edilmesi hakkında literatürde kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Coppola vd. (2020), atık mermer tozunu alkali ile aktive ederek cam tozunun farklı kür koşullarına etkisini araştırmışlardır. Havada, suda ve nemli ortamda kür uygulayarak optimum kür şartlarını belirlemişlerdir. Cam tozu ilave edilmesi hava küründe hem dayanımı arttırdığını hem de büzülme özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Salihoğlu ve Salihoğlu (2018), mermer kesim atıklarını 8M NaOH ile aktive ederek atık geri dönüşüm potansiyelini araştırmışlardır. %25 atık mermer, %25 uçucu kül, %25 yüksek fırın cürufu ve %25 çimento ile karışım hazırlayarak 52 MPa dayanıma ulaşarak mermer kesim atıklarının alkali aktivatörler ile geri dönüşümünün uygun olduğunu öne sürmüşlerdir.

Alkali ile aktive edilmiş harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde harç içerisine giren bağlayıcı malzemenin kimyasal içeriği önemli rol oynar. İstenilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için başlangıç malzemelerinde uygun miktarda Silis (Si) ve Alümin (Al) bulunması gerekmektedir. Atık mermer tozu yüksek oranda Ca, atık cam tozu yüksek oranda Si içerdiği için daha düşük miktarda yer alan Al miktarını arttırmak için zengin Al içeren bir malzeme ilave edilerek bileşimin değiştirilmesi bağlayıcının özelliklerini iyileştirmektedir (Atabay ve Ay; 2021). Al kaynağı olarak kullanılabilir kalsiyum alüminat çimentosu, araştırmalarda yaygın olarak portland çimentolu harç/beton üretiminde etkisi üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Davraz vd. 2021; Yılmaz vd. 2018). Ancak son zamanlarda Si bakımından zengin toz atıkların alkali ile aktive edilmesi ile elde edilen harçlarda kalsiyum alüminat çimentosunun Al kaynağı olarak bu harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmaktadır (Atabay ve Ay; 2021).

Atık mermer tozu gibi yüksek kalsiyum içerikli ham malzemelerin alkali ile aktive edilmesi ile elde edilen bağlayıcılarda görülen jel oluşumları genellikle kalsiyum alümina silikat hidrat (C-A-S-H) (Provis ve Bernal, 2014; Wang vd., 1995) ve sodyum ilaveli kalsiyum alümina silikat hidrat (N-C-A-S-H) şeklinde tanımlanmıştır (Coppola vd., 2020; Puertas vd., 2000; Kaya vd., 2020). Bununla birlikte, atık mermer tozu amorf silisyum ve alüminyum

içeriği bakımından fakir olduğundan, bu tanımlanan jellerin oluşumlarının sınırlı düzeyde meydana gelmesi ve atık mermer tozundan elde edilen alkali ile aktive edilmiş bağlayıcıların dayanımları düşük seviyelerde kalması beklenir. Tekin (2016), içeriğinde %80 oranında mermer tozu ve %20 oranında Bayburt taşı atığı bulunan 10M NaOH ile üretilen bağlayıcılar için en yüksek 28 günlük basınç dayanımını yaklaşık 15 MPa olarak rapor etmiştir. Ayrıca, yazar benzer içeriğe sahip daha düşük NaOH içeriği ile üretilen bağlayıcılarda daha düşük basınç dayanımı elde etmiştir. Ayrıca literatürde, atık mermer tozu ile üretilen alkali ile aktive edilmiş bağlayıcıların özellikleri ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada amorf silis kaynağı olarak diğer bir endüstriyel atık malzeme olan atık cam tozu ve amorf alüminyum kaynağı olarak ise kalsiyum alüminatlı çimento atık mermer tozu yerine kullanılmıştır. Üretilen harçların işlenebilirlik, birim ağırlık, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı özellikleri araştırılmıştır. Atık mermer tozu esaslı harçların özelliklerine atık cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimentonun ayrı ayrı ve birlikte ilave edilmesi ile uygun karışım içeriği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

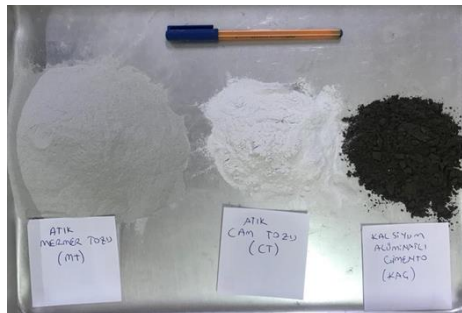
Harç karışımlarında alkali ile aktive etmek amacıyla kullanılan hammaddelerden atık mermer tozu çamur halinde Nevşehir’de bulunan Dokuz Kardeşler mermer kesim atölyesinden, atık cam tozu Akcihan Cam Geri Dönüşüm’den ve kalsiyum alüminatlı çimento da Çimsa Mersin Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Çamur halinde temin edilen mermer çamuru etüvde 105°C’de değişmeyen ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulmuş mermer tozu 125 µm göz açıklıklı elekten elenmiş ve elekten geçen malzeme harç karışımlarında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan atık mermer tozu (MT), atık cam tozu (CT) ve kalsiyum alüminatlı çimentonun (KAÇ) kimyasal içerikleri Tablo 1’de ve görünümleri de Şekil 1’de sunulmuştur. Harç karışımlarında Nevşehir şebeke suyu ve özgül ağırlığı 2.673, su emme değeri %1.94 olan dere kumu kullanılmıştır. Kullanılan kumun tane dağılımı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. MT, CT ve KAÇ’ın Kimyasal Özellikleri (Chemical Properties of MT, CT ve KAÇ)

ÖZELLİK	KAÇ	MT	CT
SiO ₂ (%)	3.60	5.06	69.42
Al ₂ O ₃ (%)	39.80	0.18	1.09
Fe ₂ O ₃ (%)	17.05	1.26	0.48
CaO (%)	36.20	58.1	8.27
MgO (%)	0.65	0.38	4.25
SO ₃ (%)	0.04	0.08	-
Na ₂ O (%)	0.16	0.79	12.31
K ₂ O (%)		-	-
Cl ⁻ (%)	0.009	-	-
K. K. (%)	0.30	34.15	-
Yoğ. (g/cm ³)	3.25	2.82	2.89

Tablo 2. Dere Kumu Tane Dağılımı (Sieve Analysis of River Sand)

Elek Çapı, mm	Geçen, %
4.00	99.1
2.00	65.1
1.00	40.2
0.5	21.3
0.25	9.9
0.125	3.7
0.063	0.9



Şekil 1. MT, CT ve KAÇ Görünümü (Appearances of MT, CT and KAÇ)

Bu deneysel çalışmada, atık mermer tozu içeriğine göre 4 seride 10 farklı harç karışımı üretilmiştir. Karışım hazırlamak için kullanılan malzeme miktarları Tablo 3’de verilmiştir. Tüm harç karışımlarında su/bağlayıcı oranı 0.5, kum/bağlayıcı oranı ise 3 olarak belirlenmiştir. Karışımlarda NaOH su içerisinde eritilerek 10 molar (M)

solüsyon elde edilecek miktarda kullanılmıştır. Bununla birlikte, karışımlar içerdikleri atık mermer tozu miktarına bağlı olarak 4 farklı seride (%100, %90, %80 ve %70) üretilmiştir. Atık mermer tozu yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında atık cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimento ayrı ayrı veya birlikte ikame edilmiştir. Harç karışımları TS EN 196-1 (2009) standardına uygun olarak üretilmiştir. Harç üretiminde Hobart mikseri kullanılmıştır. Mikserin karıştırma kabına öncelikle bağlayıcı malzeme (atık mermer tozu, cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimento toplamı) içeriği ve 10M NaOH solüsyonu dökülmüş ve 140 rpm dönüş hızı ile 30 saniye boyunca karıştırılmıştır. İlk 30 saniye bitiminde mikser durdurulmadan mikserin kum haznesinden karıştırma kabına kum yavaşça dökülmüş ve toplamda 60 saniyede bu hızda karıştırılmıştır. Daha sonra karışım 30 saniye boyunca 280 rpm dönüş hızı ile 30 saniye daha karıştırılmış, bu hızlı karıştırmadan sonra da karışım 90 saniye boyunca dinlenmeye bırakılmıştır. Son olarak da 60 saniye daha 280 rpm dönüş hızı ile karıştırılan harç karışımları kalıplara dökülmeden önce 15 saniye dinlendirilmiştir. Dinlendirilen karışımdan alınan numune üzerinde TS EN 1015-3 (2006) standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra karışımlar 40×40×160 mm boyutlarında 3 göze sahip harç kalıplarına üç aşamada dökülmüştür. 3 gözlü harç karışımlarına dökülen karışımlar kalıplarıyla birlikte etüve konulmuş ve 24 saat boyunca 100°C sıcaklıkta ısıl küre tabi tutulmuştur. Isıl kür işleminden sonra ise kalıplarından çıkarılan harç numuneleri laboratuvar koşullarında yaklaşık 23±2°C sıcaklıkta 28 gün bekletilmiştir. Daha sonra, 28 gün bekletilen numunelerin birim ağırlıkları belirlenerek ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Aynı numuneler üzerinde TS EN 1015-11 (2013) standardına uygun üç noktadan eğilme deneyi yapılarak ortadan kırılan iki parça numuneye de basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir deneysel değer 3 numunedan elde edilen sonuçların ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir.

Tablo 3. Harçların Karışım Oranları (Mixture Proportions of Mortars)

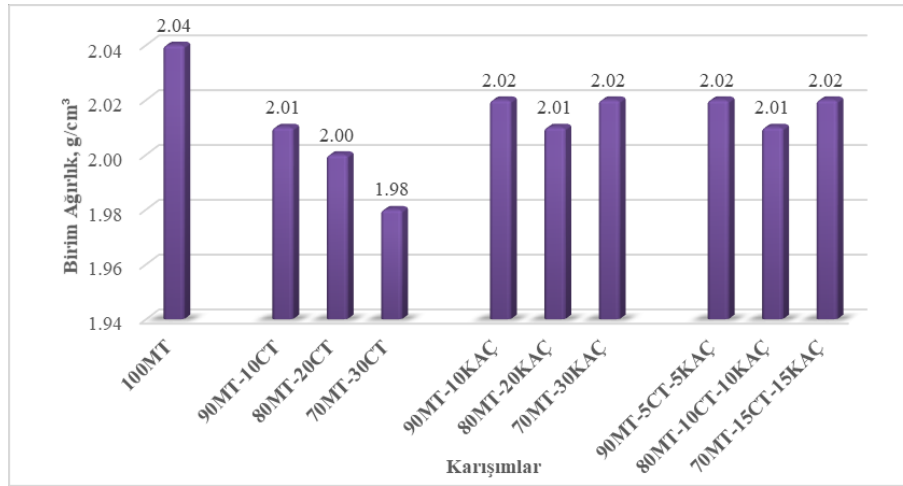
Seri Kodu	Karışım Kodu*	Atık Mermer Tozu (g)	Atık Cam Tozu (g)	Kalsiyum Alüminat Çimentosu (g)	Kum (g)	Su (g)	NaOH (g)
100MT	100MT	450	0	0	1350	225	90
90MT	90MT-10CT	405	45	0	1350	225	90
	90MT-10KAÇ	405	0	45	1350	225	90
	90MT-5CT-5KAÇ	405	22.5	22.5	1350	225	90
80MT	80MT-20CT	360	90	0	1350	225	90
	80MT-20KAÇ	360	0	90	1350	225	90
	80MT-10CT-10KAÇ	360	45	45	1350	225	90
70MT	70MT-30CT	315	135	0	1350	225	90
	70MT-30KAÇ	315	0	135	1350	225	90
	70MT-15CT-15KAÇ	315	67.5	67.5	1350	225	90

*MT:Atık mermer tozu, CT:Atık cam tozu, KAÇ: kalsiyum alüminat çimentosu

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Birim Ağırlık (Unit Weight)

Deneysel çalışmada üretilen harçların birim ağırlıkları Şekil 2'de sunulmuştur. Harçlarda en yüksek birim ağırlık değeri 2.04 g/cm³ ile 100MT kodlu harçlarda gözlenirken, en düşük birim ağırlık değeri 1.98 g/cm³ ile 70MT-30CT kodlu harçlarda elde edilmiştir. Harçlardaki atık cam tozu ikamesiyle birim ağırlık değerleri %3'e varan oranlarda azalırken, kalsiyum alüminatlı çimento ikamesi harçların birim ağırlıklarında kayda değer bir değişime yol açmamıştır. Bu harçların birim ağırlıklarının 100MT harçlara göre %1 ile %1.5 oranları arasında daha düşük olduğu görülmüştür. Atık cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimentonun mermer tozu yerine ikame oranları düşük değerlerde olduğu için birim ağırlıklara önemli bir etkisi olmamıştır.

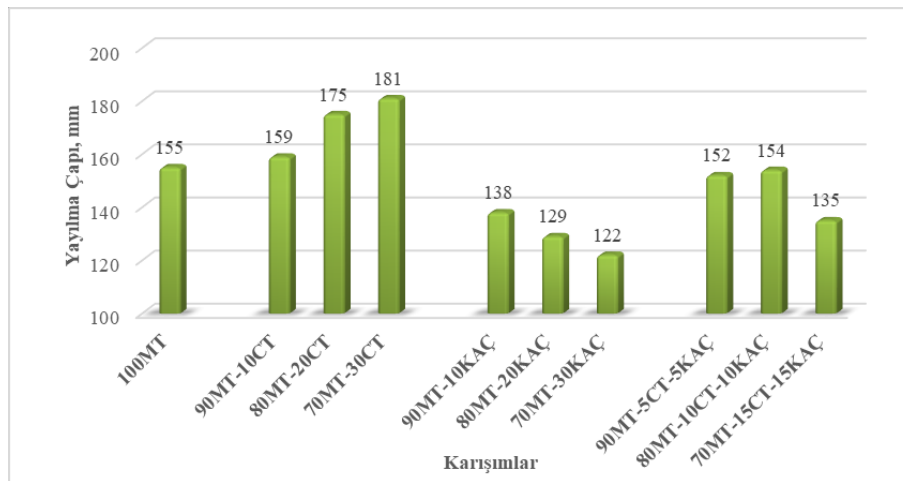


Şekil 2. Harçların Birim Ağırlıkları (Unit Weights of Mortars)

3.2. İşlenebilirlik (Workability)

Alkali ile aktive edilmiş mermer tozlu harçların yayılma çapları üzerine atık cam tozu, kalsiyum alüminatlı çimento ve atık cam tozu ile birlikte kullanılan kalsiyum alüminatlı çimentonun etkisi Şekil 3'de gösterilmiştir. Bağlayıcı malzeme olarak sadece atık mermer tozu içeren (MT100) harçların yayılma çapları ortalama 155 mm olarak ölçülmüştür. Harçların yayılma çapları cam tozu ikamesiyle kademeli olarak artmış, ikame oranı %30'a ulaştığında da (70MT-30CT) yayılma çapı ortalama olarak 181 mm olmuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda, atık mermer tozunun çimento yerine ikame edildiği bağlayıcılarda işlenebilirliğin de arttığı görülmüş, bunun nedeni olarak da atık cam tozunun çimentoya göre daha pürüzsüz yüzeye sahip olması gösterilmiştir (Wang vd., 2010; Terro, 2006). Bu çalışmada da atık mermer tozu yerine atık cam tozu ikamesi ile artan işlenebilirliğin nedeni olarak atık cam tozunun az pürüzlü tanecik yüzeyi gösterilebilir.

Atık mermer tozu yerine kalsiyum alüminatlı çimento kullanılan harçlarda ise ikame oranı arttıkça yayılma çapları azalmıştır. Mermer tozu yerine %30 oranında kalsiyum alüminatlı çimento (70MT-30KAÇ) kullanıldığında da yayılma çapı 122 mm'ye kadar düşmüştür. Atık mermer tozu yerine kalsiyum alüminatlı çimento ile atık cam tozunun birlikte ikame edildiği karışımlarda ise 90MT-5CT-5KAÇ ve 80MT-10CT-10KAÇ kodlu harçlarda 100MT harçlarıyla benzer yayılma çapı elde edilmiştir. Ancak, 70MT-15CT-15KAÇ kodlu harçlarda ise yayılma çapı özellikle kalsiyum alüminatlı çimento içeriği ile azalan işlenebilirlik nedeniyle 135 mm'ye kadar düşmüştür.



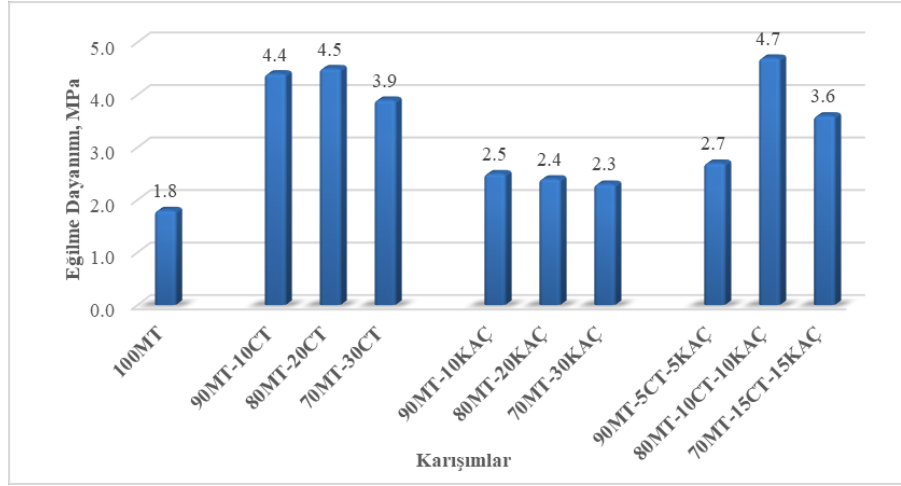
Şekil 3. Harçların Yayılma Çapları (Flow Diameters of Mortars)

3.3. Eğilme Dayanımı (Flexural Strength)

Çalışma kapsamında üretilen harçların eğilme dayanımları üzerine atık cam tozu, kalsiyum alüminatlı çimento ve atık cam tozu ile birlikte kullanılan kalsiyum alüminatlı çimentonun etkileri Şekil 4'de sunulmuştur. 100MT kodlu harçların eğilme dayanımı 1.8 MPa olarak belirlenmiştir. Atık mermer tozu yerine atık cam tozu ikame edilen (MT-CT) harçlarda en yüksek eğilme dayanımı 4.5 MPa ile 80MT-20CT kodlu numunelerde elde edilmiştir. Eğilme dayanımının 100MT harcına göre 80MT-20CT karışımında %150'ye varan oranlarda daha yüksek olduğu

görülmüştür. Literatürde bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarını karşılaştırabilecek kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Coppola vd. (2020), atık mermer tozunu cam tozu ile hacimce %2,5 ve %5 yer değişiminde cam tozunun artması ile daha yüksek eğilme dayanımına ulaşmışlardır. Çalışmamızda da benzer şekilde 100MT karışımlara göre CT içeriği ile birlikte eğilme dayanımında artışlar görülmüştür.

Atık mermer tozu yerine kalsiyum alüminatlı çimento ikame edilen (MT-KAÇ) harçların eğilme dayanımlarının da 100MT harçlardan 90MT-10KAÇ karışımında 2.5 MPa ile %39'a varan oranlarda daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu harçlarda ise en yüksek eğilme dayanımı değerine 90MT-10KAÇ kodlu harçlarda ulaşılmıştır ancak %20 ve %30 KAÇ yer değişimi eğilme dayanımı değerleri de oldukça yakındır. Ayrıca, atık cam tozu ikame edilen (MT-CT) harçların eğilme dayanımlarının kalsiyum alüminat ikameli (MT-KAÇ) harçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Üçlü karışımlarda ve tüm harçlar arasında en yüksek eğilme dayanımı değerine 80MT-10CT-10KAÇ kodlu harçlarda ulaşılmıştır. Bu harçların en yüksek eğilme dayanımı 4.7 MPa olarak belirlenmiştir.

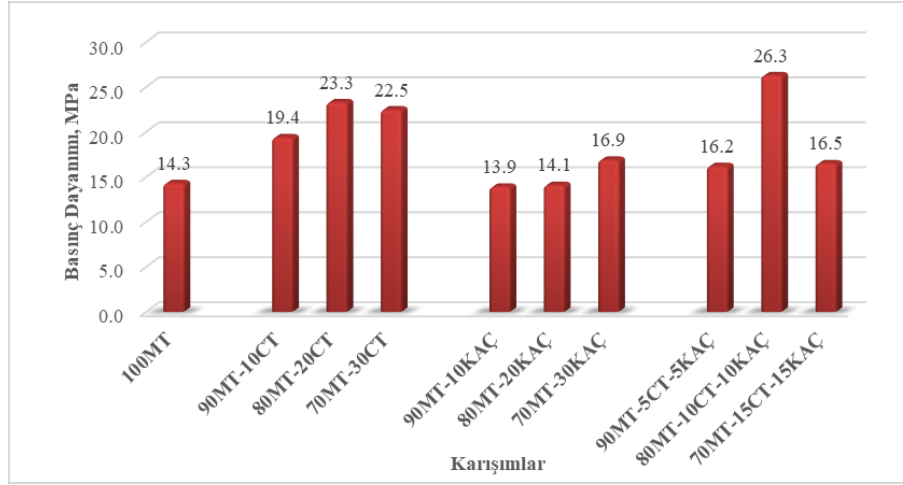


Şekil 4. Harçların Eğilme Dayanımları (Flexural Strengths of Mortars)

3.4. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

Alkali ile aktive edilmiş harçların basınç dayanımları Şekil 5'de sunulmuştur. 100MT harçların basınç dayanımları 14.3 MPa iken; 90MT-10CT harçların 19.4 MPa, 80MT-20CT harçların 23.3 MPa ve 70MT-30CT harçların basınç dayanımları da 22.5 MPa olarak elde edilmiştir. Harçlarda atık cam tozu ikamesiyle basınç dayanımları belirgin bir şekilde artmıştır. Bununla birlikte, %10 ve %20 kalsiyum alüminatlı çimento ikamesinin harçların basınç dayanımına olumlu bir etkisi görülmezken, ikame oranı %30 olduğunda 100MT harçların basınç dayanımlarına göre yaklaşık %18 oranında artış gözlenmiştir. Ayrıca üç bağlayıcının birlikte kullanıldığı (MT-CT-KAÇ) harçların tamamının basınç dayanımlarının 100MT harçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada üretilen harçlarda eğilme dayanımlarında olduğu gibi basınç dayanımlarında da en yüksek değerlere 80MT-10CT-10KAÇ kodlu harçlarda ulaşılmıştır. Bu harçların basınç dayanımları 26.3 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, alkali ile aktive edilecek bağlayıcı malzemelerdeki CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ oksitlerinin uygun oranlarda bir araya getirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerde daha iyi mekanik özelliklerin elde edilebileceğini göstermektedir.

Daha önceki bir çalışmada, Kumar vd. (2017) tarafından uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve metakaolen üçlü karışımı ile alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcı üretilerek, sabit aktivatör, su ve kür koşullarında en uygun karışım elde edilmeye çalışılmıştır. En yüksek dayanım değerleri %60 uçucu kül, %25 yüksek fırın cürufu ve %15 metakaolin içeriği ile elde edilmiştir. Bu çalışmada uçucu kül özellikle SiO₂ ve Al₂O₃, yüksek fırın cürufu CaO ve SiO₂, metakaolin de Al₂O₃ ve SiO₂ kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan atık cam tozu, atık mermer tozu ve kalsiyum alüminatlı çimentonun kimyasal kompozisyonuna göre atık mermer tozu CaO, atık cam tozu SiO₂ ve kalsiyum alüminatlı çimento da özellikle Al₂O₃ kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu kaynakların birlikte kullanıldığı 80MT-10CT-10KAÇ kodlu harçlarda basınç dayanımı 100MT harçlara göre %84 daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca Jiménez vd. (2008) KAÇ çimentolarının alüminosilikatların alkali aktivasyonunda ilave Al kaynağı olarak kullanılabilirliğini ve küçük miktarda KAÇ varlığının mekanik mukavemeti iyileştireceğini ifade etmişlerdir. Önceki çalışmalarda (Vafaei ve Allahverdi, 2016; Vafaei ve Allahverdi, 2017; Fernández-Jiménez vd., 2008) KAÇ tipi çimento kullanımının alkali aktivasyon yönteminde kullanımı araştırılmış ve dayanım gelişimi belirlenmiştir.



Şekil 5. Harçların Basınç Dayanımları (Compressive Strengths of Mortars)

3.5. Ultrases Geçiş Hızı (Ultrasonic Pulse Velocity)

Alkali ile aktive edilmiş harçların ultrases geçiş hızları Şekil 6'da sunulmuştur. 100MT harçların ultrases geçiş hızları 1.7 km/s ile sadece atık mermer tozu-kalsiyum alüminat çimentolu (MT-KAÇ) karışımlara eşit veya çok yakındır. Ancak atık mermer tozu- atık cam tozu karışımları (MT-CT) ve atık mermer tozu-atık cam tozu-kalsiyum alüminatlı çimento (MT-CT-KAÇ) karışımlarından düşüktür. Şekil 6'da görüldüğü gibi bu sonuçlar basınç dayanım değerleri ile de uyumludur. En yüksek ultrases geçiş hızına sahip 80MT-10CT-10KAÇ karışımı, 100MT karışımından yaklaşık %65 daha yüksek değerdedir.

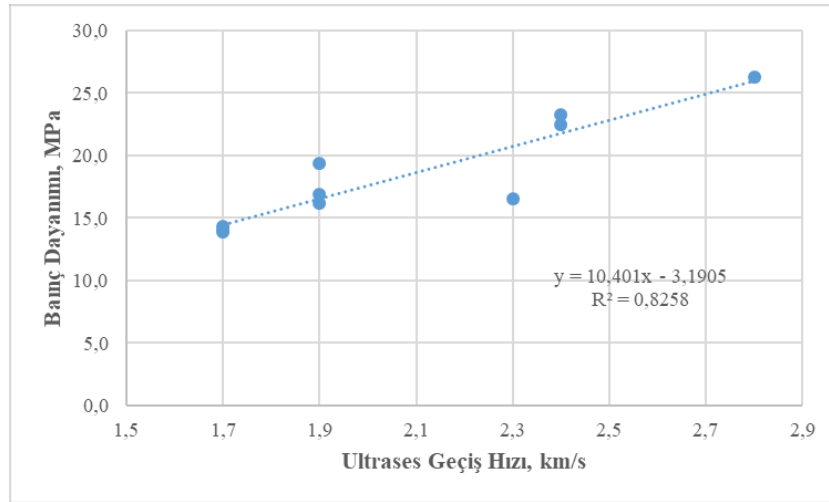
Ultrases geçiş hızı testi uzun yıllardan beri geleneksel beton ve harçların homojenliği, basınç dayanımı ve boşluk miktarı ile ilgili fikir sahibi olma adına kullanılmaktadır (Kaplan, 1958). Basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı değerleri arasında benzer ilişki daha önceki çalışmalarda alkali ile aktive edilmiş bağlayıcılar için de rapor edilmiştir (Omer vd., 2015; Ghosh 2018). Bu sonuçlar, alkali aktivasyon işleminin daha iyi gerçekleştiği beton ve harçlarda boşlukların daha az olduğunu, dayanım değerlerinin de daha yüksek elde edildiğini ve ultrases geçiş hızı değerlerinin de bu bağlamda daha yüksek elde edildiğini göstermektedir.



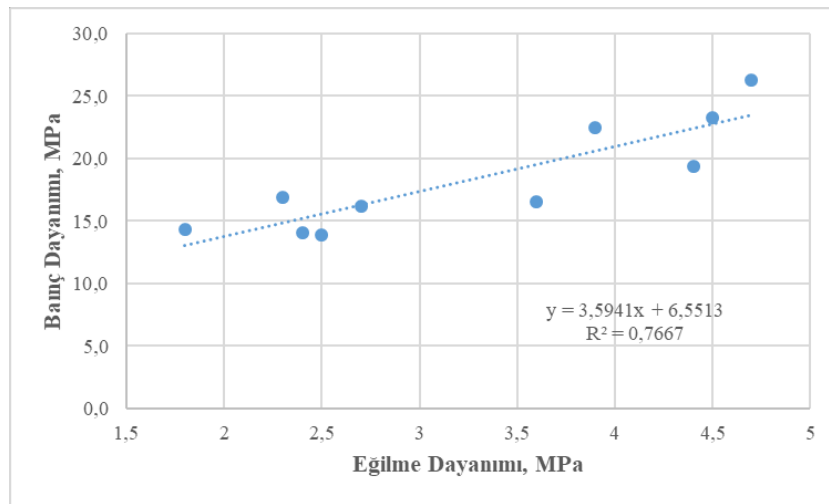
Şekil 6. Harçların Ultrases Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Değişimi (Variation Between Ultrasonic Pulse Velocity-Compressive Strength of Mortars)

3.6. Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki (Relation Between Mechanical Properties)

Harçların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler Şekil 7 ve Şekil 8'de sunulmuştur. Şekil 7'de görülen R^2 değeri harçların ultrases geçiş hızı değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca eğilme dayanımı ile basınç dayanımı değerleri arasında korelasyonun harçların ultrases geçiş hızı değerleri ile basınç dayanımı arasındaki korelasyona göre biraz daha düşük olduğu görülmüştür. Bu farklılığın nedeni CaO içeriğinin artışı ile birlikte alkali ile aktive edilmiş bağlayıcıların eğilme dayanımının basınç dayanımına oranının daha düşük olması gösterilebilir (Marjanović vd., 2015; Çelikten vd., 2019).



Şekil 7. Harçların Ultrases Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Değerleri Arasındaki İlişki (Relationship Between Ultrasonic Pulse Velocity-Compressive Strength of Mortars)



Şekil 8. Harçların Eğilme Dayanımı-Basınç Dayanımı Değerleri Arasındaki İlişki (Relationship Between Flexural Strength-Compressive Strength of Mortars)

5. Sonuç ve Öneriler (Conclusions)

- Alkali ile aktive edilmiş atık mermer tozu esaslı harçların yayılma çapları atık cam tozu ikamesiyle kademeli olarak artarken, kalsiyum alüminatlı çimento içeriğiyle de belirgin bir şekilde azalmıştır. Harçlarda mermer tozu yerine %5+%5 ve %10+%10 oranlarında atık cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimentonun birlikte ikame edilmesi ise harçların yayılma çaplarında önemli bir değişime yol açmamıştır.
- Eğilme dayanımlarında, atık mermer tozu (100MT) ile üretilen harçlara göre 80MT-20CT karışımında %150, 90MT-10KAÇ karışımında %39 ve 80MT-10CT-10KAÇ karışımında ise %161 daha yüksek değere ulaşılmıştır.
- Basınç dayanımlarında, atık mermer tozu (100MT) ile üretilen harçlara göre 80MT-20CT karışımında %63, 70MT-30KAÇ karışımında %18 ve 80MT-10CT-10KAÇ karışımında ise %84 daha yüksek değere ulaşılmıştır.
- Sadece cam tozu ikame edilen harçlarda en uygun ikame oranı %20 iken, sadece kalsiyum alüminatlı çimento ikame edilen harçlarda bu oran %30 olmuştur. Bu malzemelerin mermer tozu yerine beraber ikame edildiği karışımlarda ise en uygun ikame oranı %10 CT+%10 KAÇ olmuştur.
- Mermer tozu yerine atık cam tozu ve kalsiyum alüminatlı çimentonun birlikte ikame edilmesi, mermer tozunun çimentosuz harç üretimiyle geri kazanım potansiyelini arttırmıştır.
- Çalışma sonucunda, atık mermer tozu ve atık cam tozunun alkali ile aktive edilmiş harç üretimi için önemli bir potansiyele sahip olduğu ve ek alümin kaynakları ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceği ortaya konmuştur. Bu kapsamda değerlendirildiğinde olumsuz çevresel etkisi yüksek toz atıkların, ekonomiye geri kazanımı ve depolama sahalarından azaltılması mümkün olabilecektir. İleriki çalışmalar için, atık mermer tozu ve atık cam tozu kullanılarak farklı aktivatör ve kür koşullarının dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkisinin incelenmesi önerilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Aliabdo, A.A., Elmoaty, A.E.M.A., Auda, E.M., 2014. Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*, 50, 28-41.
- Atabey, İ.İ., Ay, C., 2021. Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 184-189.
- Binici, H., Kaplan H., Yılmaz S., 2007. Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. *Scientific Research and Essay*, 2(9), 372-379.
- Bingöl, A.F., Balaneji, H.H., 2019. Yüksek Fırın Cürufu ve Zeolit Katkılı Betonların Sülfat Direncinin Belirlenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 254-264.
- Çelik, M.Y., Sabah, E., 2008. Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution. *Journal of environmental management*, 87(1), 106-116.
- Çelikten, S., Atabey, İ. İ., 2021. Su içeriği ve ısıl kür süresinin atık bazalt tozu esaslı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 328-332.
- Çelikten, S., Sarıdemir, M. Deneme, İ.Ö., 2019. Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag+ fly ash mortars exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*. 217, 50-61.
- Coppola, B., Palmero, P., Montanaro, L., Tulliani, J.M., 2020. Alkali-activation of marble sludge: Influence of curing conditions and waste glass addition. *Journal of the European Ceramic Society*. 40(11), 3776-3787.
- Davraz, M., Koru, M., Yanardağ, B., 2021. Kalsiyum Alüminat Çimentolu Hafif Betonun Fiziko-Mekanik ve Termal Özelliklerinin Araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(1), 217-229.
- Ergün A., 2011. Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(2), 806-812.
- Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., Vazquez, T., Vallepu, R., Terai, T., Ikeda, K., 2008. Alkaline activation of blends of metakaolin and calcium aluminate. *Journal of the American Ceramic Society*, 91(4), 1231-1236.
- Ghosh, R., Sagar, S. P., Kumar, A., Gupta, S. K., Kumar, S. 2018. Estimation of geopolymer concrete strength from ultrasonic pulse velocity (UPV) using high power pulser. *Journal of Building Engineering*, 16, 39-44.
- Kaplan, M., 1958. Compressive strength and ultrasonic pulse velocity relationships for concrete in columns. *ACI Journals*, 54(2), 675-688.
- Karavaşin, M., Terzi S., 2007. Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete. *Construction and Building Materials*, 21(3), 616-620.
- Kaya, M., Uysal, M., Yılmaz, K., Karahan, O., Atiş, C.D., 2020. Mechanical properties of class C and F fly ash geopolymer mortars. *Gradevinar*. 72(4), 297-309.
- Kumar, V.S., Ganesan N., Indira P.V., 2017. Effect of Molarity of Sodium Hydroxide and Curing Method on the Compressive Strength of Ternary Blend Geopolymer Concrete. In *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. Vol. 80*, p. 12011.
- Marjanović, N., Komljenović, M., Baščarević, Z., Nikolić, V., Petrović, R., 2015. Physical-mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash-blast furnace slag blends. *Ceramics International*. 41(1), 1421-1435.
- Omer, S. A., Demirboga, R., Khushefati, W. H., 2015. Relationship between compressive strength and UPV of GGBFS based geopolymer mortars exposed to elevated temperatures. *Construction and Building Materials*. 94, 189-195.
- Provis, J.L., Bernal S.A., 2014. Geopolymers and related alkali-activated materials. *Annual Review of Materials Research*, 44, 299-327.
- Puertas, F., Martínez-Ramírez S., Alonso S., Vazquez T., 2000. Alkali-activated fly ash/slag cements: strength behaviour and hydration products. *Cement and concrete research*, 30(10), 1625-1632.
- Saboya, Jr. F., Xavier G.C., Alexandre J., 2007. The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. *Construction and Building Materials*, 21(10), 1950-1960.
- Salihoğlu, N.K., Salihoğlu, G., 2018. Marble sludge recycling by using geopolymerization technology. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 22(4):04018019.
- Shirule, P.A., Rahman A., Gupta R.D., 2012. Partial replacement of cement with marble dust powder. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1(3), 2249.
- Singh, M., Srivastava A., Bhunia D., 2019. Long term strength and durability parameters of hardened concrete on partially replacing cement by dried waste marble powder slurry. *Construction and Building Materials*, 198, 553-569.
- Tekin, İ., 2016. Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Construction and Building Materials*, 127, 607-617.
- Terro, M.J., 2006. Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures. *Building and Environment*, 41(5), 633-639.
- Topçu İ. B., Canbaz M., 2004. Properties of concrete containing waste glass, *Cement and Concrete Research*, 34(2), 267-274.
- TS EN 196-1, 2009. Çimento Deney Metotları, Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1015-3/A1, 2006. Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayımla tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1015-11/A1, 2013. Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vafaei, M., and Allahverdi, A., 2016. Influence of calcium aluminate cement on geopolymerization of natural pozzolan, *Constr. Build. Mater.*, 28(1), 215-222.

- Vafaei, M., and Allahverdi, A., 2017. "High strength geopolymer binder based on waste-glass powder," *Adv. Powder Technol.*, vol. 28, no. 1, pp. 215–222.
- Wang, S.D., Pu X.C., Scrivener K.L., Pratt P.L., 1995. Alkali-activated slag cement and concrete: a review of properties and problems. *Advances in Cement Research*, 7(27), 93-102.
- Wang, H.Y., Huang W.L., 2010. Durability of self-consolidating concrete using waste LCD glass. *Construction and Building Materials*, 24(6), 1008-1013.
- Yılmaz, H., Sallı Bideci, Ö., Bideci, A., 2018. Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 154-160.
- Yurt, Ü., 2020. An experimental study on fracture energy of alkali activated slag composites incorporated different fibers. *Journal of Building Engineering*, (32) 101519.
- Yurt, Ü, Emiroğlu M., 2020. Zeolit İkameli Geopolimer Betonlarda Kür Şartlarının Etkileri. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 396-402.
- Zorluer, I., Demirbas A., 2013. Use of marble dust and fly ash in stabilization of base material. *Science and Engineering of Composite Materials*, 20(1), 47-55.



ADOKEN: MR İÇİN DERİN ÖĞRENME TABANLI KARAR DESTEK YAZILIMI

Hakan Alp EREN*, Savaş OKYAY, Nihat ADAR

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Derin Öğrenme,
Nörogörüntüleme,
Yazılım Aracı.*

Öz

Makine öğrenmesinin alt sınıfı olan derin öğrenme, birden çok katman ile ham veriden özelliklerin çıkarılmasını sağlamaktadır. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile özellikle sağlık alanındaki görüntü işleme çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Başarılı sonuçlar elde etmek için derin öğrenme modellerindeki parametrelerin optimize edilmesi gerekir. Bu işlemin belli bir düzeyde yazılım bilgisi gerektirmesi, alana yeterince hâkim olmayan kişilere zorluk oluşturabilmektedir. Araştırmacılar, kodlama gerektirmemesi nedeniyle hazır derin öğrenme modellerini ve görsel araçları tercih edebilmektedirler. Bu çalışmada önerilen uygulama aracılığıyla, manyetik rezonans görüntüleme taramaları için kompleks derin öğrenme işlemlerinin doğrudan grafik arayüzü üzerinden gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Uygulama; veri seçimi, ön işleme, model oluşturma, eğitim ve test ana modüllerinden oluşmaktadır. Önde gelen bazı derin öğrenme modelleri uygulamaya entegre edilmiş olarak sunulmaktadır. İzlenen uyumluluk tasarımı sayesinde gelecekte yeni mimarilerin de kolaylıkla eklenebilmesinin önü açılmıştır. Modüller, açık kaynak manyetik rezonans görüntüleme verisi aracılığıyla doğrulanarak uygulamanın test tabanlı geliştirilmesi sağlanmıştır. Fonksiyonellik doğrulama testlerinde üç boyutlu evrişimsel sinir ağı kullanılarak literatüre paralel şekilde %81 doğruluk oranı gözlemlenmiştir. Uygulamanın radyoloji uzmanları ve araştırmacılar gibi kullanıcılar tarafından karar destek amacıyla kullanılabileceği düşünülmektedir.

ADOKEN: DEEP LEARNING BASED DECISION SUPPORT SOFTWARE FOR MRI

Keywords

*Deep Learning,
Neuroimaging,
Software Tool.*

Abstract

Deep learning, a subclass of machine learning, enables the extraction of features from raw data through multiple layers. With the technological developments in recent years, it is widely preferred in medical image processing studies. Parameters in deep learning models are needed to be optimized to obtain accurate results. This process requires a certain level of software knowledge and can cause difficulties for people who do not have sufficient proficiency. Researchers may prefer readily available deep learning models and visual tools as these do not require coding. It is proposed in this study that users can perform complex deep learning processes for magnetic resonance imaging data directly through the graphical interface of the application. The software tool consists of data selection, pre-processing, model creation, training, and test main modules. Some popular deep learning models are integrated into the application. New model architectures can be easily added for future releases, thanks to the compatibility design. The modules are validated via open-source magnetic resonance imaging data, and in this way, test-driven development is achieved. In the functionality validation tests performed, accuracy rate of 81% is observed similar to the literature by using three-dimensional convolutional neural network. It is thought that radiology experts and researchers can take advantage of the application for decision support purposes.

Alıntı / Cite

Eren, H.A., Okyay, S., Adar, N., (2021). Adoken: MR İçin Derin Öğrenme Tabanlı Karar Destek Yazılımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 406-413.

* İlgili yazar / Corresponding author: erenhalp@gmail.com, +90-542-380-2697

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
H. A. Eren, 0000-0001-6105-158X	Başvuru Tarihi / Submission Date	06.03.2021
S. Okyay, 0000-0003-3955-6324	Revizyon Tarihi / Revision Date	09.05.2021
N. Adar, 0000-0002-0555-0701	Kabul Tarihi / Accepted Date	10.05.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Alzheimer hastalığı hafıza, düşünce ve davranışlarla ilgili sorunlara neden olan bir demans türüdür. Semptomlar genellikle yavaşça gelişmekte ve zamanla kötüleşmektedir. Bilinen en büyük risk faktörü artan yaştır ve hastaların çoğunluğu 65 yaş üzeridir. Ancak Alzheimer sadece bir ileri yaş hastalığı değildir. Amerika'da 65 yaş altındaki yaklaşık 200.000 kişi bu hastalığa sahiptir. Hastalığın mevcut bir tedavisi yoktur, fakat semptomlar için tedaviler bulunmaktadır (Alzheimer's Association, 2021). Erken teşhis, hastanın yaşam kalitesinin artırılmasında oldukça önemli rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde bu tip hastalıkların tespitinde kullanılmak üzere birçok derin öğrenme çalışması mevcuttur. Donanım alanındaki ilerlemeler sayesinde sağlık alanında kullanılan manyetik rezonans (MR) görüntüleri ev ortamındaki bilgisayarlarda bile işlenebilmektedir.

Alzheimer ile ilgili yapılan nörogörüntüleme çalışmalarına bakıldığında; Payan ve Montana (2015) derin öğrenme yöntemleri ile Alzheimer hastalığının tahmini üzerine *Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative* (ADNI) veri setini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. İki boyutlu ve üç boyutlu evrişimsel sinir ağları (CNN) kullanılarak oluşturulan modellerde sırasıyla %85,53 ve %89,47 başarı elde edilmiştir. Nalçakan (2018) tarafından önerilen modelde ise ADNI veri seti ve üç boyutlu evrişimsel sinir ağı mimarisi ile %90,6 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Liu vd. (2018) yaptıkları çalışmada evrişimsel sinir ağı ve tekrarlayan sinir ağlarını kullanarak üç boyutlu pozitron emisyon tomografi (FDG-PET) görüntüleri ile %91,2 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Feng vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada evrişimsel sinir ağı ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) yöntemleri Alzheimer hastalığının tespitinde kullanılarak %94,82 başarı oranı elde edilmiştir.

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde bazı araştırmacıların, kodlama bilgisi gerektirmemesi nedeniyle hazır derin öğrenme modellerini kullandıkları görülmektedir. Gerçekleştirilecek kompleks derin öğrenme işlemleri için çeşitli görsel araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Makine öğrenmesi alanındaki görsel araçlara verilebilecek en iyi örneklerden biri olan *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA), araştırmacıların makine öğrenmesindeki en son tekniklere kolay erişimini sağlayacak birleşik bir çalışma ortamına yönelik algılanan ihtiyaçla ortaya çıkmıştır ve bir dönüm noktası olarak kabul edilerek, akademi ve iş dünyasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Hall vd., 2009). Günümüzde derin öğrenme alanında da benzer uygulamalara rastlamak mümkündür. *NVIDIA* tarafından geliştirilmiş *Deep Learning GPU Training System* (Yeager vd., 2015), derin öğrenme işlemlerinin arayüz kullanılarak yapılmasına olanak sağlama amacıyla ortaya çıkmıştır. Fakat spesifik alanlarda daha özelleşmiş uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Von Chamier vd. (2020) biyogörüntüleme derin öğrenmeyi kullanmak için gereken kaynakların ve uzmanlığın, çoğu laboratuvar için önemli engeller olduğunun altını çizmektedirler. Çözüm olarak kullanıcıların segmentasyon, gürültüden arındırma benzeri işlemleri yapabilmesi için derin öğrenme ağlarını kullanmasını sağlayan *ZeroCostDL4Mic* platformunu sunmuşlardır. Klemm vd. (2018), *Barista* aracı ile grafik arayüz sayesinde kullanıcı tarafından derin öğrenme ağ mimarisinin düzenlenebilmesine ve eğitilebilmesine olanak sağlamışlardır. Arnold (2017) *kerasR* çalışmasında derin öğrenmede en çok kullanılan kütüphanelerden biri olan *Keras* için *R* ile bir arayüz geliştirmiştir. Bir başka çalışmada Lang vd. (2019) tarafından geliştirilen *WekaDeeplearning4j* ile *WEKA* aracılığıyla kullanıcıların kod yazmalarına gerek kalmadan derin öğrenme işlemlerine ulaşabilmesi sağlanmıştır. Benzer şekilde Akundi (2018) öğrencilerin derin öğrenme kavramını anlamasına yardımcı olması için *MNIST* veri seti ile *MATLAB* üzerinde bir derin öğrenme kullanıcı arayüzü uygulaması geliştirmiştir. Sağlık alanında da kullanılmak üzere çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Milde vd. (2018) tarafından geliştirilmiş uygulama ile *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) formatındaki MR görüntülerini inceleme, ön işleme ve ağ eğitme mümkündür. Bucholc vd. (2019) geliştirmiş oldukları klinik destek sistemini ADNI veri seti aracılığıyla doğrulamışlardır. Bu çalışmada ön işleme, makine öğrenmesi algoritmalarından model oluşturma ve doğrulama yöntemlerine yer vermişlerdir. Rubasinghe ve Meedeniya (2020) tarafından önerilen nörobilim karar destek sisteminde ise hem makine öğrenmesi, hem de derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Sistem içerisinde ayrıca ön işleme ve doğrulama yöntemleri uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada önerilen uygulama[†] ile birlikte kullanıcıların, kodlama bilgisi olmadan da, sade bir arayüz yardımıyla derin öğrenme modeli eğitip kullanabilmeleri hedeflenmektedir. MR görüntülerinden oluşan veri seti kullanarak kullanıcı arayüzü yardımıyla eğitilen modeller aracılığıyla demans hastalık tespitinin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Doktorlar ya da bireysel olarak kendi sonucunu değerlendirmek isteyen kişilerin sonuçlarını

[†] Açık kaynak olarak geliştirilen projeye <https://github.com/haeren/adoken> adresinden erişilebilmektedir.

arayüz yardımıyla değerlendirirken, radyoloji uzmanlarının da iş yükünün azalması öngörülmektedir. Ayrıca beyin MR görüntüleri ile çalışırken önemli bir ön işleme adımı olan beyin harici kısımların görüntüden çıkarılması (*skull stripping*) vb. işlemler için *FreeSurfer* (Fischl, 2012) gibi çeşitli programlar kullanılmaktadır. Bu işlem, geliştirilen uygulamaya entegre edilen *DeepBrain* (Itzcovich, 2018) kütüphanesi sayesinde başka bir programa ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilmektedir. Ek olarak MR görüntüleri üzerinde normalizasyon gerçekleştirmek için *intensity-normalization* (Reinhold vd., 2019) kütüphanesindeki z-skor normalizasyon fonksiyonuna uygulama içerisinden doğrudan erişilebilmektedir. Önerilen uygulamanın özellikle nörogörüntüleme alanında çalışan kişilere katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Literatüre sunulan karar destek sistemi, mevcut uygulamalar ile Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

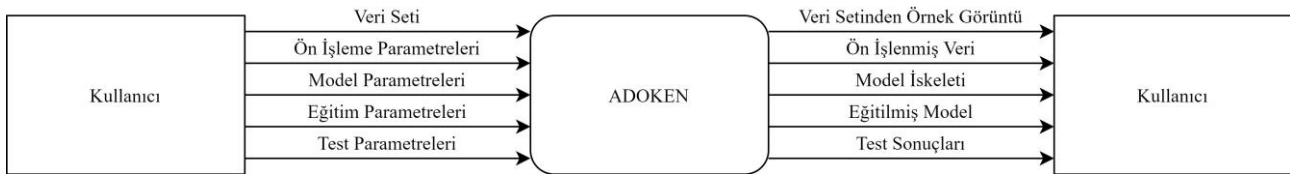
Tablo 1. Diğer Uygulamalar ile Karşılaştırma (Comparison with Other Applications)

	FreeSurfer (2012)	Milde vd. (2018)	Bucholc vd. (2019)	Rubasinghe ve Meedeniya (2020)	Geliştirilen uygulama
MR görüntüsünü yeniden örnekleme	√	√	√	√	√
Beyin harici kısımların görüntüden çıkartılması	√			√	√
MR görüntülerini normalize etme	√	√	√	√	√
Derin öğrenme		√		√	√

İlerleyen bölümde öncelikle kullanılan materyal ve sistem tasarımı hakkında bilgi verilmekte olup, uygulama içerisindeki modüllerin işlevleri açıklanmakta ve arayüz tasarımları gösterilmektedir. Üçüncü bölümde gerçekleştirilmiş olan fonksiyonellik testleri ve doğrulama sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde sonuç ve uygulamaya eklenebilecek özelliklerden bahsedilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada önerilen sistem içerisindeki modüllerin geliştirilmesi için Python 3.6 dilinden faydalanılmıştır. Veri ön işleme yöntemleri olarak yeniden örnekleme, beyin harici kısımların görüntüden çıkarılması ve z-skor normalizasyon bulunmaktadır. Model oluştururken seçilmesi gereken derin öğrenme mimarilerine 3D CNN ve 2D CNN-LSTM entegre edilmiştir. Uygulama, *The Neuroimaging Informatics Technology Initiative (NIFTI)* formatındaki ".nii" uzantılı dosyalar ile uyumludur. Hastalara ait MR görüntüleri, bu dosyalar içerisinde saklanmaktadır. İki boyutlu dilimlerden oluşan bu görüntüler, üç boyutlu bir dizi oluşturmaktadırlar. *NIFTI* dosyaları sisteme yüklenerek, üç boyutlu diziler üzerinde çeşitli işlemlerin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu işlemlerin kategorileri baz alınarak ana modüller oluşturulmuştur. Modüller alt parçalara ayrılmış ve ADNI veri seti ile doğrulanarak test tabanlı bir geliştirme sürecinin izlenmesi sağlanmıştır. Modüllerin kullanıcıya sunduğu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için sisteme bazı parametrelerin verilmesi gerekmektedir. Sistem, verilen parametreler doğrultusunda belirtilen işlemleri yaparak kullanıcıya çıktı vermektedir. Kullanıcı ve sistem arasında alışverişi gerçekleştiren veriler Şekil 1'de özetlenmektedir.



Şekil 1. Kavramsal Veri Akış Şeması (Conceptual Data Flow Diagram)

2.1. Sistem Tasarımı (System Design)

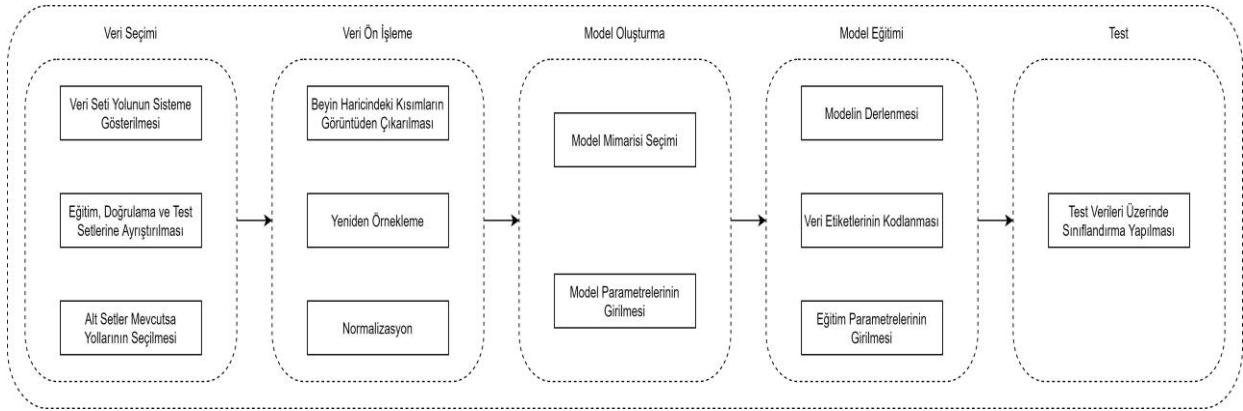
Geliştirilen sistem çeşitli yazılımsal ve donanımsal bileşenlerden oluşmaktadır. Kullanıcı, Qt aracılığıyla oluşturulmuş kullanıcı dostu arayüzü kullanarak seçimler yapabilmektedir. Bu seçimler PyQt aracılığıyla Python kodu içerisinde algılanmaktadır. Kullanıcının arayüze girdiği bilgiler doğrultusunda Keras ile derin öğrenme modelleri üzerinde işlemler gerçekleştirilmektedir. Keras, derin öğrenme modelleri üzerinde yüksek seviyeli işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlayan Python dilinde yazılmış model düzeyinde bir API'dir. Ancak gerçekleştirilecek düşük seviyeli işlemler için arka uç tarafında kullanılabileceği bir tensör manipülasyon kütüphanesine ihtiyaç duymaktadır (Chollet, 2018). Google tarafından geliştirilen tensör manipülasyon çerçevesi olan *Tensorflow* bu aşamada devreye girmektedir. Bu bileşenler arasındaki ilişki Şekil 2(a)'da gösterilmektedir.

Ayrıca derin öğrenmede kullanılan hesaplamaların hızlandırılması için *CUDA Deep Neural Network Library* (*cuDNN*) tercih edilmektedir. *Compute Unified Device Architecture* (*CUDA*), matematiksel hesaplamaların GPU üzerinde paralel bir şekilde yapılmasını sağlayarak sisteme hız kazandırmaktadır. GPU ile bağlantının sağlandığı bileşenler Şekil 2(b)'de verilmektedir.



Şekil 2. Yazılımsal ve Donanımsal Bileşenler (Software and Hardware Components)

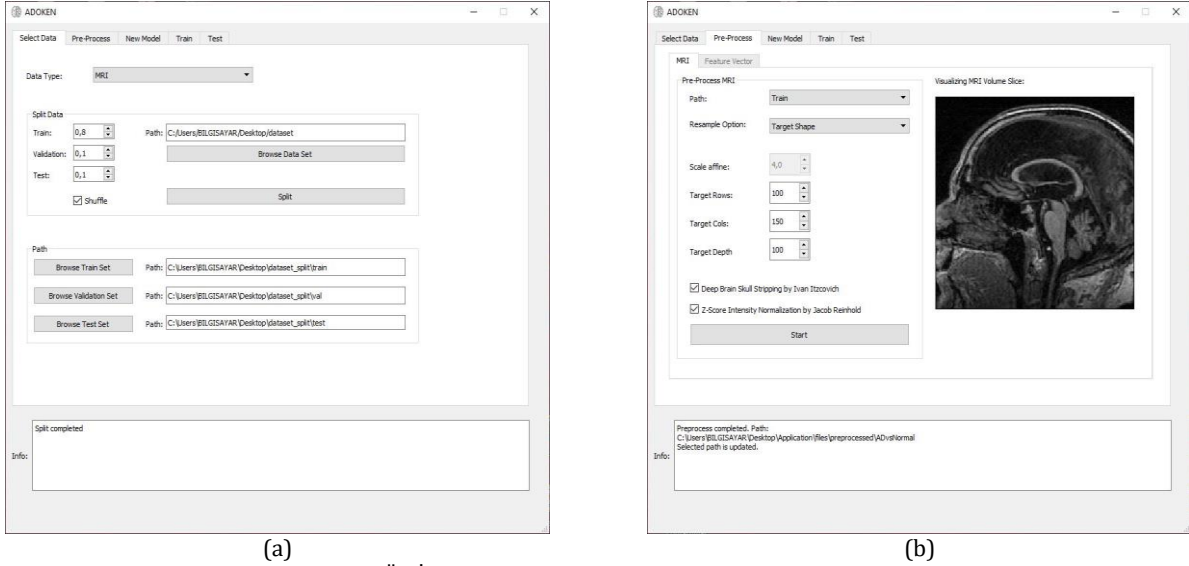
Uygulama, gerçekleştirilen işlemlerin türüne göre veri seçimi, veri ön işleme, model oluşturma, model eğitimi ve test adındaki modüllere ayrılmaktadır. Veri seçimi modülü ile üzerinde çalışılacak verinin alt setlere ayrılması ve dosya yolunun sisteme gösterilmesi sağlanmaktadır. Veri ön işleme modülüyle birlikte MR görüntülerinde beyin olmayan kısımları çıkarma, yeniden örnekleme ve z-skor normalizasyon uygulanabilmektedir. Model oluşturma modülünde, derin öğrenme mimarisinin ve ilgili parametrelerin belirtilmesi gerekmektedir. Veri seti ve model ile ilgili aşamalar tamamlandıktan sonra eğitim ve test gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamadaki adımların özeti ve ait oldukları modüller Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. İş Akış Şeması (Workflow Diagram)

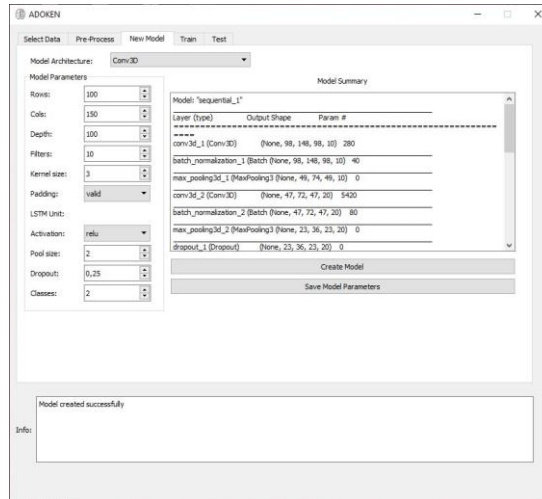
2.2. Kullanıcı Arayüzü Tasarımı (User Interface Design)

Kullanıcı arayüzü, sistem tasarımında bulunan modülleri içeren sekmelerden oluşmaktadır. İlk sekme olan veri seçim modülünde dosyanın bulunduğu yolun sisteme gösterilmesi amaçlanmaktadır. Kullanıcı, elinde bulunan veri setini eğitim, doğrulama ve test setlerine ayırabilmektedir. Bu işlem için istenilen alt setlerin oranları sisteme verilmelidir. Ayrıca tercihe bağlı olarak alt setlere ayırma sırasında veri setini karıştırma seçeneği bulunmaktadır. Eğer bu alt setler kullanıcıda hazır olarak bulunuyorsa, direkt olarak bu setlerin yolu da sisteme gösterilebilmektedir. Veri seti seçim modülü Şekil 4(a)'da verilmektedir. İkinci sekme olan veri ön işleme modülünde bulunan fonksiyonlar ile MR görüntülerinin eğitime hazır hale getirilmesi sağlanmaktadır. Kullanıcının ilk olarak hangi veri seti (eğitim, doğrulama, test) üzerinde işlem yapacağını seçmesi gerekmektedir. Belirtilen seçenekte geçerli bir veri yok ise kullanıcı sistem tarafından uyarılmaktadır. Geçerli verinin olduğu durumlarda, veri seti içerisinden örnek bir MR görüntüsü kullanıcıya gösterilmektedir. Uygulama içerisinde hedef oran ve boyut olmak üzere iki farklı yeniden örnekleme seçeneği bulunmaktadır. Hedef boyut seçeneğinde görüntü, belirtilen boyuta sığacak şekilde ayrıca kırılmakta ve yeniden örnekleme yapılmaktadır. Modelin başarı oranını yükseltmek için görüntüden beyin harici kısımların silinmesi seçeneğini mevcuttur. Ek olarak görüntüler üzerinde z-skor normalizasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Veri ön işleme modülü Şekil 4(b)'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Veri Seti Seçim ve Ön İşleme Modülleri (Data Set Selection and Preprocessing Modules)

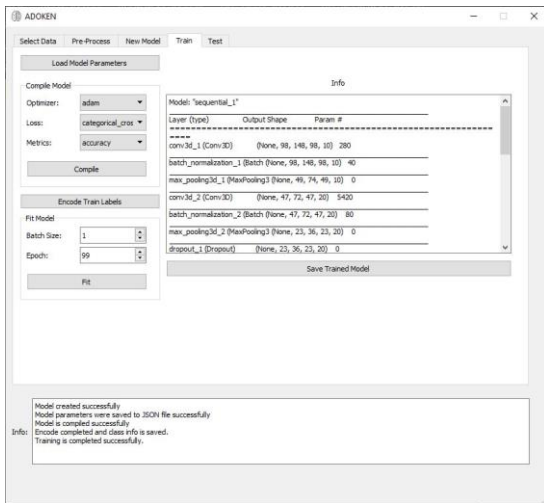
Üçüncü sekme olan model oluşturma modülünde ilk olarak model mimarisinin seçilmesi gerekmektedir. Uygulama içerisinde 3D CNN ve 2D CNN-LSTM mimarileri entegre edilmiş olarak bulunmaktadır. Modül geliştirmede kullanılan uyumluluk tasarımıyla birlikte ileride başka model mimarilerinin de mevcut sisteme kolay bir şekilde eklenebilmesi sağlanmıştır. Seçilen mimari türüne göre model parametrelerinin değerlerinin girilmesi beklenmektedir. İlk üç parametre MR görüntüsünün bulunduğu üç boyutlu dizinin satır, sütun ve derinlik bilgilerinden oluşmaktadır. Bu parametreler, kullanıcı sisteme geçerli bir veri seti yolu gösterdiğinde otomatik olarak doldurulmaktadır. Filtre parametresi, evrişimdeki çıktı filtrelerinin sayısını ifade etmektedir. Çekirdek boyutu (*kernel size*) parametresi, evrişim penceresinin uzamsal (*spatial*) boyutlarını belirtmek için kullanılmaktadır (Chollet, 2018). Evrişim katmanındaki çıktının boyutu, filtrelerin girdi matrisi üzerinde ne kadar aralıkla hareket ettiğine göre değişmektedir. Dolgu (*padding*) parametresi ile evrişim katmanındaki girdi matrisinin etrafı doldurulabilmektedir. Bu sayede çıktının, girdi matrisi ile aynı boyutta olması sağlanmaktadır. LSTM katmanının model mimarisinde seçilmesi durumunda katmanın çıktı uzayının boyutluluğu, ilgili parametre ile sisteme belirtilmelidir (Chollet, 2018). Aktivasyon parametresi ile model içerisinde kullanılacak aktivasyon fonksiyonunun seçilmesi gerekmektedir. Maksimum havuzlama (*max pooling*) parametresi ile havuzlama katmanındaki pencerenin büyüklüğü ayarlanmaktadır. Seyreltme (*dropout*) parametresine girilen oran ile modelin eğitim sırasında aşırı uyum göstermesinin (*overfitting*) önüne geçilmektedir. Son parametre olan sınıf sayısı, modelin tahmin sırasında sınıf olasılıklarını belirleyebilmesi için çıktı katmanında kullanılmaktadır. Parametrelere değerler verildikten sonra model oluşturulabilmekte ve modelin özeti kullanıcıya gösterilmektedir. Model iskeleti, başka eğitimlerde de kullanmak amacıyla *JavaScript Object Notation (JSON)* formatında kaydedilebilmektedir. Model oluşturma modülü Şekil 5'te verilmektedir.



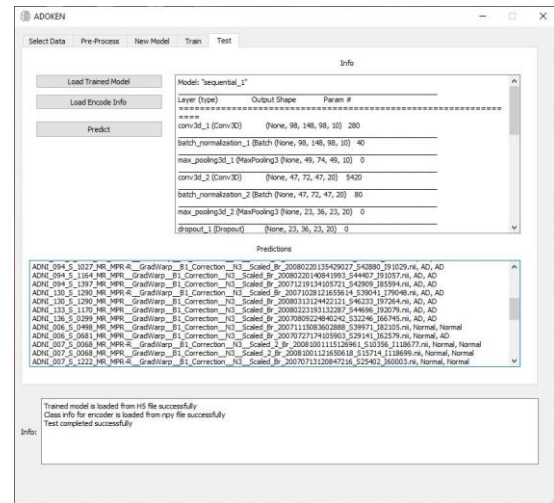
Şekil 5. Model Oluşturma Modülü (Model Creation Module)

Eğitim modülünde modelin eğitimine başlayabilmek için sistemde modelin ve eğitim/doğrulama verisinin mevcut olması gerekmektedir. Model oluşturma modülünde oluşturulmuş model kullanılacağı gibi, daha önceden

oluşturulup kaydedilmiş bir model iskeleti dosyası da bu modül içerisinde sisteme yüklenebilmektedir. Modelin özetine, model oluşturma modülünde olduğu gibi bu modül içerisinde de erişilebilmektedir. Eğitim/doğrulama verisinin sınıflandırmada kullanılabilmesi için etiketlerinin 0 ve 1 şeklinde kodlanması (*one hot encoding*) gerekmektedir. Bu işlem modül içerisindeki “Eğitim etiketlerini kodla” butonu ile yapılabilmektedir. Kodlama bilgisi, sisteme geri yüklenebilmesi amacıyla *NumPy (.npy)* formatında ve kullanıcı tarafından okunabilmesi için metin belgesi (*.txt*) formatında olmak üzere iki farklı uzantı ile kaydedilmektedir. Modelin derlenebilmesi için eniyileştirici (*optimizer*), kayıp fonksiyonu (*loss function*) ve model tarafından değerlendirilen metrik parametreleri kullanılmaktadır. Model derlendikten sonra toplu iş boyutu (*batch size*) ve epok (*epoch*) parametrelerine değer verilerek eğitim başlatılabilmektedir. Eğitim sırasında doğrulama verisi üzerindeki başarı oranının bir önceki epoktakinden yüksek olması durumunda model otomatik olarak kaydedilmektedir. Bu oran belli sayıda epok boyunca yükselmez ise eğitim durdurulmaktadır. Eğitim tamamlandıktan sonra kullanıcı, modelin en son halini manuel olarak kaydedebilmektedir. Eğitilmiş model, *Hierarchical Data Format (.H5)* dosyası olarak kaydedilmektedir. Eğitim modülü Şekil 6(a)’da gösterilmektedir. Uygulamadaki son sekme olan test modülünde, bir önceki sekmeye eğitilmiş modele ek olarak, *H5* formatında saklanan eğitilmiş modeller de sisteme yüklenerek kullanılabilir. Teste başlamadan önce veri etiketlerinin ne şekilde kodlandığının sistem tarafından biliniyor olması gerekmektedir. Eğitim gerçekleştirildiğinde kodlama bilgisi sistemde oluşturulmaktadır. Ancak mevcut oturumda sadece test işlemi gerçekleştirilmek istenirse, kodlama bilgisinin bulunduğu “*.npy*” uzantılı dosyanın sisteme yüklenmesi gerekmektedir. Test sonuçları modül içerisinde dosya ismi, dosyanın etiketi ve tahmin sonucu şeklinde yazdırılmaktadır. Bu sonuçlar ayrıca *Comma Separated Values (CSV)* formatında kaydedilmektedir. Sonuçlara ait karmaşıklık matrisi ve bu matristen türeyen performans metriklerinin değerleri de ayrı dosyalar içerisinde saklanmaktadır. Test modülü Şekil 6(b)’de verilmektedir.



(a)



(b)

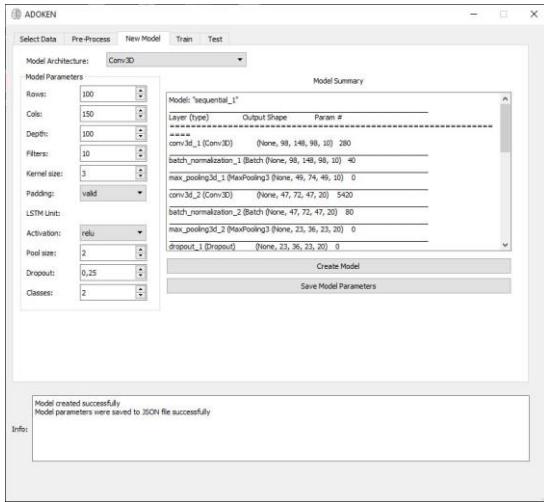
Şekil 6. Eğitim ve Test Modülleri (Training and Test Modules)

3. Fonksiyonellik Testleri ve Doğrulama (Functionality Tests and Validation)

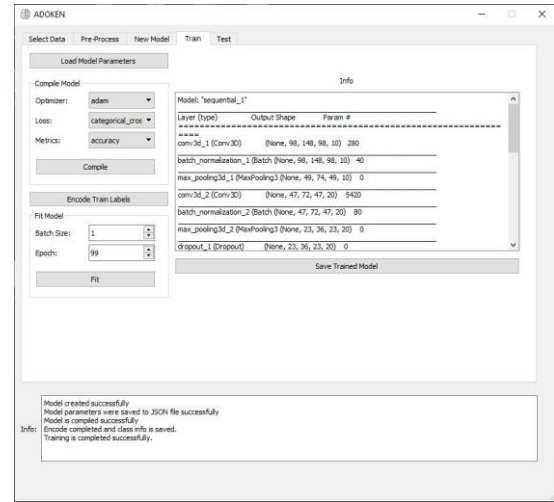
Önerilen yazılımın fonksiyonellik testleri ve örnek sınıflandırma çalışması popüler ADNI veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin hazırlanmasında kullanılan veriler, Alzheimer Hastalığı Nörogörüntüleme Girişimi (ADNI) veri tabanından (adni.loni.usc.edu) elde edilmiştir. ADNI, 2003 yılında Baş Araştırmacı Michael W. Weiner tarafından yönetilen bir kamu özel ortaklığı olarak başlatılmıştır. ADNI'nin birincil amacı, hafif bilişsel bozukluğun (MCI) ve erken dönemdeki Alzheimer hastalığının (AD) ilerlemesini ölçmek için seri manyetik rezonans görüntüleme (MRI), pozitron emisyon tomografisi (PET), diğer biyolojik belirteçler ve klinik ve nöropsikolojik değerlendirmenin birleştirilip birleştirilemeyeceğini test etmektir.

Sistemin geliştirilmesi ve test süreçleri Intel® Core™ i3-3220 CPU @ 3.30GHz, 8 GB RAM, NVIDIA GeForce GTX 1050 2 GB, Windows 10 ve Intel® Core™ i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz, 12 GB RAM, NVIDIA GeForce GTX 950M 2 GB, Windows 10 konfigürasyonlarına sahip iki bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulamadaki derin öğrenme fonksiyonlarının çalışabilmesi için CUDA ile uyumlu bir NVIDIA grafik işlemciye sahip olunması gerekmektedir.

Uygulamanın doğrulanması için Alzheimer ve sağlıklı etiketli örnekler ile iki sınıf üzerinden eğitilen modelde üç boyutlu evrişimsel sinir ağı mimarisi test edilmiştir. Oluşturulan model iskeletindeki örnek parametreler Şekil 7(a)'da verilmektedir. Modelin eğitimi ADNI veri setindeki MR görüntüleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğitimde kullanılan parametrelere verilen değerler Şekil 7(b)'de gösterilmektedir.



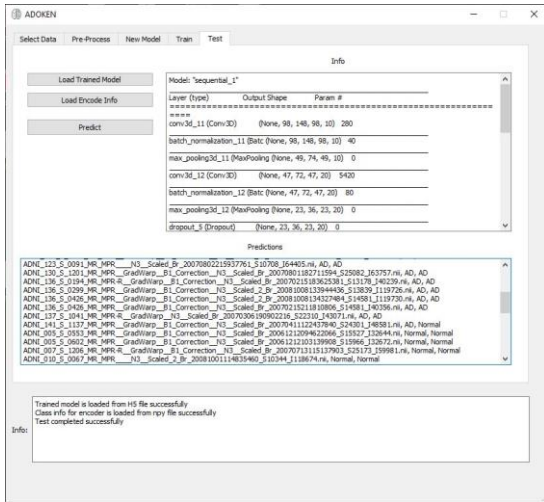
(a)



(b)

Şekil 7. Doğrulamada Kullanılan Model ve Eğitim Parametreleri (Model and Training Parameters Used in Validation)

Daha güvenilir bir sonuç elde edebilmek için 10-katlı çapraz geçerlilik (10-fold cross-validation) uygulanmıştır. Doğrulama verisi üzerinde yapılan testlerde literatürdekine benzer şekilde (Jo vd., 2019; Noor vd. 2020; Yamanakkanavar vd., 2020) %81 doğruluk oranı elde edilmiştir. Uygulanan çapraz geçerlilik testlerindeki örnek bir test işlemine ait sonuçlar Şekil 8(a)'da verilmektedir. Sonuçlara ait performans metrikleri ve bu metriklerin türetildiği karmaşıklık matrisi çıktı dosyaları şeklinde dışarı aktarılmaktadır. Bu dosyaların içeriklerine ait ekran görüntüleri Şekil 8(b)'de gösterilmektedir.



(a)

performanceMetrics.txt - Not Defteri				
Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
	precision	recall	f1-score	support
AD	0.83	0.83	0.83	18
Normal	0.88	0.88	0.88	26
accuracy			0.86	44
macro avg	0.86	0.86	0.86	44
weighted avg	0.86	0.86	0.86	44

confusionMatrix.txt - Not Defteri				
Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
15.00,3.00				
3.00,23.00				

(b)

Şekil 8. Doğrulama Sonuçları ve Performans Metrikleri (Validation Results and Performance Metrics)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Literatüre sunulan uygulamanın araştırmacı, doktor, hasta gibi farklı gruptaki kişilere faydalı olacağı öngörülmektedir. Radyoloji uzmanlarının hastaya ait görüntüleri yorumlaması için günler sonrasına randevu verilmektedir. Bu sistem ile birlikte MR çekildiği anda doktorun bir ön fikir edinmesinin sağlanması hedeflenmektedir. Görüntüleri yorumlamada geçen zamandan tasarruf sağlanarak iş yükünün azaltılması ve etkili bir zaman yönetiminin yapılmasının sağlanması planlanmaktadır. Bu sayede gerekli durumlarda hızlı önlemler alınarak hastanın yaşam kalitesinin artırılmasına yardımcı olunacağı düşünülmektedir. Sonuçların literatürdeki çalışmalara benzer ve kıyaslanabilir oluşu bu yazılımın uzun vadede özellikle akademik çalışmalarda testler için uygun bir platform olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca programın istenilen alanlarda özelleştirilerek farklı konularda çalışmalar yapan araştırmacılara ve akademisyenlere de katkı sağlaması beklenmektedir. Uygulamanın geliştirilme sürecinin gelecekte de farklı planlamalarla devam edeceği öngörülmektedir. Bu planlardan biri sistemin farklı formattaki veri tipleri ile de uyumlu hale getirilmesidir. Bir diğeri ise sistem içerisine entegre edilmiş 3D CNN ve 2D CNN-LSTM model mimarilerinin yanına yeni derin öğrenme model mimarilerinin de eklenmesidir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Data collection and sharing for this project was funded by the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) (National Institutes of Health Grant U01 AG024904) and DOD ADNI (Department of Defense award number W81XWH-12-2-0012). ADNI is funded by the National Institute on Aging, the National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, and through generous contributions from the following: AbbVie, Alzheimer's Association; Alzheimer's Drug Discovery Foundation; Araclon Biotech; BioClinica, Inc.; Biogen; Bristol-Myers Squibb Company; CereSpir, Inc.; Cogstate; Eisai Inc.; Elan Pharmaceuticals, Inc.; Eli Lilly and Company; EuroImmun; F. Hoffmann-La Roche Ltd and its affiliated company Genentech, Inc.; Fujirebio; GE Healthcare; IXICO Ltd.; Janssen Alzheimer Immunotherapy Research & Development, LLC.; Johnson & Johnson Pharmaceutical Research & Development LLC.; Lumosity; Lundbeck; Merck & Co., Inc.; Meso Scale Diagnostics, LLC.; NeuroRx Research; Neurotrack Technologies; Novartis Pharmaceuticals Corporation; Pfizer Inc.; Piramal Imaging; Servier; Takeda Pharmaceutical Company; and Transition Therapeutics. The Canadian Institutes of Health Research is providing funds to support ADNI clinical sites in Canada. Private sector contributions are facilitated by the Foundation for the National Institutes of Health (www.fnih.org). The grantee organization is the Northern California Institute for Research and Education, and the study is coordinated by the Alzheimer's Therapeutic Research Institute at the University of Southern California. ADNI data are disseminated by the Laboratory for Neuro Imaging at the University of Southern California.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Akundi, A. (2018). A Deep Learning Graphical User Interface Application on MATLAB.
- Alzheimer's Association. (2021). What is Alzheimer's Disease?. Çevrimiçi: <https://www.alz.org/alzheimers-dementia/what-is-alzheimers> (Erişim tarihi: 20.01.2021).
- Arnold, T. B. (2017). kerasR: R interface to the keras deep learning library. *Journal of Open Source Software*, 2(14), 296.
- Bucholc, M., Ding, X., Wang, H., Glass, D. H., Wang, H., Prasad, G., . . . Todd, S. (2019). A practical computerized decision support system for predicting the severity of Alzheimer's disease of an individual. *Expert systems with applications*, 130, 157-171.
- Chollet, F. (2018). Keras: The python deep learning library. *Astrophysics Source Code Library*, ascl: 1806.1022.
- Feng, C., Elazab, A., Yang, P., Wang, T., Zhou, F., Hu, H., . . . Lei, B. (2019). Deep learning framework for Alzheimer's disease diagnosis via 3D-CNN and FSBi-LSTM. *IEEE Access*, 7, 63605-63618.
- Fischl, B. (2012). FreeSurfer. *Neuroimage*, 62(2), 774-781.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1), 10-18.
- Itzcovich, I. (2018). DeepBrain. Çevrimiçi: <https://github.com/iitczco/deepbrain> (Erişim tarihi: 15.03.2020).
- Jo, T., Nho, K., & Saykin, A. J. (2019). Deep learning in Alzheimer's disease: diagnostic classification and prognostic prediction using neuroimaging data. *Frontiers in aging neuroscience*, 11, 220.
- Klemm, S., Scherzinger, A., Drees, D., & Jiang, X. (2018). Barista-a graphical tool for designing and training deep neural networks. *arXiv preprint arXiv:1802.04626*.
- Lang, S., Bravo-Marquez, F., Beckham, C., Hall, M., & Frank, E. (2019). Wekadeeplearning4j: A deep learning package for weka based on deeplearning4j. *Knowledge-Based Systems*, 178, 48-50.
- Liu, M., Cheng, D., Yan, W., & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2018). Classification of Alzheimer's disease by combination of convolutional and recurrent neural networks using FDG-PET images. *Frontiers in neuroinformatics*, 12, 35.
- Milde, S., Liebgott, A., Wu, Z., Feng, W., Yang, J., Mauch, L., Gatidis, S. (2018). Graphical User Interface for Medical Deep Learning-Application to Magnetic Resonance Imaging. Paper presented at the 2018 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC).
- Nalçakan, Y. (2018). Derin Öğrenme ile Alzheimer Hastalığının Teşhisi. (Yüksek Lisans). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Noor, M. B. T., Zenia, N. Z., Kaiser, M. S., Al Mamun, S., & Mahmud, M. (2020). Application of deep learning in detecting neurological disorders from magnetic resonance images: a survey on the detection of Alzheimer's disease, Parkinson's disease and schizophrenia. *Brain informatics*, 7(1), 1-21.
- Payan, A., & Montana, G. (2015). Predicting Alzheimer's disease: a neuroimaging study with 3D convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1502.02506*.
- Reinhold, J. C., Dewey, B. E., Carass, A., & Prince, J. L. (2019). Evaluating the impact of intensity normalization on MR image synthesis. Paper presented at the Medical Imaging 2019: Image Processing.
- Rubasinghe, I., & Meedeniya, D. (2020). Automated neuroscience decision support framework. In *Deep Learning Techniques for Biomedical and Health Informatics* (pp. 305-326): Elsevier.
- Von Chamier, L., Jukkala, J., Spahn, C., Lerche, M., Hernández-Pérez, S., Mattila, P., Krull, A. (2020). ZeroCostDL4Mic: an open platform to simplify access and use of Deep-Learning in Microscopy. *BioRxiv*.
- Yamanakkanavar, N., Choi, J. Y., & Lee, B. (2020). MRI segmentation and classification of human brain using deep learning for diagnosis of Alzheimer's disease: a survey. *Sensors*, 20(11), 3243.
- Yeager, L., Bernauer, J., Gray, A., & Houston, M. (2015). Digits: the deep learning gpu training system. Paper presented at the ICML 2015 AutoML Workshop.



ENERGY MANAGEMENT FOR PV/BATTERY STANDALONE PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Evren İŞEN*, Ömer KOÇHAN

Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical Engineering,
Bandırma, Türkiye

Keywords

*Energy Management,
Standalone System,
Photovoltaic System,
Inverter Control,
DC-DC Converter Control.*

Abstract

In this study, a simulation of a standalone photovoltaic system with a power of 4.2 kW was carried out. In the system, which has a total of 20 photovoltaic panels, the perturb & observe maximum power point tracking method was used, and photovoltaic panel control was performed by a DC-DC boost converter. Thus, maximum power could be drawn from the panels continuously despite changing weather conditions. Batteries are used to store energy in this system, which operates independently from the network. The battery group with a total voltage level of 300V was charged and discharged by a bidirectional DC-DC converter. With variable radiation values, variable power generation was provided in the panels, and energy flow control in the system was realized. The required energy flow in the system has been controlled depending on the amount of energy generated from the photovoltaic panels, the energy demanded by the load and the state of charge of the battery pack. The energy in the dc bus regulated at 400V voltage level fed the load with the help of a single-phase inverter. The system was operated in five different modes, and performance of the system was introduced.

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FOTOVOLTAİK PANEL/AKÜ SİSTEMİNİN ENERJİ YÖNETİMİ

Anahtar Kelimeler

*Enerji Yönetimi,
Şebekeden Bağımsız Sistem,
Fotovoltaik Sistem,
İnverter Kontrol,
DC-DC Dönüştürücü Kontrol.*

Öz

Bu çalışmada 4,2 kW gücünde şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Toplamda 20 adet fotovoltaik panel bulunan sistemde değiştir-gözle maksimum güç noktası takibi yöntemi kullanılmış ve yükseltici DC-DC dönüştürücü ile fotovoltaik panel kontrolü yapılmıştır. Böylece değişen hava şartlarına karşın sürekli olarak panellerden maksimum güç çekilebilmiştir. Şebekeden bağımsız olarak çalışan bu sistemde enerjinin depolanması için bataryalar kullanılmıştır. Toplam 300V gerilim seviyesi sahip batarya grubu iki yönlü DC-DC dönüştürücü ile şarj ve deşarj edilmiştir. Değişken sıcaklık değerleri ile panellerde değişken güç üretimi sağlanmış ve sistemde enerji akışı kontrolü gerçekleştirilebilmiştir. Fotovoltaik panellerden üretilen enerji miktarı, yükün talep ettiği enerji miktarı ve akü grubu şarj durumuna bağlı olarak sistemde gerekli enerji akışı kontrol edilmiştir. 400V gerilim seviyesinde regülasyonu yapılan dc baradaki enerji tek fazlı inverter yardımı ile yükü beslemiştir. Sistem beş farklı çalışma modunda çalıştırılmış ve sistemin performansı ortaya konmuştur.

Alıntı / Cite

İşen, E., Koçhan, Ö., (2021). Energy Management For Pv/Battery Standalone Photovoltaic System, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(2), 414-424.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. İşen, 0000-0002-3107-9255
Ö. Koçhan, 0000-0003-2377-1986

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

While the use of renewable energy systems is increasing rapidly in the world, photovoltaic (PV) systems have the largest share in this increase. According to 2019 data, the total installed power of photovoltaic systems in the world is 627 GW. China has the highest share with an installation of 204.37 GW. When the annual installations are examined, it is seen that the photovoltaic systems are more than the wind energy systems, especially in terms of the system power installed since 2016 (IEA, 2020).

Photovoltaic systems are divided into two groups as grid-connected and standalone systems. Grid-connected systems are rather installed in large areas, three-phase and high power capacities (Isen and Bakan, 2018). In addition, single-phase grid-connected photovoltaic systems are installed in roof applications (Rasedul and Mekhilef, 2017). These systems do not have an energy storage unit because the generated energy is directly transferred to the grid. Revenue can be obtained from the produced energy by given to the network. Standalone systems are applied in various fields such as domestic, agricultural, lighting, animal farm and fishery applications, especially in rural areas where there is no electricity distribution system (Al-Waeli and Mahdi, 2017; Sunaryo vd., 2019; Cubukcu and Colak, 2013; Bayrak and Lebeli, 2011; Naktamna vd., 2020). Due to the fact that photovoltaic panels are affected by the radiation and temperature values of the environment and therefore cannot produce energy at all hours of the day, a storage unit consisting of batteries is used in these systems. In addition, wind turbines are also used as an additional energy source in these systems, and hybrid energy systems are created (Arikan vd., 2019). Energy reliability and continuity are among the most important points when designing these energy systems (Kekezoglu vd., 2013). Even enough energy cannot be produced in some or any of the renewable energy sources, the system must continue to operate and feed the load. This can be succeeded with effective source and battery sizing. Furthermore, photovoltaic array tilt angle and orientation are important to increase more energy (Durusu vd., 2020).

Energy control in photovoltaic systems is provided by power electronic converters. In high-power grid-connected systems, the energy generated by the inverter located at the output of the panel group is transferred to the grid. Energy transfer can be done with central, array and AC module inverters (Kouro vd., 2015). Depending on the connection structure of the photovoltaic panels, the appropriate inverter type is used. The produced energy is directly transferred to the grid via an inverter. In standalone systems, there is a DC-DC converter at the output of the photovoltaic panels, and the panel power is controlled by the converter. Maximum power point tracking (MPPT) is performed with the help of it. Panel power is transferred to DC bus by the converter. The energy in the DC bus is converted into AC energy by an inverter, and the load is fed. If the energy generated from photovoltaic panels is more than the demand of the load, it is sent to the battery bank that is a storage element in the system. A bidirectional DC-DC converter is used between DC bus and battery bank. The bidirectional operation feature of this converter enables energy to be transferred from the panels to the battery bank or from the battery bank to the load. Depending on the energy balance in the system, the control algorithm provides bidirectional flow of energy (Gaurav vd., 2015). There are also structures that the battery bank power is not controlled. In the structure, there is not a DC-DC converter.

In this study, a photovoltaic system with power of 4.2 kW consisting of 20 panels was simulated. In the system, the panel output was controlled by a boost DC-DC converter. The MPPT was achieved by the perturb & observe (P&O) method. A bidirectional DC-DC converter was used in front of the battery bank in order to store the energy generated in the panels or to transfer the stored energy to the load when it is necessary. Thus, the battery bank was charged and discharged in control depending on the energy balance in the system. The energy in the DC bus was converted to AC energy with a single phase inverter to feed the load. In order to examine different operating conditions, the radiation values of the environment was changed, and the production and consumption balance in energy was differentiated. Thus, the performance of the system in different conditions was examined. The simulation study showed that, depending on the balance of energy production and consumption, some of the energy generated from the panel was transferred to the load, while the remaining part could be stored in batteries. When the amount of energy produced could not meet the load demand, the battery bank was activated to meet the remaining energy demand, and finally, when the energy production in the panels stopped at night, the load was completely fed from the batteries. The battery unit got overcharged and fully-discharged depending on the energy balance. It causes that PV panels were disconnected from the system, and the system stopped working, respectively.

2. System Components

In the photovoltaic system under study, photovoltaic panels as an energy source, a boost DC-DC converter in panel energy control, battery bank as an energy storage unit, and bidirectional DC-DC converter for energy control of

battery bank and finally single-phase inverter to feed the load at the output is used. In this section, the details were given about the topologies and control algorithms used.

2.1. Photovoltaic Panel

Photovoltaic panels are components that generate electrical energy depending on the radiation and temperature value. Panels consist of a large number of cells. Cells are low voltage elements, and they are connected in series to increase the voltage and power level of the panel (Tarabsheh vd., 2017). In simulation studies, photovoltaic panels can be operated with ready-made models in the software used, as well as mathematically modeled. In this study, 1STH-215-P ready-made model in Matlab / Simulink environment was used. Electrical characteristics of the 215W output power panel are given in Table 1.

Table 1. Technical details of PV panel

PARAMETERS	VALUE
Maximum power (P_{max})	213.15 W
Open circuit voltage (V_{oc})	36.3 V
Short circuit current (I_{sc})	7.84 A
Maximum power voltage (V_{mpp})	29 V
Maximum power current (I_{mpp})	7.35 A

Photovoltaic cells can be modelled in different topologies such as a single-diode and two-diode. The photovoltaic cell in the Simulink environment is modeled as a single diode. The circuit in the modeled photovoltaic panel is shown in Figure 1. The model includes a current source, and its value varies depending on radiation and temperature. In the model, there is a current source at the input as the energy source, while there are two resistors in series and parallel at the output. There is also a diode connected inversely parallel to the source between the source and the parallel resistor. The model takes its name from the diode. In the simulation studies, the ready-made model in Matlab / Simulink environment can be used as well as the mathematically diode model (Isen and Kochan, 2020).

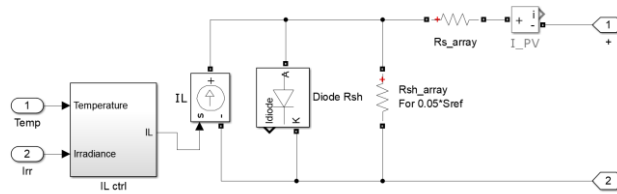


Figure 1. Single-diode model of photovoltaic cell

2.2. DC-DC Boost Converter

In the developed standalone system, a boost type DC-DC converter is used at the panel output. The output voltage of the photovoltaic panels is applied to the input of the boost converter as shown in Figure 2. The converter transfers the current that it is drawn from the panel and injected to the DC bus. While doing this, it controls the power drawn from the panel, additionally. As the maximum power value of the panel changes with the variable radiation, the power drawn from the panel is controlled using the perturb & observe algorithm.

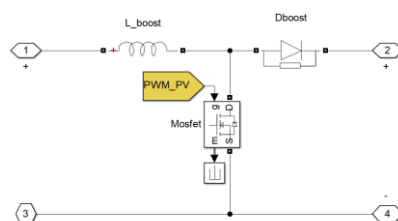


Figure 2. Boost type DC-DC converter

The P&O algorithm used in controlling the power drawn from the panel works depending on the change of panel power and voltage. The instantaneous power between the two measurements of instantaneous current and voltage is calculated, and depending on the two instantaneous power calculations, power difference is calculated. Likewise, after calculating the voltage variation between the two measurements, it is decided to increase or

decrease the panel output voltage depending on these two values, and appropriate switching signals are produced. This process is repeated until the maximum power point is determined. In the study, the algorithm is written in code, and the Matlab function block is used as seen in Figure 3 (Isen and Sengul, 2020).

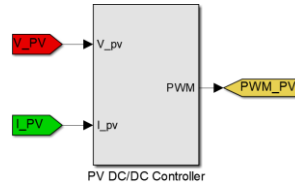


Figure 3. Control of photovoltaic DC-DC converter

2.3. Bidirectional DC-DC Converter

Since the developed photovoltaic system is grid-independent, batteries are used as an energy storage unit. The energy drawn from the panels is transferred to the load and batteries depending on the power balance in the system. If adequate energy is not produced from the panels, the energy stored in the battery is transferred to the load. In other words, bidirectional power flow occurs in the converter used in battery control. Therefore, bidirectional DC-DC converter is used in battery current control. The control algorithm of the DC-DC converter shown in Figure 4 is based on DC bus voltage regulation. Bidirectional DC-DC converters are used in photovoltaic and electric vehicle applications to control the power of battery (Jayachandran and Ravi, 2019; Melo vd., 2018).

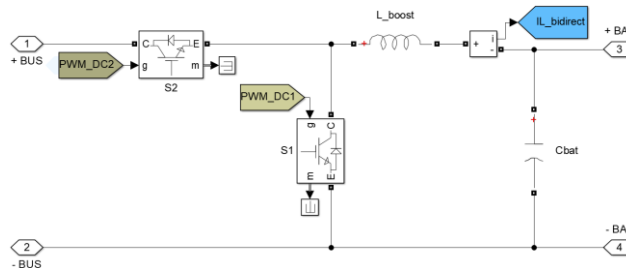


Figure 4. Bidirectional DC-DC converter

Figure 5 shows the control algorithm of the bidirectional DC-DC converter. DC bus voltage is regulated by the battery current. Depending on the DC bus voltage error value, the inductance current reference is generated, and DC bus regulation is provided by the current control. Depending on the power balance in the system, the DC bus voltage can be lower or higher than the reference value. Depending on this situation, the reference inductance current changes direction. DC bus voltage increases at the moments when the energy generated in the panels exceeds the load demand. When the voltage exceeds the reference value, current is drawn from the DC bus to reduce the voltage, and the battery is charged. At moments when the load energy demand is higher than the produced value, the DC bus voltage decreases and falls below the reference value. In this case, energy is drawn from the battery and transferred to the DC bus. Thus, the battery discharges, and the current changes direction.

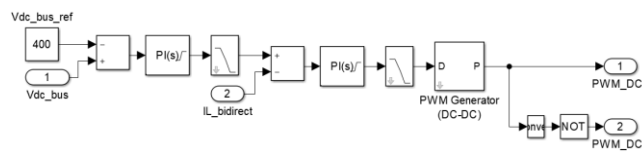


Figure 5. Control algorithm of bidirectional DC-DC converter

2.4. Single Phase Full-Bridge Inverter

Since the developed system feed a single phase load, a single phase full-bridge inverter is used at the output of the system (Najeeb vd., 2017). In the single phase inverter shown in Figure 6 , an LC filter is used at the output. The filter attenuates the high order harmonics of the inverter output voltage and provides the voltage needed by the load. Since the inverter regulates the output voltage, as seen in Figure 7, the input reference value of the control algorithm is the load voltage. The inductance current reference is generated by the DC bus voltage error, and the inductance current is controlled depending on the reference. Thus, the desired AC voltage is produced at the output.

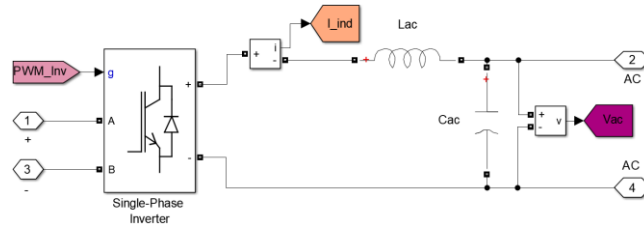


Figure 6. Single phase full-bridge inverter

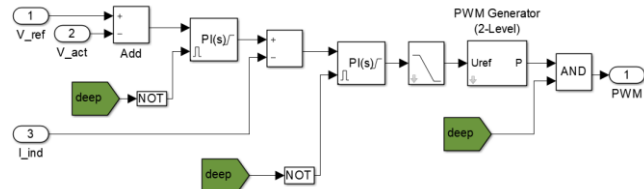


Figure 7. Control algorithm of the inverter

3. Simulation Results

The simulation circuit of the developed system is given in Figure 8. Simulation is carried out in Matlab / Simulink environment. A panel array consisting of 1STH-215-P model 20 photovoltaic panels with 215 W power is used in the simulation. Thus, the input power of the system is designed as 4.2 kW. In the simulation study, the panel output power is changed by changing the radiation, and the dynamic and steady state response of the system is examined. DC-DC converter using P&O algorithm at the output of the panel array, batteries as energy storage unit, bidirectional DC-DC converter controlling charge-discharge current between DC bus and battery, and a single phase full-bridge inverter that produces load voltage at the output are used. Different operating conditions have been established to examine the steady state, dynamic response and energy flow control performance of the system. The performance of the system in different operating modes is examined by changing the energy balance of the system by making changes in photovoltaic panel power by change of radiation and load power. The operating modes that occur depending on the energy balance are shown in the Table 2. There are five different operating modes, and the illustration of the operating modes are given Figure 9.

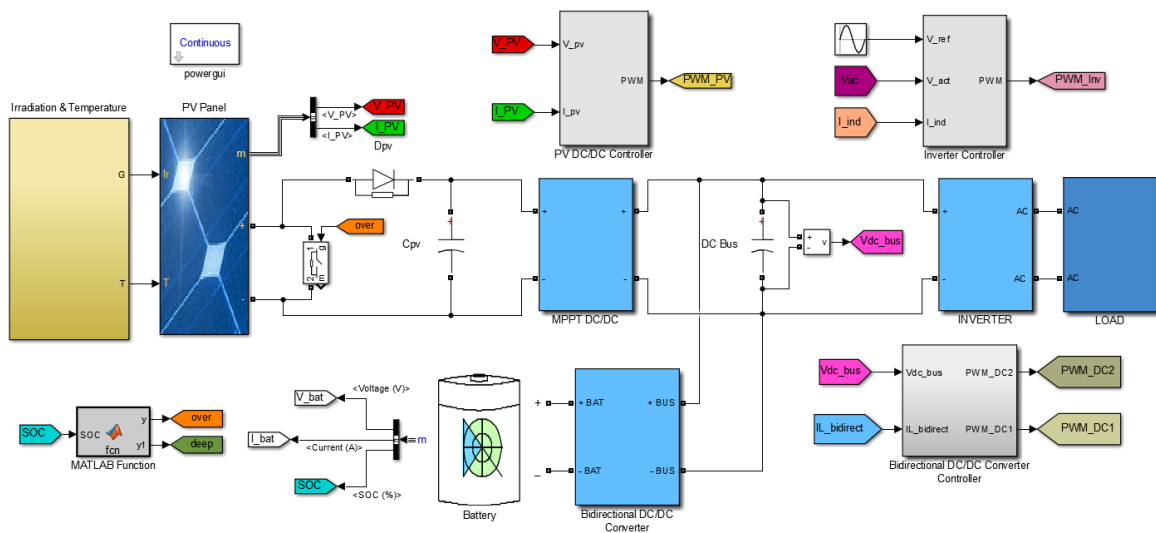


Figure 8. Simulation circuit of the developed system

Table 2. Operating modes

MODES	EXPRESSION
Mode 1	$P_{pv} > P_{load}$, battery charges ($P_{bat} < 0$)
Mode 2	$P_{pv} < P_{load}$, battery discharges ($P_{bat} > 0$)
Mode 3	$P_{pv} = 0$, $P_{load} = P_{bat}$, battery discharges, ($P_{bat} > 0$)
Mode 4	$P_{pv} = 0$, $P_{bat} = P_{load}$, battery overcharged ($P_{bat} > 0$)
Mode 5	$P_{pv} < P_{load}$, battery fully discharged ($P_{bat} > 0$)

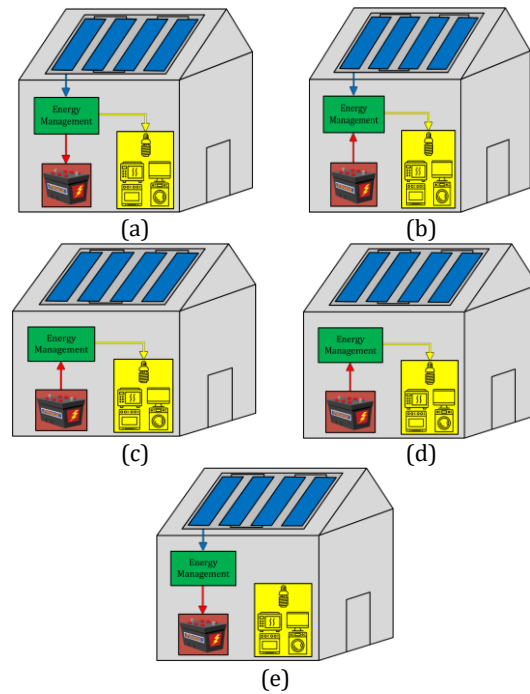


Figure 9. Operation modes of the system (a): Mode 1, (b): Mode 2, (c): Mode 3, (d): Mode 4, (e): Mode 5

3.1. Mode 1 ($P_{pv} > P_{load}$, $P_{bat} < 0$)

In this operating mode, the power generated by the panels is more than the power demanded by the load. Therefore, the bidirectional DC-DC converter transfers the excess power to the battery. Power flow of the system is seen in Figure 9(a). The power variations of the system are seen in Figure 10(a). In region 1, the system operates in stable. When the difference between the generated power and the load power decreases, the DC bus voltage decreases, and in this case the bidirectional DC-DC converter regulates the DC bus voltage by reducing the charge current. This state can be seen in region 2 and region 3. While the system is in balance in region 1, as seen in region 2, the panel output power decreases and the load power increases in region 3. In both cases, the difference between the generated power and the load power is decreasing. As seen in Figure 10(b), DC bus voltage begins to decrease in power changes in region 2 and region 3, but battery current is increased by the bidirectional converter as seen in Figure 10(c) to regulate the DC bus voltage. In region 4, the generated power at the same load power increases, and the DC bus voltage rises up. In this case, the battery current increases, and the DC bus voltage returns to the reference value by decreasing. As seen in Figure 10(d), state-of-charge value of battery unit increases rapidly because PV power is always higher than the load power. The only slope of the SOC% changes depending on the state of power balance.

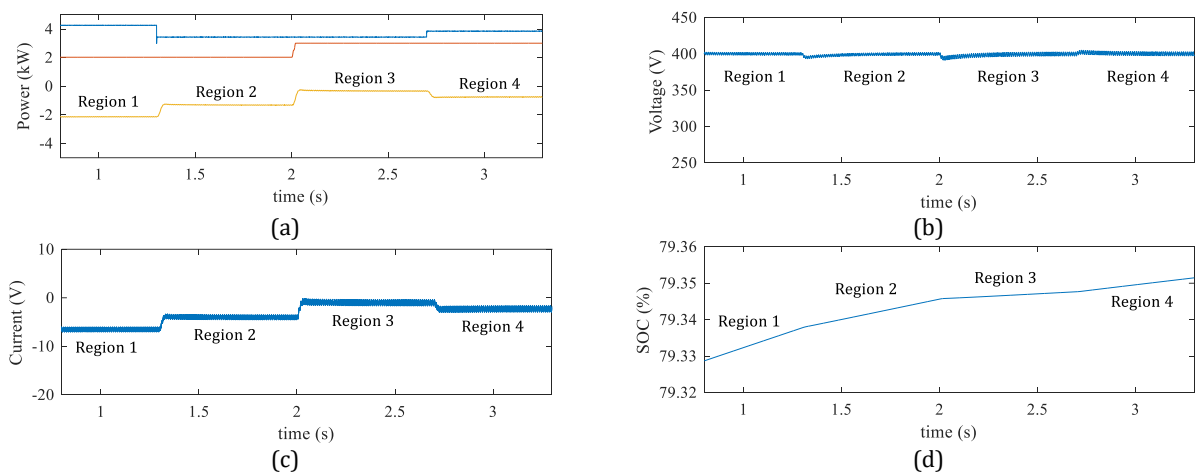


Figure 10. Mode 1 electrical quantities variations (a): Power variations of the system (blue: PV power, red: load power, yellow: battery power), (b): DC bus voltage, (c): Battery current, (d): State-of-charge of battery unit

3.2. Mode 2 ($P_{pv} < P_{load}$, $P_{bat} > 0$)

In this operating mode, the generated power by the panels is less than the power demanded by the load. In this case, the energy needed by the load is met from the DC bus, and the DC bus voltage decreases. A bidirectional DC-DC converter that regulates the DC bus voltage is activated, and draws current from the battery to increase the DC bus voltage and feeds it to the DC bus. So the battery discharges. In this mode, energy flows in opposite direction according to operating mode 1.

In Figure 11, the waveforms show the mode 2 operation principle. Before region 1, mode 1 is active. Region 1 starts with the change of power balance that PV power is lower than the load power as seen in Figure 11(a). In region 2, load power increases while PV power keeps constant. The difference between two power values rises up. In contrast to region 2, PV power increases while load power keeps constant in region 3. The PV power is higher than load power as in other regions, however the battery power decreases because of decrease in power difference. As seen in Figure 11(b), DC bus voltage is regulated in each region. While battery current is negative in mode 1, it changes direction to positive. It is seen in Figure 11(c). While battery charges in mode 1, it discharges in mode 2. It can be seen with SOC% variation in Figure 11(d).

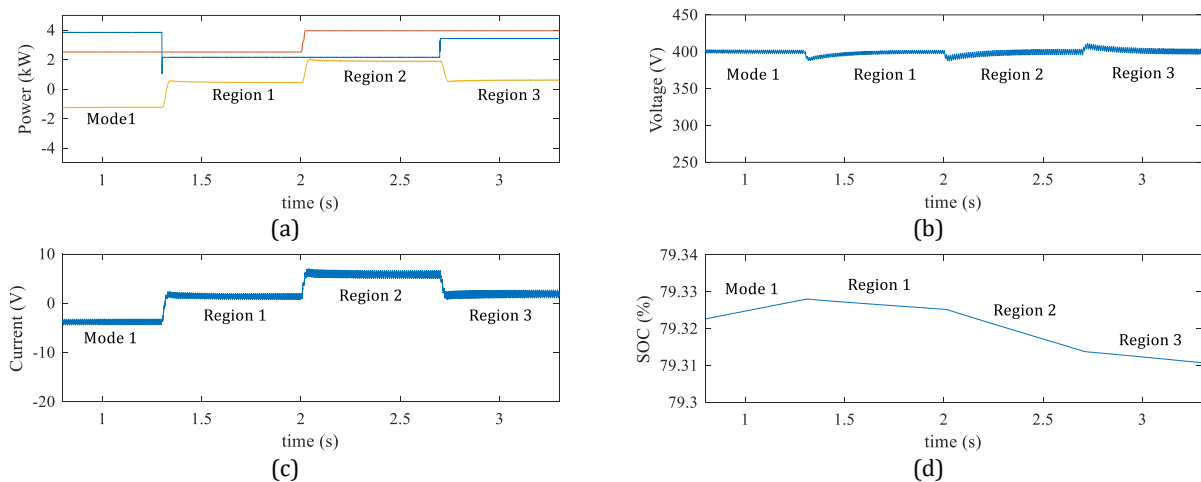


Figure 11. Mode 2 electrical quantities variations (a): Power variations of the system (blue: PV power, red: load power, yellow: battery power), (b): DC bus voltage, (c): Battery current, (d): State-of-charge of battery unit

3.3. Mode 3 ($P_{pv}=0$, $P_{load}=P_{bat}$, $P_{bat}>0$)

In this mode, power demand of the load is supplied from battery unit completely because PV panels could not produce power in nights because of very low radiation. Battery unit discharges, and the stored energy feeds the load. As seen in Figure 12(a), PV power goes down to zero after mode 2 in region 1, and battery power is being equal to load power until the end of region 2. The controller of bidirectional DC-DC converter regulates the DC bus voltage in two transitions as seen in Figure 12(b). While load power is supplied from PV panels and battery unit in mode 2, it is supplied only from battery unit in mode 3. Figure 12(c) shows the battery current that flows positive direction. Since PV panels does not produce power in region 1 and 2, battery discharge current increases. Thus, charge level of battery unit decreases as seen in Figure 12(d). Depending on the current value, rate of discharge increases.

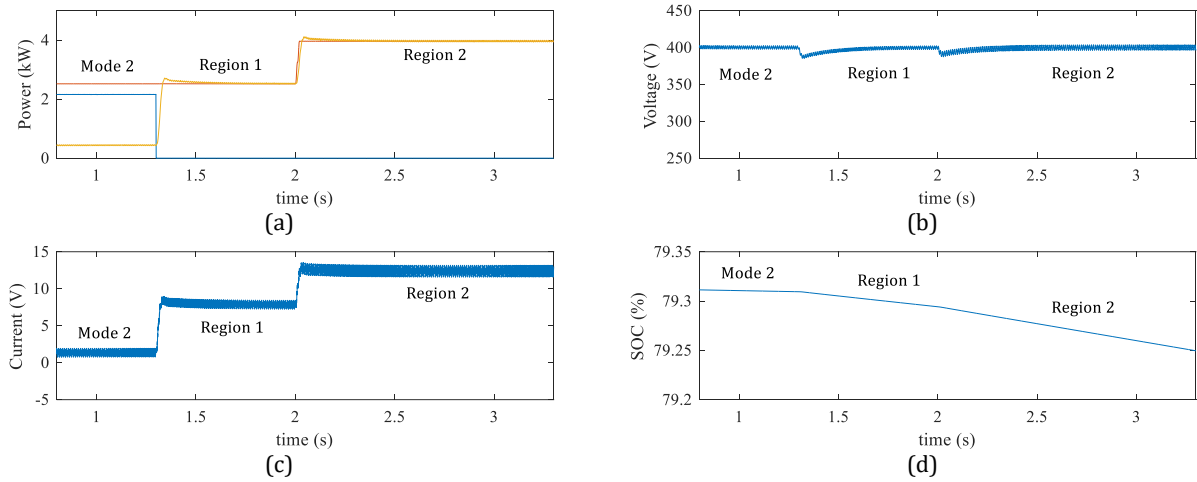


Figure 12. Mode 3 electrical quantities variations (a): Power variations of the system (blue: PV power, red: load power, yellow: battery power), (b): DC bus voltage, (c): Battery current, (d): State-of-charge of battery unit

3.4. Mode 4 ($P_{pv} > P_{load}$, overcharged $P_{bat} < 0$)

If the time interval that the energy generated by the photovoltaic panels is more than the energy consumed in increases, the battery voltage rises continuously, and the battery becomes overcharged. In this case, in order to prevent the battery from being damaged, the panels are deactivated, and the load begins to be fed directly from the batteries. Thus, the battery discharges, and battery voltage level is reduced. When the battery voltage drops to the specified value, the panels are reconnected to the system, and the system operation switches to a different operating mode depending on the energy balance. However, in this mode, although there are ambient conditions where power can be generated from the panels, PV panels are disabled. Therefore, the system efficiency decreases. Because of feeding the load from just battery unit, battery voltage starts decreasing, and PV panels are reconnected to the system when battery unit voltage drops down to reconnection level.

The simulation results of the system are given in Figure 13. While the system operates in mode 1, the %SOC value of the battery unit reaches 100% as seen in Figure 13(d). In order to protect the battery unit, PV panels are disconnected from the system. It can be seen in Figure 13(a) that PV power drops to zero. Because of changing in power balance, DC bus voltage starts dropping but controller regulates the voltage to set value of 400 V in region 1 as seen in Figure 13(b). Figure 13(c) shows the battery current waveform. In region 1, battery unit current flows opposite direction, and it discharges. Therefore, SOC% value starts decreasing as seen in Figure 25. In the simulation study, the SOC% value of reconnection of PV panels is set to 99.9%. When it drops to set value, PV panels are reconnected to the system, and the load power is shared between PV panels and battery unit as seen in region 2.

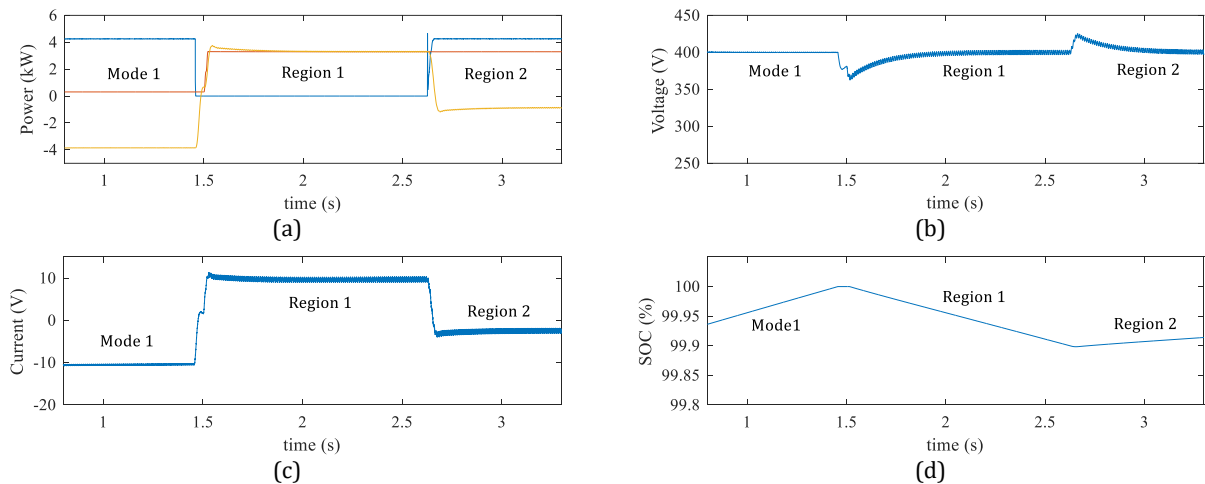


Figure 13. Mode 4 electrical quantities variations (a): Power variations of the system (blue: PV power, red: load power, yellow: battery power), (b): DC bus voltage, (c): Battery current, (d): State-of-charge of battery unit

3.5. Mode 5 ($P_{pv} < P_{load}$, fully discharged $P_{bat} > 0$)

When the power demand of the load is more than the produced power, the required power is supplied from the battery unit, and the batteries discharge. If this situation continues for a long time, the deep discharge level can be reached with decreasing the battery voltage. Therefore, battery discharge is stopped. In other words, the system stops working, and the load remains without energy. This is due to the system sizing error or the occurrence of some unforeseen environmental conditions. In order to avoid this situation, larger capacity batteries should be placed in the system. As load is disconnected from the system, the produced PV power is transferred to the battery unit, therefore battery voltage increases. When it is reached to the reconnection voltage level, battery unit reconnects to the system, and system starts working again.

Figure 14(a) shows the power waveforms in the system. While DC system operates in mode 3, DC bus voltage is stable as seen in Figure 14(b). In this mode, battery unit supports the grid, and it discharges. Figure 14(c) and Figure 14(d) show this state. In mode 3, because the systems operates stable, output AC voltage is produced as seen in Figure 14(e).

In the simulation study, the deep charge level of the battery unit is set 70% of state-of-charge (SOC). When it drops down to set value, the inverter is stopped working as seen in Figure 14(e), and battery starts charging from PV panels. Whole produced power from PV panels is transferred to the batteries. As a result, the %SOC value of battery unit starts increasing as seen in region 1 in Figure 14(d). During region 1 interval, DC-DC converter controller of battery unit regulates DC bus voltage while charging the battery unit. DC bus voltage regulation and battery current waveforms in this region can be seen in Figure 14(b) and Figure 14(c), respectively. Because the inverter is stopped, voltage of the load is interrupted as seen in Figure 14(e).

At the end of region 1, %SOC value of battery unit increases to 70.1%. This value is set as reconnection value of the load in the control algorithm. The load is detached from the system when battery %SOC value decreases to %70, and it reattaches when %SOC value reaches to %70.1 at the end of region 1. After this operating interval, the inverter starts feeding the load in region 2 as seen in Figure 14(a). The voltage of the load variations in transitions are seen in Figure 14(f). The voltage is regulated fast in disconnection and reconnection. As the PV power is the same in region 1 and region 2, battery charge current decreases because of increasing of load power.

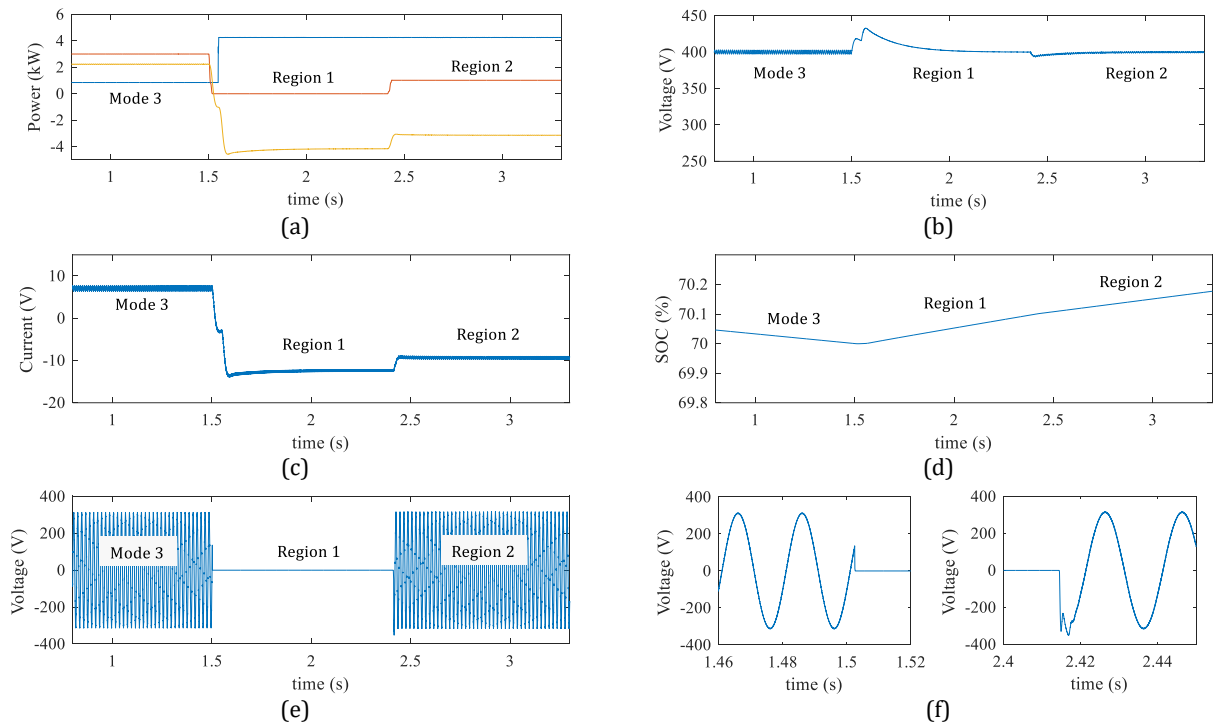


Figure 14. Mode 4 electrical quantities variations (a): Power variations of the system (blue: PV power, red: load power, yellow: battery power), (b): DC bus voltage, (c): Battery current, (d): State-of-charge of battery unit, (e): Voltage of the load, (f): Voltage of the load in transitions

4. Conclusion

In this study, a simulation of a standalone photovoltaic system with a power of 4.2 kW has been carried out, and five different operating modes have been examined. In the system, in which the P&O maximum power point tracking algorithm is used, 20 panels with 215 W power are used. Batteries are used as storage unit in the system, and the power flow of battery unit is controlled by a DC-DC converter. Therefore, DC bus regulation is provided. A single phase full-bridge inverter is used to feed the load in the grid-independent system. Different five operating modes have emerged depending on the power generated from photovoltaic panels, load power demand and battery charge status. In mode 1, PV power feeds the load and battery unit because it is higher than load power, and battery unit voltage is in working range. The case that the load power is higher than the PV power is defined as mode 2. Therefore, the battery unit discharges and supports the PV panels to feed the load. In mode 3, PV power drops to zero, and therefore the load is fed by only battery unit. It makes the batteries discharge fast. In the case that the PV power is considerably higher than the load power in long time, the batteries are overcharged. Therefore, PV panels are disconnected from the system, and the load is fed only by batteries to decrease the battery voltage level. The batteries are reconnected to the system when the voltage drops to reconnection level. The last examined mode is mode 5. The battery unit is fully discharged in the mode because the load power is higher than the produced PV power for a long time. As PV panel output power fluctuates because of weather conditions, it not convenient to feed the load only by panels. Therefore, the inverter stops working, and the load power is interrupted until the battery voltage level reaches to the reconnection level. PV panel charges the batteries, and they are reconnected to the system when the voltage reaches to the reconnection voltage set value. The performance of the developed system has been demonstrated by testing the energy flow of the system, and the control algorithms of the converters in five different operating modes. The control algorithms of the converters, and energy management strategy are verified by the simulation results. They can be used in standalone photovoltaic systems.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Al-Waeli, A.H., Mahdi, H.F., 2017. Standalone PV systems for rural areas in Sabah, Malaysia: Review and case study application. *International Journal of Computation and Applied Sciences*, 2(1), 41-45.
- Arikan, O., Isen, E., Kekezoglu, B., 2019. Performance analysis of stand-alone hybrid (wind-photovoltaic) energy system. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(5), 571-576.
- Bayrak, G., Lebeli, M., 2011. A PV based automation system for fish farms: An application study. 2011 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 1-5.
- Çubukçu, M., Çolak, M., 2013. Gökçeada'da şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güç sisteminin benzetimi ve karşılaştırmalı gerçek performans incelemesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(5), 201-208.
- Durusu, A., Erduman, A., Yıldız, F., 2020. Comparative Study of Photovoltaic Array Optimum Tilt Angle and Orientation with Multi-Objective Consideration. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 8(4), 1031-1041.
- Gaurav, S., Birla, C., Lamba, A., Umashankar, S., Ganesan, S., 2015. Energy Management of PV - Battery based Microgrid System. *Procedia Technology*, 21, 103-111.
- IEA, 2020. Snapshot of Global PV Markets 2020. International Energy Agency, Paris, France, 2020.
- Isen, E., Bakan, A.F., 2018. Highly efficient three-phase grid-connected parallel inverter system. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6, 1079-1089.
- Isen, E., Kochan, O., 2020. Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi. *Journal of Engineering Sciences and Researches*. 2(1), 1-10.
- Isen, E., Sengul, A., 2020. Comparison of Maximum Power Point Tracking Techniques on Photovoltaic Panels. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences*. 6(1), 14-29.
- Jayachandran, M., Ravi G., 2019. Predictive power management strategy for PV/battery hybrid unit based islanded AC microgrid. *Electrical Power and Energy Systems*. 110, 487-496.
- Kekezoglu, B., Arikan, O., Erduman, A., Isen, E., Durusu, A., Bozkurt, A., 2013. Reliability Analysis of Hybrid Energy Systems: Case Study of Davutpasa Campus, *IEEE EuroCon*, 1141-1144.
- Kouro, S., Leon, J.I., Vinnikov, D., Franquelo, L.G., 2015. Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 9(1), 47-61.
- Melo H.N., Trovao J.P.F., Pereirinha G., Jorge H.M., Antunes C.H., 2018. A Controllable Bidirectional Battery Charger for Electric Vehicles with Vehicle-to-Grid Capability. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(1), 114-123.
- Najeeb, M., Fahad H., Abdulhafedh Y., Mohammed H.G., Mahmood A., 2017. An Improved PI-Multistart Control Algorithm for Standalone PV Inverter System. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(4), 2085-2091.
- Naktamna, P., Buasri, P., Tawepworadej, W., 2020. A Photovoltaic System for a Farm in Khon Kaen Province. 2nd International Conference on Advanced Research in Applied Science & Engineering, 1-8.
- Rasedul, H., Mekhilef, S., 2017. Highly efficient flyback microinverter for grid-connected rooftop PV system. *Solar Energy*, 146, 511-522.

- Sunarya, Syahriddin. A., Imfianto, P.S., 2019. Solar Energy for a Traditional Coastal Fishing Platform. *Journal of Marine Science and Application*, 18, 366-371.
- Tarabsheh, A.A., Akmal, M., Ghazal, M., 2017. Series Connected Photovoltaic Cells-Modelling and Analysis. *Sustainability*, 9(371), 1-9.



PREDICTION OF TURKEY'S ELECTRICITY GENERATION BY SOURCES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND BIDIRECTIONAL LONG SHORT - TERM MEMORY

Batin Latif AYLAK^{1*}, Mehmet Hakan ÖZDEMİR², Murat İNCE³, Okan ORAL⁴

¹Turkish-German University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

²Turkish-German University, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Department of Business Administration, İstanbul, Türkiye

³Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies, Isparta, Türkiye

⁴Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Antalya, Türkiye

Keywords

*Energy Generation,
Energy Sources,
Electrical Energy,
Artificial Neural Network,
Prediction.*

Abstract

It is an indisputable fact that energy plays a big role in the development of countries. Electrical energy has a great share in the development. Electricity is a secondary energy source, i.e. it is obtained by transforming primary energy sources. Although the desired level has not yet been reached, Turkey's installed power has increased by years and a wide variety of energy sources such as coal, oil, natural gas, hydroelectric energy, wind, solar and other renewable energy sources are used in electricity generation. At this point, it is observed that the share of renewable energy sources in total electricity generation has increased from year to year. It should be underlined that this increase is very important for the country's economy. In this study, Turkey's electricity generation by sources for the years 2020 and 2021 was predicted with artificial neural network (ANN) and bidirectional long short - term memory (BLSTM) methods using the data for electricity generation by sources in the years 2010-2019. The share of electricity generated from renewable energy sources in total electricity generation for 2020 by ANN and BLSTM methods was calculated as 18.08% and 18.6% respectively. For 2021, the share of electricity generated from renewable energy sources in total electricity generation was calculated as 21.95% and 21.68% respectively. These results show that the share of electricity generated from renewable energy sources in total electricity generation will increase. Finally, suggestions were made on what kind of roadmap should be followed in the field of investments in renewable energy resources.

TÜRKİYE'NİN KAYNAKLARA GÖRE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN YAPAY SİNİR AĞI VE İKİ YÖNLÜ UZUN - KISA VADELİ BELLEK YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TAHMİNİ

Anahtar Kelimeler

*Enerji Üretimi,
Enerji Kaynakları,
Elektrik Enerjisi,
Yapay Sinir Ağı,
Tahmin.*

Öz

Enerjinin ülkelerin gelişmesinde büyük bir rol oynadığı tartışılmaz bir gerçektir. Gelişmede elektrik enerjisine büyük pay düşer. Elektrik bir ikincil enerji kaynağıdır, yani birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi sonucu elde edilmektedir. İstenen seviyeye ulaşılmamış olsa da Türkiye'nin kurulu gücü yıllara göre artmış ve elektrik üretiminde kömür, petrol, doğalgaz, hidroelektrik enerji, rüzgâr, güneş ve diğer enerji yenilenebilir enerji kaynakları gibi çok çeşitli enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu noktada toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının yıldan yıla arttığı gözlenmektedir. Bu artışın ülke ekonomisi için çok önemli olduğunun altı çizilmelidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin 2010-2019 yıllarındaki kaynaklara göre elektrik üretimi verilerinden yararlanılarak 2020 ve 2021 yılları için kaynaklara göre elektrik üretimi, yapay sinir ağı (Artificial Neural Network - ANN) ve iki yönlü uzun - kısa vadeli bellek yöntemleri (Bidirectional Long Short - Term Memory - BLSTM) ile tahmin edilmiştir. ANN ve BLSTM yöntemleriyle 2020 yılı için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin toplam elektrik

* İlgili yazar / Corresponding author: batin.latif@tau.edu.tr, +90-216-333-3127

üretimi içindeki payının sırasıyla %18,08 ve %18,6 olacağı hesaplanmıştır. 2021 yılı için ise yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin toplam elektrik üretimi içindeki payının sırasıyla %21,95 ve %21,68 olacağı hesaplanmıştır. Bu sonuçlar yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin toplam elektrik üretimi içindeki payının artacağını göstermektedir. Son olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar alanında nasıl bir yol haritası izlenmesi gerektiğine dair önerilerde bulunulmuştur.

Alıntı / Cite

Aylak, B. L., Özdemir, M. H., İnce, M., Oral, O. (2021). Prediction of Turkey's Electricity Generation by Sources Using Artificial Neural Network and Bidirectional Long Short - Term Memory, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(2), 425-435.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
B. L. Aylak, 0000-0003-0067-1835	Başvuru Tarihi / Submission Date	29.01.2021
M. H. Özdemir, 0000-0002-7174-9807	Revizyon Tarihi / Revision Date	16.03.2021
M. İnce, 0000-0001-5566-5008	Kabul Tarihi / Accepted Date	30.03.2021
O. Oral, 0000-0002-6302-4574	Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

Energy sources are extremely important for economic and social development (Tunalı and Ulubaş, 2017). Humankind has needed energy since the earliest times and the demand for energy has increased gradually. This demand has been met by using a wide variety of energy sources (Yılmaz, 2012). There are various classifications for energy sources. One of these is the classification as non-renewable (fossil) sources and renewable sources (Koç and Şenel, 2013). While renewable energy sources mean energy sources that will not be exhausted in nature, non-renewable energy sources mean energy resources that will be exhausted after a certain period of time even if they are present in nature currently.

Renewable energy sources are environmentally friendly, but obtaining energy from these sources is still more expensive and more limited. On the other hand, energy production from non-renewable energy sources creates harmful wastes and causes greenhouse gas emissions (Bekar, 2020). However, in the face of increasing demand, fossil fuels are used to a large extent because they are more comfortable in energy production and, as stated, less costly (Çınar and Yılmaz, 2015). The data in Table 1 reveal that fossil fuels are used to a large extent. In the source, where the data are taken, hydroelectric energy is shown separately from renewable energy.

Table 1. Primary energy consumption by fuels in exajoules (EJ) in the world in 2018 and 2019 (BP, 2020a)

FUEL	2018		2019	
	ENERGY CONSUMPTION	SHARE (%)	ENERGY CONSUMPTION	SHARE (%)
OIL	191.45	33.22	193.03	33.06
NATURAL GAS	138.66	24.06	141.45	24.23
COAL	158.79	27.56	157.86	27.04
NUCLEAR ENERGY	24.16	4.19	24.92	4.27
HYDROELECTRIC	37.34	6.48	37.66	6.45
RENEWABLES	25.83	4.48	28.98	4.96
TOTAL	576.23	100	583.90	100

Another classification for energy sources is the classification made as primary and secondary energy sources (Koç and Kaya, 2015). Energy sources that can be used as they are in nature are called primary energy sources. Secondary energy sources are obtained by subjecting primary energy sources to various processes (Yapraklı and Yurttaçkımaz, 2012). Electricity can be generated by using various sources (Doğan, 2011). Therefore, electricity is a secondary energy source. However, electricity has an important place among energy sources. Electrical energy is applicable to many technologies, and it does not pollute the environment during its use. It has a wide field of consumption and an increase in electricity consumption was observed in parallel with developments in infrastructure investments in Turkey. Thus, the level of economic development of our country has also increased (Kar and Kınık, 2008). In 1902 electricity was generated in Tarsus district in Mersin for the first time by using a 2 kW dynamo connected to a water mill (Coşkun, 2012). Over time, installed power has increased and in parallel,

electricity generation has also increased. As mentioned above, electrical energy can be generated by using various energy sources. Table 2 shows Turkey's electricity generation by sources for the period 2010-2019. (The numbers in Table 2 have been rounded up to four decimal places.) The column "Other renewables" include geothermal, biomass and other sources of renewable energy that are not already itemized. The column "Other" includes sources that are not specified elsewhere, e.g. pumped hydro, non-renewable waste and statistical discrepancies which can be positive or negative. As can be seen from Table 2, an increase in Turkey's electricity generation from year to year is observed. The very right column in Table 2 shows that the share of renewable energy sources in total electricity generation has increased from year to year.

Table 2. Turkey's electricity generation by sources in terawatt-hours (TWh) for the period 2010-2019 (BP, 2020b; BP, 2020c)

YEAR	OIL	NATURAL GAS	COAL	HYDROELECTRIC	RENEWABLES			OTHER	TOTAL ELECTRICITY GENERATION	SHARE OF RENEWABLES IN TOTAL ELECTRICITY GENERATION (%)
					WIND	SOLAR	OTHER RENEWABLES			
2010	2.1800	98.1437	55.0464	51.7955	2.9164	0.0024	1.0011	0.1246	211.2101	1.86
2011	0.9036	104.0476	66.2179	52.3386	4.7239	0.0029	1.0371	0.1264	229.3979	2.51
2012	1.6387	104.4992	68.0131	57.8650	5.8608	0.0043	1.4913	0.1288	239.5011	3.07
2013	1.7388	105.1163	63.7861	59.4205	7.5575	0.0068	2.2422	0.2926	240.1607	4.08
2014	2.1453	120.5760	76.2627	40.6447	8.5201	0.0174	3.4466	0.3501	251.9628	4.76
2015	2.2239	99.2187	76.1656	67.1458	11.6525	0.1941	4.6655	0.5171	261.7834	6.31
2016	1.9263	89.2271	92.2731	67.2309	15.5171	1.0431	6.4532	0.7369	274.4077	8.39
2017	1.1999	110.4900	97.4763	58.2185	17.9038	2.8893	8.2515	0.8482	297.2775	9.77
2018	0.3291	92.4828	113.2486	59.9385	19.9492	7.7998	10.0805	0.9734	304.8019	12.41
2019	0.1690	58.1172	114.5633	89.1593	21.7040	10.9196	12.7106	1.1253	308.4683	14.70

This study contributes a novelty to the literature with the feature of making the electricity generation prediction separately according to energy sources. In this study, Turkey's electricity generation by sources for the years 2020 and 2021 was predicted with artificial neural network (ANN) and bidirectional long short - term memory (BLSTM) methods using the data for electricity generation by sources in the years 2010-2019. Thus, it has been tried to predict which energy sources' share in electricity generation has increased or decreased. In this way, it was intended to shed light on investments in the energy field in Turkey.

This study consists of five sections. After the introduction, the second section includes a literature survey. In the third section, the material and method are explained, while the fourth section is devoted to the application. Finally, the fifth section contains results and discussion.

2. Literature Survey

There are many studies in the field of energy in which ANN is used to make predictions. Ringwood et al. (2001) forecasted short, medium and long term electricity demand for Ireland using ANN. Hsu and Chen (2003) formulated an ANN model to predict the regional peak load of Taiwan. Hamzaçebi and Kutay (2004) investigated the use of ANN in long-term electrical energy consumption forecasting. The results found with ANN were compared with those found by Box-Jenkins models and regression technique. The results have shown that ANN is a good forecaster of electrical energy consumption. Sözen et al. (2005) used two different ANN models to forecast net energy consumption in Turkey. In Model 1, population, gross generation, installed capacity and years are used in the input layer of the network. In Model 2, other energy sources are used in input layer of network. In both models, the net energy consumption is in the output layer. Pao (2006) used linear and nonlinear models including ANN to investigate the effect of national income, population, gross domestic production and consumer price index on the electricity consumption in Taiwan. It is shown that the ANN method is more suitable than the linear method for developing a electricity consumption forecasting model. Sözen et al. (2006) forecasted net energy consumption using the ANN technique. Population, gross generation, installed capacity and years are used in the input layer of network. The net energy consumption is in the output layer. Hamzaçebi (2007) forecasted Turkey's net electricity consumption on a sectoral basis using ANN because ANNs can forecast future values of more than one variable at the same time and model the nonlinear relation in the data structure. Sözen and Arcaklioglu (2007) used three

different ANN models to predict net energy consumption in Turkey. In Model 1, installed capacity, generation, energy import and energy export are used in the input layer whereas gross national product in Model 2 and gross domestic product in Model 3 is used in the input layer of the network. For all models, the net energy consumption is in the output layer. Kavaklioglu et al. (2009) predicted electricity consumption of Turkey using ANNs. Electricity consumption is modeled as a function of population, gross national product, imports and exports. Geem and Roper (2009) proposed an ANN model to estimate the energy demand for South Korea. The model has gross domestic product, population, import and export amounts as independent variables. Kankal et al. (2011) modeled and forecasted Turkey's energy consumption based on socio-economic and demographic variables using ANN and regression analysis. Bilgili et al. (2012) applied ANN, linear regression and nonlinear regression models to estimate the electricity consumptions of the residential and industrial sectors in Turkey. Installed capacity, gross electricity generation, population and total subscribership are used as independent variables. Es et al. (2014) predicted the net energy demand of Turkey using ANN. Gross domestic product, population, imports, exports, building area and number of vehicles are used as inputs of the ANN model. Özden and Öztürk (2018) forecasted the energy demand in an industrial site (İvedik OSB) using ANN and time series method. Pençe et al. (2019) estimated the electricity consumption for the 2017-2023 period using an ANN model with data for the 1970-2016 period. In his master's thesis, Yüzük (2019) predicted Turkey's electricity consumption using multiple regression analysis and ANN with electricity data held on a monthly basis between the years 2010-2017. Kayakuş (2020) estimated Turkey's energy demand using ANN and support vector regression. 15 independent variables are used as inputs and Turkey's energy consumption value as the dependent variable is estimated.

3. Material and Method

In this study, Turkey's electricity generation by sources for the years 2020 and 2021 was predicted with ANN and BLSTM methods using the data for electricity generation by sources in the years 2010-2019. In this section, ANN and BLSTM methods are explained.

3.1. Artificial Neural Networks

ANNs are an artificial intelligence and machine learning method by imitating biological nerve cells (Esfe et al., 2015). ANNs generally contain an input layer, one or multiple hidden layers, and an output layer, neurons in these layers and weights (Figure 1). With this method, prediction and classification can be made with the aid of existing data. After training the system with real data, it is expected to obtain outputs suitable for the test data of the system. There is a large number of application areas for ANNs, i. e. skin cancer level determination (Esteva et al., 2017), detection of automobile engine faults (Ahmed et al., 2014), drug classification (Byvatov et al., 2003), electric load estimation (Park et al., 1991), stock market forecast (Ticknor, 2013), wind speed estimation (Khosravi et al., 2018) and electricity energy demand forecasting (Özden and Öztürk, 2018).

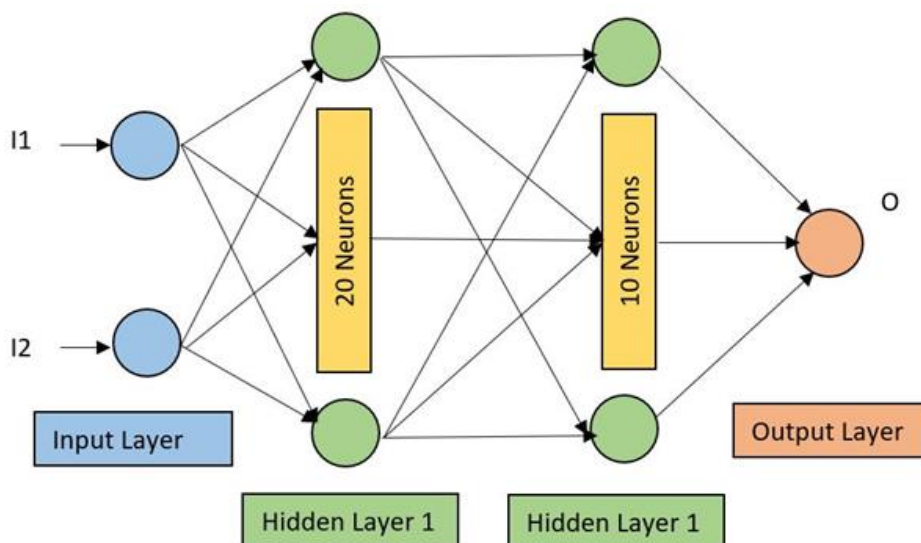


Figure 1. Network structure 2-20-10-1

3.2. Bidirectional Long-Short Term Memory

Deep learning is another popular algorithm inspired by ANNs. Deep learning is used in many areas such as image processing, classification and natural language processing (Deng and Yu, 2014). Deep learning networks distinguish from classical ANNs in many ways, such as number of layers (LeCun et al., 2015). The most used deep learning algorithms are Convolutional Neural Network (CNN) and Recurrent Neural Network (RNN). A particular version of the regular RNN is Long-Short Term Memory. Normal (One-Way) LSTMs can fail in sequential operations such as time series since they do one operation (Graves and Schmidhuber, 2005). Bidirectional LSTMs run two LSTMs on the same input data in time series problems (Figure 2). The first LSTM runs on the input data from back to forward, while the second LSTM runs on the same data from forward to back (Kiperwasser and Goldberg, 2016). In this way, by running two LSTMs on the same input data, the system is provided to be faster and the learning deficiencies in one-way LSTM are completed.

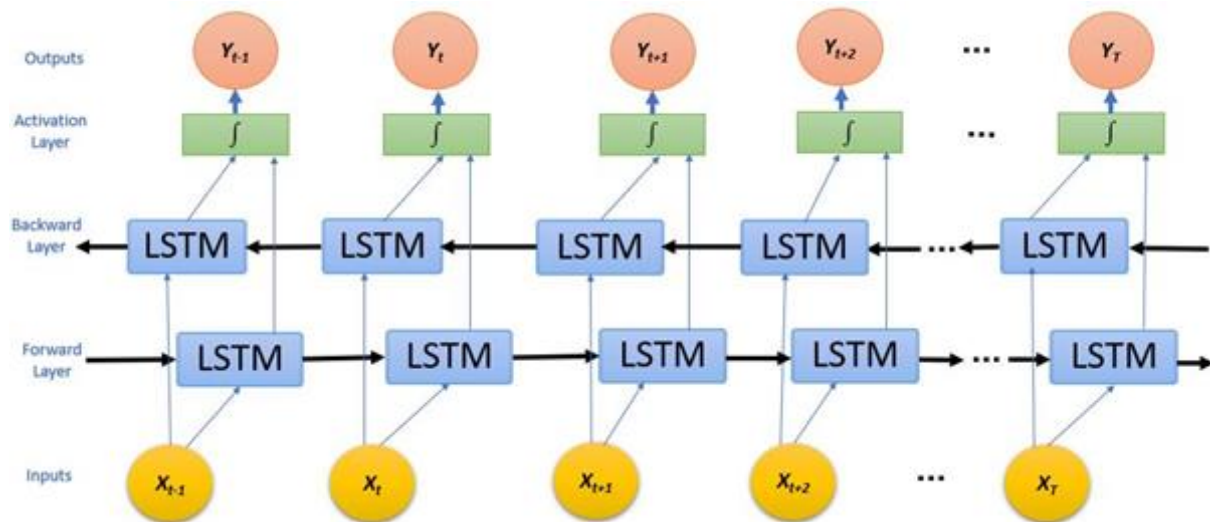


Figure 2. BLSTM structure (Graves and Schmidhuber, 2005)

4. Experimental Results

In this study, Turkey's data on electricity generation from different sources for the period 2010-2019 are used to predict the electricity generation for the years 2020 and 2021. As the data were collected from an online database, an Ethics Committee Permission is not required in this study. Since the limited and one-dimensional data available are a time series, it is necessary to make use of historical data for prediction. Firstly, the data were transformed into a series with two elements. Then ANN and BLSTM methods were applied to these series.

In both methods, the values of electricity generated from oil in successive years in Table 2 were used as two inputs I1 and I2. The value of electricity generated from oil in the following year after these consecutive years was used as the only output O (Table 3). The values of I1, I2, and O in the first row in Table 3 are the values of electricity generated from oil for the years 2010, 2011 and 2012 respectively. While I2 in the first row is used as the first input in the second row, O in the first row is now used as the second input in the second row. This shifting is repeated for the remaining six rows. In other words, the values in the first row are from 2010, 2011, and 2012, respectively, while those in the second row are from 2011, 2012, and 2013. This process is continued until 2019. Thus, the data series to be used in the method is produced. In Tables 4-10, the data set was produced for other energy sources in the same way using the data in Table 2.

Table 3. Two-element data set values of electricity generated from oil in the period 2010-2019

I1	I2	O
2.1800	0.9036	1.6387
0.9036	1.6387	1.7388
1.6387	1.7388	2.1453
1.7388	2.1453	2.2239
2.1453	2.2239	1.9263
2.2239	1.9263	1.1999
1.9263	1.1999	0.3291
1.1999	0.3291	0.1690

Table 4. Two-element data set values of electricity generated from natural gas in the period 2010-2019

I1	I2	O
98.1437	104.0476	104.4992
104.0476	104.4992	105.1163
104.4992	105.1163	120.5760
105.1163	120.5760	99.2187
120.5760	99.2187	89.2271
99.2187	89.2271	110.4900
89.2271	110.4900	92.4828
110.4900	92.4828	58.1172

Table 5. Two-element data set values of electricity generated from coal in the period 2010-2019

I1	I2	O
55.0464	66.2179	68.0131
66.2179	68.0131	63.7861
68.0131	63.7861	76.2627
63.7861	76.2627	76.1656
76.2627	76.1656	92.2731
76.1656	92.2731	97.4763
92.2731	97.4763	113.2486
97.4763	113.2486	114.5633

Table 6. Two-element data set values of hydroelectricity generated in the period 2010-2019

I1	I2	O
51.7955	52.3386	57.8650
52.3386	57.8650	59.4205
57.8650	59.4205	40.6447
59.4205	40.6447	67.1458
40.6447	67.1458	67.2309
67.1458	67.2309	58.2185
67.2309	58.2185	59.9385
58.2185	59.9385	89.1593

Table 7. Two-element data set values of electricity generation from wind in the period 2010-2019

I1	I2	O
2.9164	4.7239	5.8608
4.7239	5.8608	7.5575
5.8608	7.5575	8.5201
7.5575	8.5201	11.6525
8.5201	11.6525	15.5171
11.6525	15.5171	17.9038
15.5171	17.9038	19.9492
17.9038	19.9492	21.7040

Table 8. Two-element data set values of solar electricity generated in the period 2010-2019

I1	I2	O
0.0024	0.0029	0.0043
0.0029	0.0043	0.0068
0.0043	0.0068	0.0174
0.0068	0.0174	0.1941
0.0174	0.1941	1.0431
0.1941	1.0431	2.8893
1.0431	2.8893	7.7998
2.8893	7.7998	10.9196

Table 9. Two-element data set values of electricity generated from other renewables in the period 2010-2019

I1	I2	O
1.0011	1.0371	1.4913
1.0371	1.4913	2.2422
1.4913	2.2422	3.4466
2.2422	3.4466	4.6655
3.4466	4.6655	6.4532
4.6655	6.4532	8.2515
6.4532	8.2515	10.0805
8.2515	10.0805	12.7106

Table 10. Two-element data set values of electricity generated from other sources in the period 2010-2019

I1	I2	O
0.1246	0.1264	0.1288
0.1264	0.1288	0.2926
0.1288	0.2926	0.3501
0.2926	0.3501	0.5171
0.3501	0.5171	0.7369
0.5171	0.7369	0.8482
0.7369	0.8482	0.9734
0.8482	0.9734	1.1253

Different number of layers and neurons were tested in the training phase in order to obtain the best prediction in ANN method. Parameters, which give the best prediction, are chosen as ANN parameters. Thus, two inputs, one output and two hidden layers with 20 and 10 neurons respectively were used to form a network structure of 2-20-10-1 (Figure 1). Learning rate was adjusted as 0.5 and the sigmoid was used as activation function. It was carried out with 200 epochs during ANN training, and from the data for the years 2017 and 2018, a value of 0.1712362 was predicted for the actual value of 0.169 in 2019 with a relative error of 1.32% (Table 11). Then, BLSTM method was trained with 50 epochs, and Adam optimizer was used. Instead of the classical stochastic gradient reduction method, Adam is a more efficient, adaptive optimization algorithm, i.e. it updates the learning rate for each parameter (Kingma and Ba, 2014; Ruder, 2016). By this method, a value of 0.170484 was predicted for the actual value of 0.169 in 2019. A relative error of 0.88% has been found after comparing both values (Table 11). As can be seen in Table 11, the BLSTM method gives better results than the ANN method for all predictions of the value of electricity generated from various sources.

Table 11. Predictions of the value of electricity generated from various sources in 2019

SOURCE	2019 ACTUAL VALUE	2019 PREDICTIONS			
		ANN		BLSTM	
		VALUE	RELATIVE ERROR (%)	VALUE	RELATIVE ERROR (%)
OIL	0.1690	0.1712362	1.32	0.170484	0.88
NATURAL GAS	58.1172	59.2442173	1.94	58.600586	0.83
COAL	114.5633	113.9419604	-0.54	115.013535	0.39
HYDROELECTRIC	89.1593	61.2766661	-31.27	69.08673	-22.51
WIND	21.7040	20.7803807	-4.26	21.78258	0.36
SOLAR	10.9196	10.689053	-2.11	10.899599	-0.18
OTHER RENEWABLES	12.7106	12.0189666	-5.44	12.6317005	-0.62
OTHER	1.1253	1.0572592	-6.05	1.1144639	-0.97

ANN and BLSTM methods were used to predict the value of the electricity generated for 2020 from the data for 2018 and 2019 with the same training and optimization parameters (Table 12). Similarly, the value for 2019 and the predicted value for 2020 are used to predict the value of the electricity generated in 2021 from all different sources with the same training and optimization parameters (Table 12). The actual values for 2020 and 2021 are unknown.

Table 12. Predictions of the value of electricity in TWh generated from various sources for 2020 and 2021

SOURCE	2020 PREDICTIONS		2021 PREDICTIONS	
	ANN	BLSTM	ANN	BLSTM
OIL	0.21418289	0.2076833	0.25271984	0.2456418
NATURAL GAS	65.23079431	65.27646	58.54790882	60.756832
COAL	121.8642145	124.37067	129.5088635	138.93199
HYDROELECTRIC	87.10565718	86.88384	91.94973769	93.227936
WIND	24.7860188	26.758623	30.63023481	31.310879
SOLAR	21.06665163	21.294617	30.84545502	31.787287
OTHER RENEWABLES	14.97739043	15.445854	17.67159741	18.377289
OTHER	1.11801605	1.1475525	1.13545079	1.1518936
TOTAL	336.3629258	341.3852998	360.5419679	375.7897484

As mentioned before, the BLSTM method yielded better predictions for the value of electricity generated from various sources in 2019 in comparison of the ANN method. Since the values for 2020 and 2021 are unknown, it cannot be determined which method gives better prediction values.

5. Result and Discussion

In this study, electricity generation by energy sources was predicted for 2020 and 2021 using ANN and BLSTM methods. According to analysis, it was observed that the BLSTM method gave better results than the ANN method in 2019 for all energy sources. Prediction values of electricity generation for 2020 and 2021 were calculated with the best ANN network structure and BLSTM parameters obtained from 2019 predictions.

As mentioned in the introduction, the share of electricity generated from renewable energy sources in total electricity generation is increasing year by year. This increase contributes to the Turkish economy by reducing

foreign dependency. It is also a good development in terms of reducing the damage to the environment. Considering the predicted values obtained by both the ANN method and the BLSTM method for the years 2020 and 2021, it is observed that the share of electricity generated from renewable energy sources in total electricity generation has increased. According to the results found by ANN and BLSTM methods for 2020, it is predicted that the share of electricity generated from renewable energy sources in total electricity generation will be 18.08% and 18.6%, respectively. For 2021, according to the results obtained by ANN and BLSTM methods, it is predicted that the share of electricity produced from renewable energy sources in total electricity generation will be 21.95% and 21.68%, respectively. The outbreak, which has affected the whole world, may have a negative impact on the electricity generation. For this reason, it can be concluded that there is a difference between the total electricity generation value and the predicted value for 2020. Furthermore, fluctuations in hydroelectricity generation can be shown as another reason for the difference between the predicted value and the actual value in 2020 and 2021.

In accordance with the goal of Affordable and Clean Energy, one of the Sustainable Development Goals of the United Nations, investments should be made in clean energy sources such as solar, wind and thermal energy in order to ensure that everyone can access energy by 2030. The necessity of investing into the field of renewable energy in Turkey has been confirmed by the results in this study.

Turkey has not only high solar energy potential but also high wind energy potential. In addition, it is practical and easy to generate electricity directly from these two energy sources. From this point of view, in future studies, especially the regions with high wind and solar energy potential can be determined and predictions for the electricity generation and the installed power in these regions can be made accordingly.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Ahmed, R., El Sayed, M., Gadsden, S. A., Tjong, J., Habibi, S., 2014. Automotive internal-combustion-engine fault detection and classification using artificial neural network techniques. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 64 (1), 21-33.
- Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3 (1), 37-54.
- Bilgili, M., Sahin, B., Yasar, A., Simsek, E., 2012. Electric energy demands of Turkey in residential and industrial sectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (1), 404-414.
- BP British Petrol (2020a). Full Report - BP Statistical Review of World Energy 2020, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (27.01.2021)
- BP British Petrol (2020b). BP Statistical Review of World Energy - Overview documents - Consolidated dataset - panel format, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html> (27.01.2021)
- BP British Petrol (2020c). BP Statistical Review of World Energy - Overview documents - Statistical Review of World Energy - all data, 1965-2019, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html> (27.01.2021)
- Byvatov, E., Fechner, U., Sadowski, J., Schneider, G., 2003. Comparison of support vector machine and artificial neural network systems for drug/non-drug classification. *Journal of chemical information and computer sciences*, 43 (6), 1882-1889.
- Coşkun, A., 2012. Türkiye'de Elektrik Enerjisi Sorunu ve Ekonomik Gelişmemizdeki Önemi. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, (34), 73-83.
- Çınar, S. Yılmaz, M., 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belirleyicileri ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Gelişmekte Olan Ülkeler Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30 (1), 55-78.
- Deng, L., Yu, D., 2014. Deep learning: methods and applications. *Foundations and trends in signal processing*, 7 (3-4), 197-387.
- Doğan, M., 2011. Enerji kullanımının coğrafi çevre üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (23), 36-52.
- Es, H. A., Kalender, F. Y., Hamzaçebi, C., 2014. Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (3), 495-504.
- Esf, M. H., Saedodin, S., Sina, N., Afrand, M., Rostami, S., 2015. Designing an artificial neural network to predict thermal conductivity and dynamic viscosity of ferromagnetic nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 68, 50-57.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., Thrun, S., 2017. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542 (7639), 115-118.
- Geem, Z.W., Roper, W.E., 2009. Energy Demand Estimation of South Korea Using Artificial Neural Network, *Energy Policy*, 10, 6379-6380.
- Graves, A., Schmidhuber, J., 2005. Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures. *Neural networks*, 18 (5-6), 602-610.
- Hamzaçebi, C., 2007. Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy policy*, 35 (3), 2009-2016.

- Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2004. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini, Gazi Üniversitesi Mühendis Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (3), 227-233.
- Hsu, C., Chen, C., 2003. Regional Load Forecasting in Taiwan Applications of Artificial Neural Networks, Energy Conversion and Management, 44, 1941-1949.
- Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Özşahin, T. Ş., 2011. Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. Applied Energy, 88 (5), 1927-1939.
- Kar, M., Kınık, E., 2008. Türkiye'de Elektrik Tüketimi Çeşitleri ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ekonometrik bir Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi, 10 (11), 333-353.
- Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Ozturk, H. K., Canyurt, O. E., 2009. Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using artificial neural networks. Energy Conversion and Management, 50 (11), 2719-2727.
- Kayakuş, M., 2020. The Estimation of Turkey's Energy Demand Through Artificial Neural Networks and Support Vector Regression Methods. Alphanumeric Journal, 8 (2), 227-236.
- Khosravi, A., Koury, R. N. N., Machado, L., Pabon, J. J. G., 2018. Prediction of wind speed and wind direction using artificial neural network, support vector regression and adaptive neuro-fuzzy inference system. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 25, 146-160.
- Kingma, D. P., Ba, J., 2014. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980.
- Kiperwasser, E., Goldberg, Y., 2016. Simple and accurate dependency parsing using bidirectional LSTM feature representations. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 4, 313-327.
- Koç, E., Kaya, K., 2015. Enerji Kaynakları – Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina, 56 (668), 36-47.
- Koç, E., Şenel, M. C., 2013. Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 54 (639), 32-44.
- LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015. Deep learning. Nature, 521(7553), 436-444.
- Özden, S., Öztürk, A., 2018. Yapay sinir ağları ve zaman serileri yöntemi ile bir endüstri alanının (İvedik OSB) elektrik enerjisi ihtiyacı tahmini. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11 (3), 255-261.
- Pao, H., 2006. Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan's electricity consumption. Energy, 31 (12), 2129-2141.
- Park, D. C., El-Sharkawi, M. A., Marks, R. J., Atlas, L. E., Damborg, M. J., 1991. Electric load forecasting using an artificial neural network. IEEE transactions on Power Systems, 6 (2), 442-449.
- Pençe, İ., Kalkan, A., Şişeci Çeşmeli, M., 2019. Türkiye Sanayi Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2017-2023 dönemi için Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi, 3 (2), 206-228.
- Ringwood, J. V., Bofelli, D., Murray, F. T., 2001. Forecasting Electricity Demand on Short, Medium and Long Time Scales Using Neural Networks, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 31, 129-147.
- Ruder, S., 2016. An overview of gradient descent optimization algorithms. arXiv preprint arXiv:1609.04747.
- Sözen, A., Akçayol, M. A., Arcaklıoğlu, E., 2006. Forecasting net energy consumption using artificial neural network. Energy Sources, Part B, 1 (2), 147-155.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., 2007. Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey. Energy policy, 35 (10), 4981-4992.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özkaymak, M., 2005. Turkey's net energy consumption. Applied Energy, 81 (2), 209-221.
- Ticknor, J. L., 2013. A Bayesian regularized artificial neural network for stock market forecasting. Expert Systems with Applications, 40 (14), 5501-5506.
- Tunalı, H., Ulubaş, M., 2017. Elektrik Enerjisi Tüketimi Ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: G7 Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama (1970-2015). Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi. 20 (1), 1-13.
- Yapraklı, S., Yurttaçıkmaz, Z. Ç., 2012. Elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik: Türkiye üzerine ekonometrik bir analiz. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 13 (2), 195-215.
- Yılmaz, M., 2012. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 4 (2). 33-54.
- Yüzük, F., 2019. Çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağları ile Türkiye enerji talep tahmini. (Master's thesis), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.



POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN OPTİMİZASYONUNDA KARLILIK ANALİZİ VE ÇALIŞMA SÜRESİ TAYİNİ

Hasan GÜRSAKAL*, Ali UYUMAZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Pompaj Depolamalı
Hidroelektrik Santraller,
Göreceli Karlılık Analizi,
Optimizasyon,
Yenilenebilir Enerji,
Elektrik Depolaması.*

Öz

Bu çalışmada, pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin yapı boyutları, kurulu güç ve üretim miktarlarının optimizasyonunda kullanılacak olan karlılık oranları ve pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin (PDHES) çalışma süreleri göreceli karlılık analizi yaklaşımı (GÖKAY) ile ele alınacaktır. GÖKAY, piyasada oluşan saatlik elektrik fiyatlarını oransal olarak değerlendirmeye, sistemin iç verim oranı (İVO) esas alınarak alış ve satış fiyatları arasında oluşan karlılık analizini yapan bir yaklaşımdır. GÖKAY ile gün içindeki elektrik en düşük ve en yüksek fiyatlar arasındaki karlılık oranları elde edildiği gibi buna bağlı olarak da İVO'ya karşılık gelen PDHES'in çalışma saatleri de belirlenmiş olmaktadır. Elde edilen sonuçlar da PDHES'lerin optimizasyon çalışmalarında kullanılabilir. Optimizasyon çalışmasını yaparken öncelikle karar değişkenleri belirlenerek, bu parametreler belirli aralıklar içerisinde modelde kullanılır. Parametrelerin çalışma aralıkları da dünyada tesis edilmiş PDHES'ler örnek alınarak ve piyasa ihtiyaçları dikkate alınarak belirlenir. PDHES'lerin optimizasyon sonucunda en uygun yapı boyutları, kurulu güç ve üretim miktarlarının seçilerek ekonomik analizlerinde rantabilitesinin 1'in üzerinde olduğu sınır değerler ve maksimum rantabilite değerlerine ulaşılan sınırlar belirlenir. PDHES'lerin ekonomik analizlerine ve optimum sonuçlara ulaşılmasında karlılık analizleri ve çalışma saatlerinin belirlenmesi en önemli etkenlerdir. Çalışma neticesinde PDHES'lerin İVO değerinin artışına göre karlılık oranının azaldığı görülse de, çalışma saatlerinde ve 12 saatlik süre ile normalize edilmiş karlılık oranı (NKO) değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

DETERMINATION OF OPERATION TIME AND PROFITABILITY ANALYSIS OF PUMPED STORAGE HYDROELECTRIC POWER PLANTS OPTIMIZATION

Keywords

*Pumped Storage
Hydroelectric Power Plants,
Relative Profitability Analysis,
Optimization,
Renewable Energy,
Electricity Storage.*

Abstract

This study discusses the structural dimensions of pumped-storage hydroelectric power plants (PSHPP), the profitability ratios to be used in the optimization of installed capacity and energy production as well as operating times of pumped-storage hydroelectric power plants (PSHPP), from the perspective of relative profitability analysis approach (RPAA). RPAA is an approach which makes the analysis of profitability emerging between the purchase and sale prices based on the system's internal rate of return (IRR) by assessing the hourly electricity prices in the market proportionately. By RPAA, not only the profitability ratios between the maximum and minimum prices during the day are obtained, but also the PSHPP's operating times corresponding to the IRR are determined as well in relation to these ratios. The results obtained may also be used in the optimization studies of PSHPPs. In the optimization studies, firstly the stability variables are determined and then these parameters are used in the model within certain intervals. The operating intervals of the parameters are determined by taking into consideration the PSHPPs established worldwide and the needs of the market. As a result of the optimization, PSHPPs' most appropriate structural dimensions, the limit values in cases where the profitability is over 1 in the economic analyses that select the installed capacity and energy production as well as the limits where the maximum profitability values are reached, are determined. In economic analyses of PSHPPs and in reaching the

* İlgili yazar / Corresponding author: hgursakal@gmail.com, +90-532-765-3121

optimum results with regard to PSHPPs, profitability analyses and the determination of operating times are the most important factors. As a result of the study, although it is seen that the profitability rate decreases according to the increase in the IRR of PSHPP, it is seen that there is an increase in the operating hours and the normalized profitability rate (NPR) values for 12 hours.

Alıntı / Cite

Gürsakal H., Uyumaz, A., (2021). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Optimizasyonunda Karlılık Analizi ve Çalışma Süresi Tayini, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 436-452.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Gürsakal, 0000-0002-4148-2507

A. Uyumaz, 0000-0002-2530-6706

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 29.04.2021

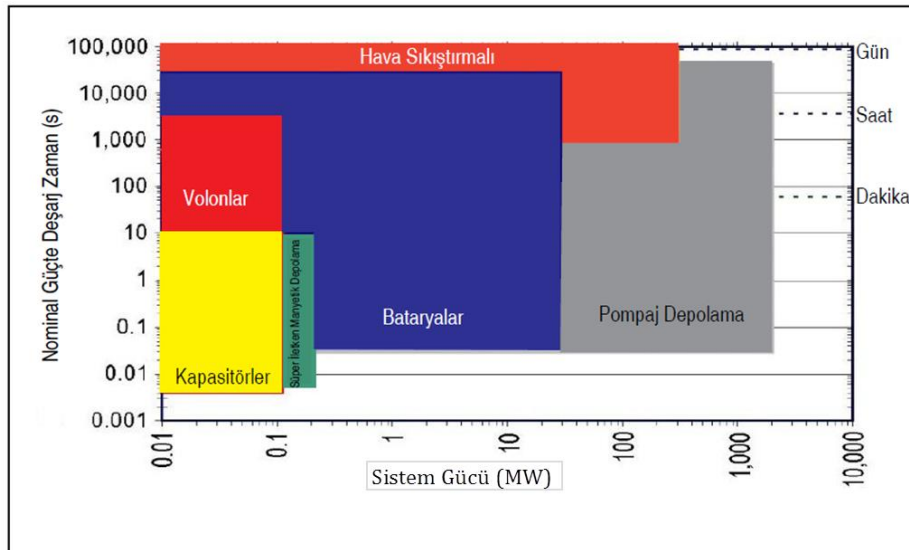
Revizyon Tarihi / Revision Date 20.05.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date 01.06.2021

Yayın Tarihi / Published Date 20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Ülkemizin gelişen ekonomisi ve nüfus artışına bağlı olarak elektrik enerjisi tüketimi de artış göstermekle birlikte, 2018 yılındaki toplam tüketim bir önceki yıla göre %2,2 artarak 304,2 milyar kWh olmuştur. Bu tüketimi karşılamak için elde edilen üretim ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 304,8 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılındaki elektrik üretiminin oransal dağılımı %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan şeklinde oluşmuştur. 2019 yılı Eylül ayı itibarıyla kurulu gücü 90.720 MW'a ve 2021 yılı Şubat ayı itibarıyla da 96.271 MW'a ulaşmıştır. Enerji talebinin artışına bağlı olarak tüketimin karşılanması için talebin yaklaşık %76'sı ithalat ile karşılanmakta olup, bu ithalatın da ülke ekonomisini olumsuz etkilediği gibi dışa bağımlılığa sebep vermektedir. Enerji taleplerinin mümkün olduğu kadar ülkemizin öz kaynaklarındaki potansiyeli ile karşılanması durumunda ülke ekonomisi üzerindeki yükü hafifleyeceği gibi aynı zamanda dışa bağımlılığının ve maliyetlerin azaltılması sağlanacaktır (Gürel, 2020). Bu nedenle, tüm enerji potansiyelinin en ekonomik olarak kullanılabilir hale getirilmesi için enerji sektörünün ve paydaşlarının azami gayret sarf etmesi elzemdir.



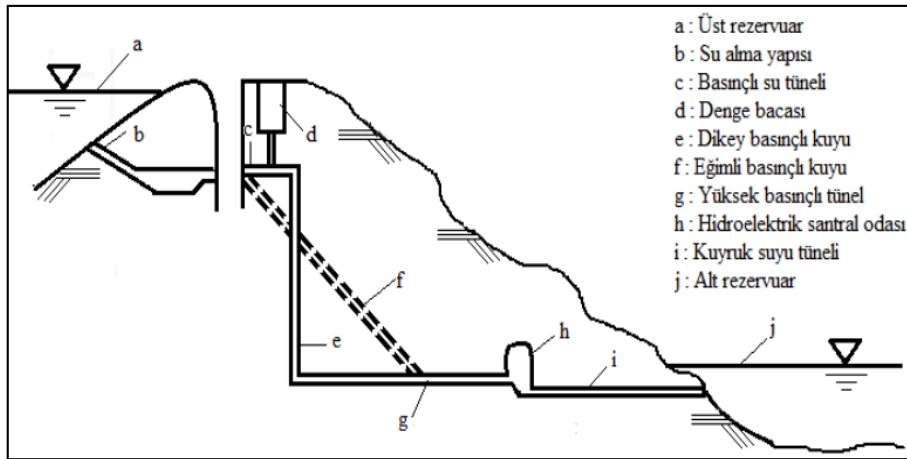
Şekil 1. Enerji depolama sistemleri (Ünver vd., 2015) (Energy storage systems)

Enerjinin elektrik enerjisi olarak depolanması, ileri teknoloji gerektiren ve pahalı sistemler olduğundan dolayı alternatif depolama sistemlerinin araştırılması yönünde çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak enerji depolama sistemi çeşitleri; mekanik, elektrokimyasal, elektromanyetik ve termal prosesler olmak üzere dört ana başlık olarak ele alınmaktadır Basınçlı hava depolamalı sistemler, volanlar, pompaj depolamalı sistemler mekanik enerji depolama teknolojilerindedir. Piller ve akış bataryaları, kimyasal enerji depolama; kapasitör, süper kapasitör, manyetik süper iletken ise elektrik enerjisi depolamak için geliştirilmiş teknolojilerdir (Mert vd., 2018). Depolanması gereken elektrik enerjisi, kimyasal, manyetik ve mekanik enerjiye dönüştürülerek depolanabilmektedir. Farklı amaçları da olan bu sistemlerin büyük miktarda enerji depolama konusunda, mekanik depolama sistemleri arasında en verimli olanları basınçlı hava depolama ve pompaj depolama sistemleridir. Şekil 1'de görüleceği üzere, farklı enerji depolama sistemlerinin nominal güçte deşarj zamanları ve sistem gücü bazında

dakika, saat ve günlük olarak depolama kapasitelerine bakıldığında PDHES'lerin MW mertebesinde ve büyük ölçekte depolama yapabilmektedir (Ünver vd., 2015).

Enerji depolama tesisleri yapılarak enerjinin depolanması, pik taleplerin karşılanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekede sorunsuzca çalışması, hidroelektrik ve termik santrallerin daha verimli çalışması, şebekenin frekans ve geriliminin istenilen aralıklarda temini, enerjinin kaliteli ve güvenli bir şekilde arz edilmesi, enerji kalitesinin sürekliliğini sağlanması, enerjide fiyat istikrarının sağlanması amaçları gözetilmektedir.

Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde (PDHES), düşüşünden faydalanılması için alt ve üst olmak üzere iki rezervuar bulunmaktadır. Rezervuarlar nehir, doğal göl, mevcut baraj rezervuarı, deniz üzerindeki doğal rezervuarın kullanılabilmesi gibi, inşa edilecek yapay havuz da olabilmektedir. Enerji talebinin yüksek olduğu veya elektriğin pahalı olduğu zamanlarda, üst rezervuardaki suyun alt rezervuara düşürülmesiyle türbinlenen sudan elektrik enerjisi üretilir. Enerji talebinin az olduğu zamanlar veya elektriğin ucuz olduğu zamanlarda ise pompa çalıştırılarak su, alt rezervuar seviyesinden üst rezervuar seviyesine yükseltilir. Su alma yapısı üst rezervuarın yanında veya altında olacak şekilde yapılabilmektedir. Yeraltı santralli olarak yapılan pompaj depolamalı hidroelektrik sistemlerde su iletim yapısı olarak çoğunlukla basınçlı kuyu ve enerji tüneli kullanılmaktadır. Santralle alt rezervuar arasındaki bağlantı da Şekil 2'de gösterildiği üzere kuyruk suyu tüneli ile sağlanmaktadır (Ünver vd., 2015).



Şekil 2. Pompaj depolamalı hidroelektrik santral (PDHES) ve su iletim yapıları şeması (Ünver vd., 2015) (Pumped storage hydroelectric power plant (PSHPP) and water transmission structures scheme)

PDHES'ler yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme daha verimli olarak dahil edilmesi konusunda en umut verici enerji depolama teknolojisidir (Sousa vd., 2014). PDHES'lerin varlığı, enterkonnekte sistemin güvenilirliğini arttırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu teşvik etmektedir (Papaefthymiou ve Papathanassiou, 2014).

PDHES'ler, nükleer veya termik santraller gibi üretimi kısa sürede durdurlamayan veya durdurulmasının maliyetlerinin yüksek olduğu tesislerde ihtiyaç fazlası üretilen elektriğin depolanarak, elektrik ihtiyacının fazla olduğu zamanlarda da tüketilmesi üzerine kurulmuştur. Böylelikle, arz ve talep dengesi sağlandığı gibi, çevresel etkileri en aza indirgeyerek yük dengeleme ve frekans kontrolü de sağlanmaktadır. Hava sıkıştırılmalı depolama, volan kullanma, süper kapasitörler ve konvansiyonel bataryalar gibi diğer elektrik enerjisi depolama biçimlerine kıyasla, PDHES'ler, yüksek yatırım maliyeti ve uzun inşaat süresi gerektirmelerine rağmen, büyük depolama kapasiteleri, çevreye olan olumlu etkileri ve enerji dönüşümündeki verimlilikleri bakımından daha avantajlıdır (Ayder, 2015).

İlk pompaj depolamalı sistem kullanımı 1890'larda İtalya ve İsviçre'dedir. PDHES'lerin dünyadaki durumuna bakıldığında; yaklaşık olarak 135.000 MW'ın üzerinde kurulu güç ile 39 ülkede işletmededir. Bu ülkeler arasında 25.000 MW'lık kurulu güç ile Japonya ilk sırada yer almaktadır. Bu güç Japonya'nın toplam kurulu gücünün yaklaşık %10'una karşılık gelmektedir. Çin'in PDHES potansiyeli hızla artmakta ve yakın gelecekte dünya ülkeleri arasında ilk sırayı alması beklendiği ifade edilmektedir. Elektrik enerjisinin %99'unu hidrolik kaynaklardan elde eden Norveç'te yaklaşık 1.300 MW kurulu güçte PDHES işletmededir. Gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de yapımı planlanan PDHES'lerin gün geçtikçe sayıları artmaktadır. 2014 yılı rakamları ile dünya genelindeki PDHES kurulu gücü 175.000 MW olmak üzere, bu güç giderek artış göstermektedir (Sertkaya vd., 2015).

ABD'de, mevcut 38 pompalı hidroelektrik tesisi, ülkenin elektrik üretim kapasitesinin yüzde 2'sinden fazlasını depolayabilmektedir. Bu pay, Avrupa'nın (neredeyse % 5'i) ve Japonya'nın (yaklaşık % 10'u) ile karşılaştırıldığında oran olarak küçük olsa da sektör mevcut santrallere yakın rezervuarlar kurmayı planlamaktadır (ESA, 2021).

Ülkemizde mülga EİE ve DSİ tarafından PDHES'ler konusunda planlama düzeyinde çalışmalar yapılmış olsa da şimdiye kadar yatırım kararı alınan, inşaatı başlayan veya tamamlanan bir PDHES bulunmamaktadır. PDHES'lerin yapımı ile ilgili mevzuat düzenlemeleri DSİ, EPDK ve ETKB tarafından devam ediyor olsa da, yürürlüğe girmiş bir düzenleme henüz mevcut değildir. Mülga EİE tarafından planlanan PDHES'lerin özet bilgileri Tablo 1'de verilmektedir.

2001 yılında 4628 sayılı Enerji Piyasası Kanunu ve bu kanuna bağlı yönetmelikler ile ülkemizde elektrik piyasası liberalleşerek, özel sektör ile birlikte elektrik tesisi yatırımları hızlanmıştır. Bu süreç içerisinde hidroelektrik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerji gibi yenilenebilir enerji tesisleri yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) sayesinde özel sektörün yatırımına açılmıştır. Geçen zaman içerisinde resmi kurumların düzenlemeleri ile yerli ve yabancı enerji sektörü yatırımcıları bu tesislerin yapımını üstlenmişlerdir. 2020 yılı sonunda YEKDEM teşvikinin kanuni süresi tamamlanıyor olması ve ülkenin son yıllarda yaşadığı ekonomik sıkıntılar ile birlikte, enerji sektöründeki yatırımlar yavaşlayarak devam etmektedir. Enerjinin depolanmasının sağlanması, elektrik yükünün dengelenmesi, elektrik ihtiyacının arttığı saatlerde hızlı şekilde devreye alınarak ihtiyacı karşılayabilme gibi birçok avantajı olan PDHES'ler için şimdiye kadar kamu ve özel sektör tarafından yatırım yapılmamış olmasının bazı sebepleri de vardır. PDHES'lerin yapımını, elektrik üretimini ve tüketimini düzenleyen yürürlükte bir mevzuatın olmaması sebeplerden biridir. DSİ, EPDK ve ETKB tarafından hazırlanan bazı taslak yönetmelikler bulunmakla birlikte, yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve işleyişinin düzenlendiği bir sistem ve bu yatırımları teşvik edici bir mekanizma henüz yoktur. Elektrik piyasasındaki yapılanmanın yeni başlamış olması ve PMUM sistemi ile birlikte elektrik fiyatlarının ve fiyat farklarının ne şekilde oluşacağını öngörülemez olması da bir başka etken olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 1. Mülga EİE tarafından planlanan PDHES'ler (PSHPP's planned by repealed EIE)

EİE Tarafından Çalışılmış Olan PDHES'ler					
Tesis Adı	Kurulu Gücü (MW)	İli	Türü	Proje Debisi (m ³ /s)	Düşü (m)
Gökçekaya PHES	1600	Eskişehir	Mevcut baraj gölüne entegre	193	962
İznik I PHES	1500	Bursa	Tamamen yeni yatırım	687	255
Sarıyar PHES	1000	Ankara	Mevcut baraj gölüne entegre	270	434
Bayramhacılı PHES	1000	Kayseri	Mevcut baraj gölüne entegre	720	161
Hasan Uğurlu PHES	1000	Samsun	Mevcut baraj gölüne entegre	204	570
Adıgüzel PHES	1000	Denizli	Mevcut baraj gölüne entegre	484	242
Burdur PHES	1000	Burdur	Tamamen yeni yatırım	316	370
Eğridir PHES	1000	Isparta	Tamamen yeni yatırım	175	672
Kargı PHES	1000	Ankara	Mevcut baraj gölüne entegre	238	496
Karacaören II PHES	1000	Burdur	Mevcut baraj gölüne entegre	190	615
Yalova PHES	500	Yalova	Tamamen yeni yatırım	147	400
Yamula PHES	500	Kayseri	Mevcut baraj gölüne entegre	228	260
Oymapınar PHES	500	Antalya	Mevcut baraj gölüne entegre	156	372
Aslantaş PHES	500	Osmaniye	Mevcut baraj gölüne entegre	379	154
İznik II PHES	500	Bursa	Tamamen yeni yatırım	221	263
Demirköprü PHES	300	Manisa	Mevcut baraj gölüne entegre	166	213

Rüzgar ve güneş enerjisi gibi elektriksel gücü değişken ve kararsız karakterde olan tesislerin yeni yeni yapılıyor olması ve nükleer enerji santrali yatırımının da henüz devre girmemiş olması da PDHES yatırımlarının da şimdiye kadar ön plana çıkmamasının nedenleri arasında yer almaktadır. Yakın gelecekte, ülkenin rüzgar ve güneş enerji potansiyellerinin tamamını kullanabilmesi için ve planlanan nükleer enerji santrallerinin devre alınacağını da öngörüldüğünde PDHES'lerin yapımı için gerekli düzenlemelerin en kısa süre içerisinde tamamlanması ve yatırım planlamalarının da başlatılması zaruri hale gelmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Brown vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının zengini olduğu küçük bir adada PDHES projesinin belirli güvenlik kriterleri ve kısıtlamalar ile ekonomik analizi yapılmaktadır. Dinamik güvenlik kriteri, acil durumlarda düşük frekansta yük atma riskini önlemek ve güç sisteminin frekansını düzenlemesini sağlamak için geliştirilmiştir. Çalışmadaki yaklaşım, üretimin stokastik niteliği ve frekans düzenlemesi ile dinamik güvenlik kısıtlamaları da dahil olmak üzere, izole edilmiş bir sistemde PDHES'lerin optimize edilmesidir.

Optimizasyonda rüzgar ve hidro enerjisinin yıllık güç miktarlarını dikkate aldığına, mevsimsel değişimler de göz önünde bulundurularak, yük dağılımlarını tahmin etmek için farklı senaryolar çalışılmıştır. Senaryolar oluşturulmasında yılı mevsimlere bölerek, yenilenebilir üretimin mevsimlere göre ortalama değerleri seçilmiştir. Elde birkaç yıllık veri bulunduğundan dolayı, senaryo üretiminde bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Bulanık mantık kullanılması ile günlük yük eğrileri ve yenilenebilir enerji üretim eğrilerinin şekli ve miktarlarını belirten yirmi dört saatlik bir prototip üretilmektedir. Rüzgar ve hidroda fiyat tarifesinde sabit bir değer garantisi olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji üretimi, teknik nedenler dışında her daim PDHES sisteminde üretimine devam ettiği kabul edilmiştir. Buradaki maksat, enerji arz güvenliğinden ödün vermeden yenilenebilir enerji üretimini maksimize etmektir. Kurulu güç kapasitesini ve üretimi maksimize etmek kurulum maliyetleri ve işletme maliyetlerine bağlıdır. Çalışma, hem kurulu güç kapasitesi hem de sistemin çalışma stratejisi hakkında bilgi sunmaktadır. Çalışmalar sonucu, PDHES'in adanın elektrik sistemine dahil edilmesinin yenilenebilir enerjinin üretiminin artırılması ile birlikte, hem dinamik güvenliği hem de sistemin ekonomisinin iyileştirilmesini sağladığı görülmüştür.

Tuohy ve O'Malley (2011) tarafından yapılan çalışmada, İrlanda ulusal şebekesinin 2020'de önemli düzeyde rüzgar enerjisini absorbe etme yeteneğini incelemiş ve fazla rüzgar enerjisi üretiminin enerji yönetimini sağlayacak önemli bir PDHES kapasitesi belirlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, PDHES ile sadece rüzgar enerjisi katkısının 2020 yılına kadar % 50'yi aşması durumunda maliyet açısından optimum olduğu, aksi halde pik yüklü termik santrallerin kullanımının tercih edilmesinin uygun olduğunu ortaya koymuştur.

Carton ve Olabi (2010) tarafından yapılan çalışmada, İrlanda elektrik şebekesini yüksek rüzgar enerjisi üretimiyle incelemiş, yakıt hücresi ve hidrojen depolama sistemi çözümünü rüzgar enerjisi için bir destek seçeneği olarak sunmuşlardır. Hidrojen yakın gelecekte uygulanabilir bir çözüm olsa da teknolojik gelişmelere ve sosyal kabul edilebilirliğe ilişkin bazı zorlukların aşılması gerektiğinin altını çizmişlerdir.

Sivakumar vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, pik talebi tesislerindeki yüksek elektrik üretim fiyatlarının üstesinden gelmek ve ilerleyen yıllarda Hindistan bölgesinde beklenen artan yenilenebilir enerji üretiminin sisteme girişini kolaylaştırmak amacıyla Hindistan'daki mevcut PDHES potansiyelinin değişken hızlı ekipmanlar vasıtasıyla daha etkin kullanılmasının gerekliliğini çalışmışlardır.

Anagnostopoulos ve Papantonis (2012) tarafından yapılan çalışmada, hem konvansiyonel hem de PDHES operasyonel gereksinimlerini yerine getirebilecek bir kombine işletme modu ortaya koymak ve bu sayede tesisin ekonomik performansını en üst düzeye çıkarmak ve yenilenebilir enerji kaynakları katkısını arttırmak mevcut şebekeden işletilen Yunan hidroelektrik santrallerinin PDHES tesislerine uyarlanması önerilmiştir.

De Boer vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, yakıt bazlı işletim maliyetlerinin azalmasıyla birlikte termik ünitelerin başlangıç ve kapanma maliyetlerinin düşmesi ve rüzgâr enerjisi üretiminin farklı seviyelerinde sistem elektrik maliyetini düşürücü etkileri bakımından elektrikten gaza çevirme sistemi, PDHES ve basınçlı hava enerji depolaması dahil olmak üzere farklı ölçekteki enerji depolama çözümlerinin uygulanmasını incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, büyük ölçekli enerji depolaması uygulamalarından elde edilen elektrik maliyeti faydaları en yüksek PDHES'lerde, ikinci olarak basınçlı hava enerji depolaması ve son olarak da elektrikten gaza çevirme sistemlerinde ortaya çıkmıştır.

Johnson vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, rüzgar kaynağı ile birlikte bulunan şebeke ölçeğinde bir batarya depolaması göz önünde bulundurularak, Amerika Birleşik Devletleri için farklı, varsayımsal ve iletim kısıtlı rüzgar enerji üretimi senaryoları altında optimum enerji depolama seviyelerinin değerlendirmesini incelenmiştir. Bu amaçla, belirli depolama maliyetleri altında, rüzgâr enerjisi kısıtlamalarının %100 geri kazanılmasının maliyet açısından uygun olmayan çözümlere yol açacağından dolayı, enerji depolaması için optimum boyutlandırma çalışılmıştır.

Kocaman (2019) tarafından yapılan çalışmada, belirli bir bölgenin (Isparta, Burdur, Antalya) elektrik talebini karşılamak üzere kurulacak, güneş enerjisi tesisi ile pompaj depolamalı hidroelektrik santralde elektrik depolanmasında sistemin maliyetlerini en aza indirmek maksadıyla, boyutlandırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, güneş enerjisi tesisi teknik bileşenleri detaylandırılmadan panel boyutları karar değişkeni olarak kabul edilmiştir. Hidroelektrik tesisin kabulleri ise, düşünün ve debinin sabit olarak kabul edilerek sistem verimliliği sabit bir sayı olarak ele alınmıştır. Rezervuar, güneş panelleri ve tersinir türbin ve jeneratör boyutları değişken parametreler olarak çalışmalar yapılmıştır. Hem saf PDHES hem de karışık PDHES tipi için yapılan deterministik ve stokastik model çalışmaları neticesinde rezervuar boyutu, panel boyutları, iletim hattı kapasitesi, türbin-jeneratör kapasiteleri ile birlikte elektrik birim maliyetleri sonuçları elde edilmiştir.

Dursun (2010) tarafından yapılan çalışmada, PDHES ile rüzgar enerji santralının belirlenen bir bölgede (Tekirdağ, Kırklareli, Edirne) birlikte çalışmasının modellenmesi ve analizi amaçlanmıştır. Rüzgar enerjisi için farklı beş adet türbin tipi ve bu tiplere göre türbin sayıları optimizasyonu yapılmıştır. Modellemenin temelinde elektrik ihtiyacı, rüzgar türbini, PDHES ve enterkonnekte sistem dikkate alınmıştır. PDHES'in optimizasyonunda ise su pompa, hidroelektrik türbin gücü ve üst hazne boyutlarının optimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışmada farklı kurulu güçte 4 adet su pompası ve hidroelektrik türbin optimizasyon çalışmalarında ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, ele alınan bölgenin elektrik ihtiyaçlarının ne oranda PDHES, rüzgar veya şebekeden karşılandığı bilgisine ulaşılmıştır.

Kaynak araştırmasına bakıldığında, çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farklı olarak piyasada geçmiş dönemlerde oluşan elektrik satış fiyatları oransal değerler haline getirilerek PDHES'lerin karlılık oranlarını ve çalışma saatlerinin belirlendiği görülmektedir. Bu analizin yapılmasında esas alınan PDHES'e ait iç verimlilik oranına (İVO) bağlı olarak çalışmaların yürütülmesi de literatürde daha önce çalışılmadığı görülmekte olup, çalışmanın özgün olmasını sağlamaktadır.

Çalışmanın amacı, PDHES'lerin rezervuar, tesis yapıları, türbin ve pompa kurulu güçleri, yapı boyutları, gibi parametreler göz önüne alınarak optimizasyon yapılması, optimizasyon sonucu ekonomik analiz sonucu en uygun olan parametrelerin seçilmesi için en büyük önem az eden sistemin çalışma saatlerinin ve günlük elektrik fiyatlarındaki değişimler arasında oluşacak karlılık oranlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Sistemin çalışma saatleri ve gün içindeki saatlik fiyat farklarından kaynaklanan karlılık oranları belirlendikten sonra PDHES'in karar değişkeni olarak belirlenen parametrelerinin optimizasyonu yapılabilecektir. Oluşturulan optimizasyon modelindeki temel amaç, kullanılacak tüm özgün projelerin planlama aşamasında en uygun sonuçların alınabilmesidir. Böylelikle, PDHES planlaması yapmak isteyenlerin, çalışma kapsamında oluşturulan matematik model ile projelerini en uygun boyutlarda, en verimli şekilde ve en ekonomik olarak planlamaları için temel bir rehber olacaktır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Materyal (Material)

PDHES'lerin optimizasyonunda kullanılacak olan karlılık analizi ve buna bağlı olarak bulunacak olan sistemin çalışma sürelerinin belirlenmesinde Elektrik Piyasaları İşletme Anonim Şirketi'nin (EPIAŞ) gün içinde saatlik elektrik fiyatlarının oluşturulmaya başlandığı 01.12.2011 tarihinden 21.02.2021 tarihine kadar geçen 3371 günün her bir saatine ait piyasa elektrik satış fiyatları veri olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki veri hesapları 3371 gün üzerinden yapılacak olup, 2021 yılına ait 15 günlük veriler örnek olması amacıyla Tablo 2'de USD kuru değerleri ile verilmektedir (EPIAŞ, 2021).

Tablo 2. EPIAŞ kayıtlarına göre elektrik satış fiyatları (Electricity sales prices according to EPIAŞ datas).

TARİH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	ORTALAMA
1.1.2021	36.0	32.3	29.5	29.7	28.5	28.5	32.3	30.7	32.3	29.5	32.3	30.1	29.7	32.3	32.3	29.7	38.8	43.2	44.0	43.7	43.5	43.0	42.7	42.3	34.87
2.1.2021	41.8	40.4	34.6	33.4	31.9	33.4	34.9	36.4	38.4	38.4	37.5	36.4	35.5	40.1	42.1	42.5	43.1	44.4	45.0	44.5	43.8	43.3	42.8	42.0	39.44
3.1.2021	41.9	42.1	41.8	36.4	33.4	31.9	32.1	33.2	35.7	33.4	36.0	36.4	38.2	36.4	35.0	41.6	42.3	43.7	44.9	44.6	44.3	43.8	43.4	42.6	38.96
4.1.2021	40.4	36.4	34.6	33.4	31.9	31.9	36.4	42.0	43.2	43.6	43.4	42.9	40.4	41.9	42.5	42.6	43.2	44.1	43.6	42.5	42.7	42.0	36.4	34.6	39.86
5.1.2021	40.4	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9	32.1	36.3	42.2	42.5	42.3	41.9	36.1	38.2	42.1	42.5	43.0	43.8	43.7	42.9	42.5	42.3	40.5	37.1	38.83
6.1.2021	40.8	42.2	36.7	34.8	33.6	34.8	36.7	42.4	43.4	43.7	43.4	43.3	42.2	42.4	42.9	43.2	43.3	44.0	43.9	43.3	42.9	42.8	42.2	36.7	41.06
7.1.2021	40.6	42.0	36.5	35.9	33.4	33.4	34.7	36.5	42.8	43.1	43.0	42.5	36.5	37.2	42.0	42.4	42.5	43.3	43.5	42.8	42.8	42.4	42.0	36.5	39.92
8.1.2021	42.2	35.0	35.3	33.3	31.9	32.2	32.2	35.0	42.6	43.7	43.7	43.4	42.3	41.0	42.8	42.9	42.4	43.4	43.6	43.0	42.8	42.4	39.4	33.9	39.59
9.1.2021	42.5	35.2	37.1	34.4	33.4	33.4	33.6	32.7	34.4	35.2	36.2	35.1	32.6	37.1	32.6	37.0	42.6	43.7	44.1	43.6	43.6	43.2	42.8	37.1	37.63
10.1.2021	42.1	33.3	34.0	33.0	31.8	31.8	33.0	31.8	27.2	32.3	42.2	42.3	42.2	32.3	32.3	32.4	42.4	43.5	44.2	43.9	43.5	43.0	42.6	37.0	37.25
11.1.2021	42.1	34.0	34.7	32.9	31.8	31.8	31.8	31.8	42.7	43.4	43.4	42.8	38.0	42.2	42.6	42.8	43.4	44.1	44.1	43.5	43.2	42.7	42.2	36.1	39.51
12.1.2021	42.1	39.3	42.2	34.7	32.7	34.0	34.7	36.6	42.8	43.4	43.2	43.2	42.4	42.6	43.0	43.1	43.2	43.8	43.6	43.0	42.8	42.4	40.9	33.9	40.56
13.1.2021	41.5	37.0	39.6	32.8	34.2	41.7	41.9	42.4	43.6	44.5	44.5	44.7	44.2	44.3	44.7	44.8	45.2	46.1	46.4	45.1	44.2	43.8	43.3	42.8	42.64
14.1.2021	42.9	42.7	42.4	42.0	42.0	42.0	42.2	42.5	43.6	44.6	44.9	44.9	44.3	44.7	45.0	45.0	45.4	47.8	46.8	44.9	44.0	43.6	42.9	42.2	43.88
15.1.2021	42.2	42.2	41.7	33.7	32.3	32.3	37.0	41.7	42.9	43.5	43.6	43.6	42.9	42.9	43.8	44.0	43.9	44.3	44.3	43.8	43.6	43.2	43.0	42.5	41.62

PDHES sistemi içerisinde oluşabilecek hidrolik kayıplar, sızıntı, buharlaşma, kaçak nedeniyle oluşacak su miktarındaki kayıplar, türbin, pompa, generatör ve trafo verim kayıpları için tesise iç verim oranı (İVO) tanımlanmış ve karlılık analizi yapılırken bu oran çalışmalarda esas alınmıştır. İVO için %70 ile %95 arasındaki değerlere karşılık gelen tüm kar oranları ve çalışma süreleri belirlenerek sistemin verimliliği ile bağlantısı ortaya konulmuştur. Bu değer farklı her bir proje veya sistem için farklı değerler seçilebilecek şekilde düşünülerek, farklı değerler seçilerek farklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Veri analizleri neticesinde elde edilecek değerler Göreceli Karlılık Analizi Yaklaşımı (GÖKAY) ile oransal değerler haline getirilerek PDHES'in tüketimi ve üretiminde kullanılması amaçlanmaktadır. Göreceli Karlılık Analizi Yaklaşımı (GÖKAY), EPIAŞ'ın ham verilerindeki ortalama değerlerin, veri analizinde elde edilen ve aynı birimden

olan değerler ile oranlanması ile yüzde ile ifade edilen değerlerin türetilmesi yaklaşımıdır. EPIAŞ birimlerinin parasal değerler olması ve uzun yıllara ait olan değerlerde finansal değişimlerin etkileriyle birlikte çalışılmasına müsaade etmeyeceği düşünülerek, bu yaklaşım düşünülmüştür.

3.2. Veri Analizi (Data Analysis)

Çalışmadaki amaç değerlendirmeye alınan EPIAŞ elektrik satış fiyatları arasındaki en düşük ve en yüksek fiyatlar arasındaki karlılığın ortaya konulması olduğu için 24 saatlik günlük verilerin en düşük fiyatlı 12 saatlik verileri (ENDEF) ile en yüksek fiyatlı 12 saatlik verileri (ENYEF) ayrıştırılmıştır. 2021 yılına ait 15 günlük en düşük 12 saatlik veriler Tablo 3'te, 2021 yılına ait 15 günlük en yüksek 12 saatlik veriler Tablo 4'te verilmiştir.

PDHES sisteminde pompajlı olarak elektrik tüketimi yapılacak elektrik fiyatlarının en düşük olduğu saatlere ait değerler belirlenen İVO değeri ile artırıldığında verim kayıpların bindirildiği en düşük elektrik fiyatları (BENDEF) oluşturulmuş olup, 2021 yılına ait verileri de Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te verilen değerleri İVO değerinin %87 olarak kabul edilmesiyle oluşturulmuş olup, bu çalışmadaki tüm hesaplarda bu değer kabul edilecektir. Kayıpların eklendiğini gösteren denklem aşağıda verilmiştir.

$$\text{BENDEF} = \text{İVO} \cdot \text{ENDEF} \quad (1)$$

İVO ile kayıpların da maliyetlere yansıtılmasından sonra dirilmesinden sonra kar elde edilecek saatlerin belirlenmesi ve buradan hareket edilerek çalışma saatlerinin belirlenmesi için gün içinde en yüksek elektrik satış fiyatlarından (ENYEF) pompaj için tüketilecek elektrik maliyetlerinin kayıplar dahil bedelini (BENDEF) çıkarılarak brüt kara ulaşılmaktadır.

$$\text{Brüt Kar} = \text{ENYEF} - \text{BENDEF} \quad (2)$$

Tablo 3. 12 saatlik en düşük elektrik satış fiyatları (12-hour lowest electricity sales prices).

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1.2021	28.47	28.47	29.5	29.52	29.71	29.72	29.74	30.05	30.65	32.28	32.28	32.28
2.1.2021	31.94	33.43	33.43	34.55	34.91	35.45	36.39	36.39	37.52	38.41	38.41	40.11
3.1.2021	31.94	32.08	33.2	33.39	33.43	35.04	35.66	36.04	36.39	36.39	36.39	38.21
4.1.2021	31.94	31.94	33.43	34.55	34.55	36.39	36.39	36.39	40.43	40.43	41.93	41.98
5.1.2021	31.94	31.94	31.94	31.94	31.94	32.08	36.12	36.29	37.06	38.21	40.43	40.51
6.1.2021	33.56	34.83	34.83	36.68	36.68	36.68	40.76	42.15	42.16	42.17	42.39	42.39
7.1.2021	33.44	33.44	34.7	35.87	36.45	36.45	36.45	36.45	37.15	40.61	41.97	42
8.1.2021	31.92	32.19	32.2	33.29	33.9	34.97	34.97	35.26	39.35	41.01	42.15	42.29
9.1.2021	32.58	32.58	32.72	33.41	33.41	33.55	34.37	34.37	35.06	35.24	35.24	36.16
10.1.2021	27.21	31.84	31.84	31.84	32.25	32.25	32.25	32.38	32.96	32.96	33.34	34.02
11.1.2021	31.84	31.84	31.84	31.84	32.93	34.02	34.7	36.06	38.03	42.05	42.18	42.23
12.1.2021	32.66	33.89	34.02	34.68	34.68	36.6	39.33	40.9	42.05	42.18	42.38	42.4
13.1.2021	32.78	34.24	36.95	39.63	41.51	41.66	41.94	42.38	42.83	43.34	43.6	43.78
14.1.2021	41.97	42.02	42.04	42.17	42.22	42.38	42.49	42.7	42.87	42.94	43.56	43.56
15.1.2021	32.31	32.31	33.66	37.02	41.73	41.73	42.15	42.24	42.49	42.9	42.93	42.94

Saatlik veriler içinde brüt karın negatife döndüğü değerler sıfır kabul edilerek o saatlerde sistemin çalıştırılmayacağı düşünülerek çalışma saatleri (t_c) belirlenmiştir. Çalışma saatleri ile ortalama günlük brüt kar değerleri hesaplanmaktadır.

$$\text{Ortalama Brüt Kar} = \frac{\text{ENYEF} - \text{BENDEF}}{t_c} \quad (3)$$

Tablo 4. 12 saatlik en yüksek elektrik satış fiyatları (12-hour highest electricity sales prices).

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1.2021	44.01	43.66	43.48	43.24	43.04	42.72	42.34	38.82	35.96	32.29	32.29	32.28
2.1.2021	45.02	44.48	44.37	43.83	43.26	43.07	42.76	42.49	42.05	42.04	41.78	40.43
3.1.2021	44.90	44.61	44.27	43.81	43.72	43.36	42.57	42.25	42.06	41.91	41.80	41.56
4.1.2021	44.09	43.64	43.59	43.38	43.17	43.16	42.89	42.74	42.56	42.51	42.46	41.99
5.1.2021	43.77	43.68	43.00	42.89	42.46	42.46	42.45	42.32	42.26	42.18	42.10	41.85
6.1.2021	44.00	43.91	43.69	43.43	43.41	43.31	43.25	43.25	43.22	42.94	42.89	42.77
7.1.2021	43.46	43.33	43.05	43.00	42.82	42.81	42.77	42.51	42.47	42.43	42.40	42.02
8.1.2021	43.73	43.73	43.55	43.44	43.40	42.99	42.92	42.78	42.76	42.63	42.43	42.39
9.1.2021	44.07	43.72	43.62	43.59	43.20	42.81	42.62	42.48	37.12	37.12	37.12	36.99
10.1.2021	44.19	43.91	43.54	43.52	43.02	42.58	42.38	42.25	42.24	42.18	42.05	37.03
11.1.2021	44.14	44.13	43.46	43.41	43.39	43.35	43.21	42.84	42.77	42.73	42.71	42.61
12.1.2021	43.78	43.62	43.41	43.24	43.24	43.17	43.05	43.04	42.95	42.78	42.77	42.59
13.1.2021	46.35	46.11	45.20	45.08	44.82	44.70	44.68	44.52	44.46	44.32	44.19	44.17
14.1.2021	47.75	46.78	45.38	45.04	45.04	44.88	44.87	44.87	44.68	44.62	44.25	44.03
15.1.2021	44.29	44.28	44.00	43.91	43.84	43.79	43.57	43.56	43.56	43.50	43.19	42.95

2021 yılına ait 15 günlük brüt kar ve çalışma saati tablosu Tablo 6'da verilmiştir. Ortalama kar oranı hesaplanırken ortalama brüt kar ile 24 saatlik piyasa elektrik satış fiyatı ortalaması oranlanmıştır.

Çalışma saatleri belirlendikten sonra, çalışılan ENDEF değerleri tablo halinde oluşturularak Tablo 7'de, çalışılan ENYEF değerleri de tablo halinde Tablo 8'de verilmiştir. Şimdiye kadar belirlenen tüm ENDEF ve ENYEF değerleri ile elde edilen brüt karlılık ve çalışma saatlerinin yıllara göre oluşan değerleri Tablo 9'da özet olarak sunulmuştur. Tablo 9'da EPIAŞ'tan elde edilen 01.12.2011 tarihinden 21.02.2021 tarihine kadar olan saatlik elektrik satış fiyatları ile oluşan brüt kar ve çalışma saatleri değerleri verilmiş olsa da 2011 yılından sadece 31 gün ve 2021 yılından da sadece 52 gün için saatlik veriler olduğu için tüm bir yılın ortalamalarını yansıtmayacağı için bu iki yılın değerleri çıkarılarak 2012-2020 yılları arasındaki 9 yılın ortalama değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 5. İVO değeri ile kayıpların bindirildiği en düşük elektrik fiyatları (The lowest electricity prices added the losses with IVO value)

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1.2021	32.72	32.72	33.91	33.93	34.15	34.16	34.18	34.54	35.23	37.10	37.10	37.10
2.1.2021	36.71	38.43	38.43	39.71	40.13	40.75	41.83	41.83	43.13	44.15	44.15	46.10
3.1.2021	36.71	36.87	38.16	38.38	38.43	40.28	40.99	41.43	41.83	41.83	41.83	43.92
4.1.2021	36.71	36.71	38.43	39.71	39.71	41.83	41.83	41.83	46.47	46.47	48.20	48.25
5.1.2021	36.71	36.71	36.71	36.71	36.71	36.87	41.52	41.71	42.60	43.92	46.47	46.56
6.1.2021	38.57	40.03	40.03	42.16	42.16	42.16	46.85	48.45	48.46	48.47	48.72	48.72
7.1.2021	38.44	38.44	39.89	41.23	41.90	41.90	41.90	41.90	42.70	46.68	48.24	48.28
8.1.2021	36.69	37.00	37.01	38.26	38.97	40.20	40.20	40.53	45.23	47.14	48.45	48.61
9.1.2021	37.45	37.45	37.61	38.40	38.40	38.56	39.51	39.51	40.30	40.51	40.51	41.56
10.1.2021	31.28	36.60	36.60	36.60	37.07	37.07	37.07	37.22	37.89	37.89	38.32	39.10
11.1.2021	36.60	36.60	36.60	36.60	37.85	39.10	39.89	41.45	43.71	48.33	48.48	48.54
12.1.2021	37.54	38.95	39.10	39.86	39.86	42.07	45.21	47.01	48.33	48.48	48.71	48.74
13.1.2021	37.68	39.36	42.47	45.55	47.71	47.89	48.21	48.71	49.23	49.82	50.11	50.32
14.1.2021	48.24	48.30	48.32	48.47	48.53	48.71	48.84	49.08	49.28	49.36	50.07	50.07
15.1.2021	37.14	37.14	38.69	42.55	47.97	47.97	48.45	48.55	48.84	49.31	49.34	49.36

Tablo 6. Günlük brüt kar analizi ve çalışma saati (Daily gross profitability analysis and operation times).

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Çalışma Saati	Ortalama Brüt Kar	Toplam Brüt Kar	Ortalama Kar Oranı
1.1.2021	11.29	10.94	9.57	9.31	8.89	8.56	8.16	4.28	0.73	0.00	0.00	0.00	9	7.97	71.72	22.85%
2.1.2021	8.31	6.05	5.94	4.12	3.13	2.32	0.93	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	8	3.93	31.48	9.98%
3.1.2021	8.19	7.74	6.11	5.43	5.29	3.08	1.58	0.82	0.23	0.08	0.00	0.00	10	3.86	38.56	9.90%
4.1.2021	7.38	6.93	5.16	3.67	3.46	1.33	1.06	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	8	3.74	29.90	9.38%
5.1.2021	7.06	6.97	6.29	6.18	5.75	5.59	0.93	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	8	4.92	39.36	12.67%
6.1.2021	5.43	3.88	3.66	1.27	1.25	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6	2.77	16.62	6.75%
7.1.2021	5.02	4.89	3.16	1.77	0.92	0.91	0.87	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	8	2.27	18.18	5.69%
8.1.2021	7.04	6.73	6.54	5.18	4.43	2.79	2.72	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	8	4.71	37.69	11.90%
9.1.2021	6.62	6.27	6.01	5.19	4.80	4.25	3.11	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00	8	4.90	39.22	13.03%
10.1.2021	12.91	7.31	6.94	6.92	5.95	5.51	5.31	5.03	4.35	4.29	3.73	0.00	11	6.21	68.27	16.66%
11.1.2021	7.54	7.53	6.86	6.81	5.54	4.25	3.32	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	8	5.41	43.25	13.68%
12.1.2021	6.24	4.67	4.31	3.38	3.38	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6	3.84	23.07	9.48%
13.1.2021	8.67	6.75	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3	6.05	18.15	14.19%
14.1.2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00%
15.1.2021	7.15	7.14	5.31	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4	5.24	20.96	12.59%

Tablo 7. Çalışılan en düşük elektrik satış fiyatları (Lowest electricity price on operation), ENDEF.

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
1.1.2021	28.47	28.47	29.5	29.52	29.71	29.72	29.74	30.05	30.65	0	0	0	265.83
2.1.2021	31.94	33.43	33.43	34.55	34.91	35.45	36.39	36.39	0	0	0	0	276.49
3.1.2021	31.94	32.08	33.2	33.39	33.43	35.04	35.66	36.04	36.39	36.39	0	0	343.56
4.1.2021	31.94	31.94	33.43	34.55	34.55	36.39	36.39	36.39	0	0	0	0	275.58
5.1.2021	31.94	31.94	31.94	31.94	31.94	32.08	36.12	36.29	0	0	0	0	264.19
6.1.2021	33.56	34.83	34.83	36.68	36.68	36.68	0	0	0	0	0	0	213.26
7.1.2021	33.44	33.44	34.7	35.87	36.45	36.45	36.45	36.45	0	0	0	0	283.25
8.1.2021	31.92	32.19	32.2	33.29	33.9	34.97	34.97	35.26	0	0	0	0	268.7
9.1.2021	32.58	32.58	32.72	33.41	33.41	33.55	34.37	34.37	0	0	0	0	266.99
10.1.2021	27.21	31.84	31.84	31.84	32.25	32.25	32.25	32.38	32.96	32.96	33.34	0	351.12
11.1.2021	31.84	31.84	31.84	31.84	32.93	34.02	34.7	36.06	0	0	0	0	265.07
12.1.2021	32.66	33.89	34.02	34.68	34.68	36.6	0	0	0	0	0	0	206.53
13.1.2021	32.78	34.24	36.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103.97
14.1.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.1.2021	32.31	32.31	33.66	37.02	0	0	0	0	0	0	0	0	135.3

Tablo 8. Çalışılan en yüksek elektrik satış fiyatları (Highest electricity price on operation), ENYEF.

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
1.1.2021	44.01	43.66	43.48	43.24	43.04	42.72	42.34	38.82	35.96	0.00	0.00	0.00	377.27
2.1.2021	45.02	44.48	44.37	43.83	43.26	43.07	42.76	42.49	0.00	0.00	0.00	0.00	349.28
3.1.2021	44.90	44.61	44.27	43.81	43.72	43.36	42.57	42.25	42.06	41.91	0.00	0.00	433.46
4.1.2021	44.09	43.64	43.59	43.38	43.17	43.16	42.89	42.74	0.00	0.00	0.00	0.00	346.66
5.1.2021	43.77	43.68	43.00	42.89	42.46	42.46	42.45	42.32	0.00	0.00	0.00	0.00	343.03
6.1.2021	44.00	43.91	43.69	43.43	43.41	43.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	261.75
7.1.2021	43.46	43.33	43.05	43.00	42.82	42.81	42.77	42.51	0.00	0.00	0.00	0.00	343.75
8.1.2021	43.73	43.73	43.55	43.44	43.40	42.99	42.92	42.78	0.00	0.00	0.00	0.00	346.54
9.1.2021	44.07	43.72	43.62	43.59	43.20	42.81	42.62	42.48	0.00	0.00	0.00	0.00	346.11
10.1.2021	44.19	43.91	43.54	43.52	43.02	42.58	42.38	42.25	42.24	42.18	42.05	0.00	471.86
11.1.2021	44.14	44.13	43.46	43.41	43.39	43.35	43.21	42.84	0.00	0.00	0.00	0.00	347.93
12.1.2021	43.78	43.62	43.41	43.24	43.24	43.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	260.46
13.1.2021	46.35	46.11	45.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	137.66
14.1.2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15.1.2021	44.29	44.28	44.00	43.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	176.48

Tablo 9. Yıllara göre karlılık analizi ve çalışma saati (Profitability analysis and operation hours by years), (2011-2021).

YIL	ORTALAMA ELEKTRİK FİYATI (USD)	ORTALAMA ÇALIŞMA SAATI	ORTALAMA BRÜT KAR (USD)	ORTALAMA KAR ORANI (%)
2011	80.75	7.16	15.94	20.06%
2012	83.49	7.27	27.74	32.98%
2013	78.86	8.16	25.66	34.05%
2014	75.07	7.77	17.33	23.18%
2015	51.05	8.36	20.94	45.15%
2016	46.30	9.17	25.32	59.19%
2017	45.00	8.51	12.76	28.98%
2018	47.42	6.36	10.13	22.29%
2019	46.03	6.25	15.95	44.92%
2020	40.11	6.43	10.54	32.87%
2021	40.22	6.27	5.00	12.74%
ORTALAMA	57.66	7.43	17.03	32.40%

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda ve optimizasyonlarda esas alınacak olan bu tabloya bakıldığında, IVO değeri %87 olarak alınması koşuluna göre;

- Ortalama elektrik satış fiyatı 57,04 USD/MWH (0,05704 USD/KWH),
- PDHES sistemlerinin en uygun çalışma süresi ortalama 7,59 saat,
- Ortalama brüt kar saatlik 18,43 USD/MWH (0,01843 USD/KWH),
- Ortalama brüt kar oranı %35,96,

olarak analiz edilmiştir.

Günlük çalışma saati, yıl içinde mevsimlere, özel günlere, aylara göre farklılık gösterse de, yıl ortalaması hesaplanan değer olacaktır. PDHES'lerde ülkenin elektrik fiyatlarının gün içindeki farklarından yararlanılarak günlük üretim ve tüketim yapıldığı için günlük efektif çalışma saatinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Tablo 10. Yıllara göre karlılık analizi ve çalışma saati, (Profitability analysis and operation hours by years) (2012-2020).

YIL	ORTALAMA ELEKTRİK FİYATI (USD)	ORTALAMA ÇALIŞMA SAATI	ORTALAMA BRÜT KAR (USD)	ORTALAMA KAR ORANI (%)
2012	83.49	7.27	27.74	32.98%
2013	78.86	8.16	25.66	34.05%
2014	75.07	7.77	17.33	23.18%
2015	51.05	8.36	20.94	45.15%
2016	46.30	9.17	25.32	59.19%
2017	45.00	8.51	12.76	28.98%
2018	47.42	6.36	10.13	22.29%
2019	46.03	6.25	15.95	44.92%
2020	40.11	6.43	10.54	32.87%
ORTALAMA	57.04	7.59	18.49	35.96%

İVO değerinin %70 seçilerek azalması durumunda Tablo 11'de gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

Tablo 11. IVO= %70 değeri için yıllara göre karlılık analizi ve çalışma saati (Profitability analysis and operation hours by years for IVO=%70), (2012-2020).

YIL	ORTALAMA ELEKTRİK FİYATI (USD)	ORTALAMA ÇALIŞMA SAATI	ORTALAMA BRÜT KAR (USD)	ORTALAMA KAR ORANI (%)
2012	83.49	3.92	29.75	35.37%
2013	78.86	4.70	22.69	30.76%
2014	75.07	3.93	11.16	14.92%
2015	51.05	5.27	21.56	47.43%
2016	46.30	6.63	25.33	60.17%
2017	45.00	4.82	9.77	22.69%
2018	47.42	2.52	10.13	22.48%
2019	46.03	4.30	17.33	50.95%
2020	40.11	3.16	9.47	33.08%
ORTALAMA	57.04	4.36	17.47	35.32%

İVO değerinin azalması durumunda, günlük ortalama çalışma saatinin azaldığı görülmektedir. Bununla beraber, ortalama brüt kar miktarının da azalmasına neden olmaktadır.

İVO değerinin %95 seçilerek artması durumunda Tablo 12’de gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

Tablo 12. İVO= %95 değeri için yıllara göre karlılık analizi ve çalışma saati (Profitability analysis and operation hours by years for İVO=%95), (2012-2020).

YIL	ORTALAMA ELEKTRİK FİYATI (USD)	ORTALAMA ÇALIŞMA SAATİ	ORTALAMA BRÜT KAR (USD)	ORTALAMA KAR ORANI (%)
2012	83.49	9.51	27.62	32.85%
2013	78.86	9.89	26.65	35.17%
2014	75.07	9.86	19.11	25.67%
2015	51.05	10.13	20.88	44.61%
2016	46.30	10.56	24.65	57.18%
2017	45.00	10.30	13.73	30.95%
2018	47.42	9.10	10.36	22.87%
2019	46.03	8.13	14.82	41.48%
2020	40.11	8.39	10.93	33.64%
ORTALAMA	57.04	9.54	18.75	36.05%

İVO değerinin artması durumunda, günlük ortalama çalışma saatinin de arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, ortalama brüt kar miktarının artışı çok olmasa da, çalışma saatindeki artıştan dolayı brüt kar miktarının oldukça arttığı görülmektedir.

3.3. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

EPİAŞ’a ait elektrik fiyat verileri ele alınarak değerlendirilmesi sonucu elde edilen verilerin analizi sonucu elde edilen çalışma saatleri ve kar oranları esas alınarak PDHES sistemindeki pompaj sırasındaki tüketimler ile türbinleme sırasındaki elektrik üretimleri Göreceli Karlılık Analizi Yaklaşımı (GÖKAY) ile analize edilecektir. Bu analizi yaparken PDHES’in çalışma saatlerindeki ENDEF ve ENYEF değerleri o güne ait günlük ortalama elektrik satış fiyatı ile oranlanarak her bir saate karşılık gelen yüzde olarak oransal değerler oluşturulmaktadır. Oransal yaklaşım kullanılması ile her hangi bir para birimi kullanıldığında uzun yıllara bağlı değerler olduğu için yanıltıcı sonuçlar vermesinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Veri analizlerinde çalışma saatlerine karşılık gelen ENDEF değerlerinin EPİAŞ’ın ham verilerindeki o güne ait ortalama elektrik satış fiyatı (PTF) ile oranlanmasıyla bulunan oransal değerler PDHES’in pompaj sırasında tüketilecek elektrik maliyeti olarak belirlenerek Tablo 13’te verilmektedir.

$$\text{Pompaj Tüketimi (\%)} = \frac{\text{ENDEF}}{\text{PTF}} \quad (4)$$

Tablo 13. Elektrik tüketimindeki oransal değerler (Proportional values of electricity consumption).

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Çalışma Süresi (saat)	Ort.	Toplam Değer (%-saat)
1.1.2021	82%	82%	85%	85%	85%	85%	85%	86%	88%				9	85%	762%
2.1.2021	81%	85%	85%	88%	89%	90%	92%	92%					8	88%	701%
3.1.2021	82%	82%	85%	86%	86%	90%	92%	93%	93%	93%			10	88%	882%
4.1.2021	80%	80%	84%	87%	87%	91%	91%	91%					8	86%	691%
5.1.2021	82%	82%	82%	82%	82%	83%	93%	93%					8	85%	680%
6.1.2021	82%	85%	85%	89%	89%	89%							6	87%	519%
7.1.2021	84%	84%	87%	90%	91%	91%	91%	91%					8	89%	710%
8.1.2021	81%	81%	81%	84%	86%	88%	88%	89%					8	85%	679%
9.1.2021	87%	87%	87%	89%	89%	89%	91%	91%					8	89%	709%
10.1.2021	73%	85%	85%	85%	87%	87%	87%	87%	88%	88%	90%		11	86%	943%
11.1.2021	81%	81%	81%	81%	83%	86%	88%	91%					8	84%	671%
12.1.2021	81%	84%	84%	86%	86%	90%							6	85%	509%
13.1.2021	77%	80%	87%										3	81%	244%
14.1.2021													0	0%	0%
15.1.2021	78%	78%	81%	89%									4	81%	325%

GÖKAY'da kullanılacak olan ENYEF değerlerinin o günün ortalama PTF fiyatıyla oranlanması ile PDHES sisteminde türbinlenen sudan üretilen elektrik için elektrik satış fiyatı oransal değerleri Tablo 14'te verilmektedir.

$$\text{Türbin Satış Fiyatı (\%)} = \frac{\text{ENYEF}}{\text{PTF}} \quad (5)$$

Tablo 14. Elektrik üretimindeki oransal değerler (Proportional values of electricity production).

Tarih	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Çalışma Süresi (saat)	Ortalama	Toplam Değer (%-saat)
1.1.2021	126%	125%	125%	124%	123%	123%	121%	111%	103%				9	120.2%	1082%
2.1.2021	114%	113%	113%	111%	110%	109%	108%	108%					8	110.7%	886%
3.1.2021	115%	115%	114%	112%	112%	111%	109%	108%	108%	108%			10	111.3%	1113%
4.1.2021	111%	109%	109%	109%	108%	108%	108%	107%					8	108.7%	870%
5.1.2021	113%	113%	111%	110%	109%	109%	109%	109%					8	110.4%	884%
6.1.2021	107%	107%	106%	106%	106%	105%							6	106.3%	638%
7.1.2021	109%	109%	108%	108%	107%	107%	107%	106%					8	107.6%	861%
8.1.2021	110%	110%	110%	110%	110%	109%	108%	108%					8	109.4%	875%
9.1.2021	117%	116%	116%	116%	115%	114%	113%	113%					8	115.0%	920%
10.1.2021	119%	118%	117%	117%	115%	114%	114%	113%	113%	113%	113%		11	115.2%	1267%
11.1.2021	112%	112%	110%	110%	110%	110%	109%	108%					8	110.1%	881%
12.1.2021	108%	108%	107%	107%	107%	106%							6	107.0%	642%
13.1.2021	109%	108%	106%										3	107.6%	323%
14.1.2021													0	0.0%	0%
15.1.2021	106%	106%	106%	106%									4	106.0%	424%

ENDEF ile oluşan ortalama değerlerin günlük çalışma saati ile çarpılmasıyla günlük toplam elektrik değerlerine ulaşılır. Günlük toplam elektrik değerlerinin tüm yıl boyunca toplanacak, yıl içindeki toplam çalışma saatine oranlanmasıyla da Normalize Edilmiş Pompaj Maliyeti (NEPM) değerlerine ulaşılmaktadır.

$$\text{NEPM} = \frac{t\check{\varsigma} \cdot \sum_{t\check{\varsigma}=1}^{12} \text{Ort}\left(\frac{\text{ENDEF}}{\text{PTF}}\right)}{\sum_{t=1}^{365} t\check{\varsigma}} \quad (6)$$

Tablo 15'te verilen NEPM değerlerinin İVO değeri ile artırılmasıyla verimden kaynaklanan maliyetler de toplam maliyete bindirilerek Normalize Edilmiş Düşü Maliyet (NEDM) değerlerine ulaşılmaktadır.

$$\text{NEDM} = \frac{\text{NEPM}}{\text{İVO}} \quad (7)$$

Tablo 15. Yıllara göre elektrik tüketim oransal değerleri (%) (Electricity consumption proportional by years (%)).

YIL	NEPM	NEDM
2011	80.53%	92.57%
2012	73.02%	83.93%
2013	74.66%	85.82%
2014	80.45%	92.47%
2015	69.12%	79.45%
2016	63.48%	72.97%
2017	78.46%	90.18%
2018	79.07%	90.88%
2019	62.52%	71.86%
2020	71.46%	82.13%
2021	85.14%	97.87%
ORT. (2012-2020)	72.47%	83.30%

Tablo 15'te elde edilen ve Denklem-7'da belirtilen NEDM değeri PDHES projelerinin optimizasyonu ve ekonomik analiz çalışmalarında pompaj yapılan sürede harcanan elektrik fiyatının belirlenmesinde kullanılacak değeri vermektedir. Bu değer verimden kaynaklanan kayıpları da kapsamaktadır.

ENYEF ile oluşan ortalama değerlerin günlük çalışma saati ile çarpılmasıyla günlük toplam elektrik değerlerine ulaşılır. Günlük toplam elektrik değerlerinin tüm yıl boyunca toplanacak, yıl içindeki toplam çalışma saatine oranlanmasıyla da Normalize Edilmiş Düşü Satış Fiyatı (NEDSF) değerlerine ulaşılmaktadır.

$$NEDSF = \frac{t\check{c} \cdot \sum_{t\check{c}=1}^{12} Ort\left(\frac{ENYEF}{PTF}\right)}{\sum_{t=1}^{365} t\check{c}} \quad (8)$$

Tablo 16. Yıllara göre elektrik üretim oransal değerleri (%) (Electricity production proportional by years (%)).

YIL	A-NEDSF
2011	112.8%
2012	119.7%
2013	120.7%
2014	116.5%
2015	126.7%
2016	133.1%
2017	119.5%
2018	114.9%
2019	131.6%
2020	124.7%
2021	111.4%
ORT. (2012-2020)	123.03%

PDHES'in suyu türbinleme sırasındaki elektrik üretiminin piyasa koşullarında satışında kullanılacak NEDSF değerlerinin yıllara göre değerleri Tablo 16'da verilmektedir.

Tablo 16'da elde edilen ve Denklem-8'de belirtilen NEDSF değeri PDHES projelerinin optimizasyonu ve ekonomik analiz çalışmalarında türbinlenen sudan üretilen elektrik fiyatının belirlenmesinde kullanılacak değeri vermektedir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Göreceli Karlılık Analizi Yaklaşımı (GÖKAY) ile ele alınan EPİAŞ'ın elektrik satış fiyatları değerlendirildiğinde PDHES'in çalışabileceği en uygun çalışma sürelerine ulaşılabilir. Buradaki önemli konulardan biri de, veri seti değişse dahi çalışma ortaya konulan yaklaşımın doğru sonuçlar vereceğidir. Ülkemizin elektrik satış verileri ele alınarak çalışmalar yapıldığı gibi, aynı yaklaşım ile her hangi başka bir ülkenin elektrik satış fiyatları da analiz edilebilecektir.

İVO değerlerine göre, NEDM, NEDSF, karlılık oranları, çalışma süreleri ve 12 saatlik süre ile normalize edilmiş karlılık oranı (NKO) değerleri Tablo 17'de verilmiştir.

EPİAŞ'ın verilerini gün içindeki saatlik en düşük ve en yüksek elektrik satış fiyatları belirlendikten sonra bu değerlerin o günün ortalama elektrik fiyatları ile oranlanarak yüzde değerleri elde edilmiştir. Analizlerde fiyatların yüzde değerlerinin kullanılması her hangi bir para birimine bağlı kalınmadan analiz edilmesini, verilerin uzun yıllara ait olduğu için kur değişimleri ve ekonomik kriterlerdeki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin ve risklerinin ortadan kaldırılmasını sağlamıştır.

GÖKAY ile çalışmaların yürütülmesindeki en önemli parametrelerden birinin de İç Verim Oranı (İVO) değeri olduğu ortaya çıkmaktadır. İVO değerinin seçilmesine bağlı olarak karlılık oranı ve çalışma saatleri değişiklik göstermektedir.

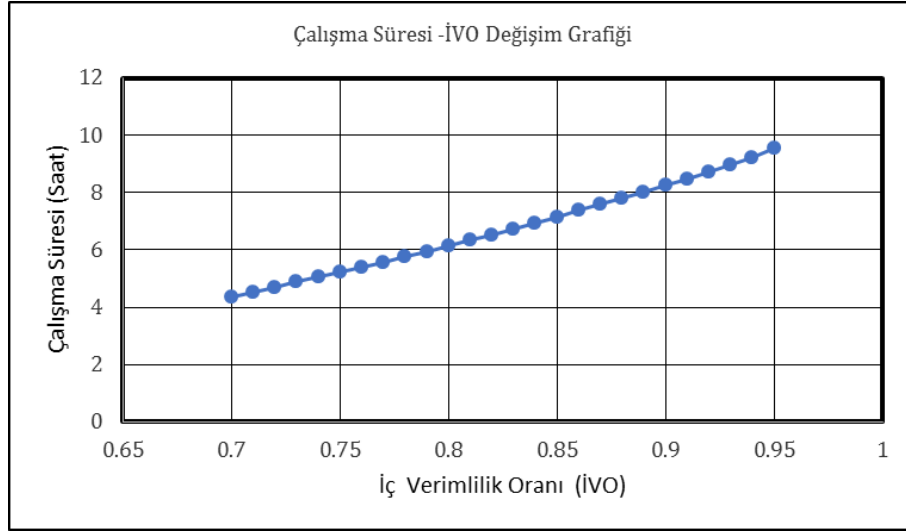
İVO değeri, PDHES sistemi içerisinde oluşabilecek hidrolik kayıplar, sızıntı, buharlaşma, kaçak nedeniyle oluşacak su miktarındaki kayıplar, türbin, pompa, generatör ve trafo verim kayıpları için belirlenmiştir. Bu değer seçilirken, PDHES'in bulunduğu topografya, kullanılan teknoloji, iklim ve su kaynakları rejimine göre GÖKAY'dan faydalanmak isteyen kullanıcı kendi şartlarına göre seçim yapabilecektir. Çalışmada İVO değeri için en yüksek %95 ve en düşük %70 oranları için de sonuçlar Tablo 11 ve Tablo 12 'de verilmiştir. En yüksek ve en düşük değerler PDHES'ler için olabilecek sınır değerleri ifade etmektedir. Çalışmalarda %87 değerinin esas alınmasının en temel nedeni, PDHES tesislerinde ortalama olarak kabul edilebilecek bir değer olmasından dolayıdır. İVO değerinin seçimi, çalışmanın genel işleyişini değiştirmemekle birlikte, sonuç değerlerini etkilemektedir. Kullanıcıların seçimine göre, tesise özgün sonuç verebilecektir.

Tablo 17. İVO değerine göre karlılık oranı ve çalışma süresi (Profitability rate and operations time according to IVO values).

İVO	NEDM	NEDSF	KARLILIK ORANI	ÇALIŞMA SÜRESİ (SAAT)	NKO
0.70	86.41%	129.64%	43.23%	4.36	15.72%
0.71	86.30%	129.18%	42.88%	4.53	16.18%
0.72	86.16%	128.74%	42.58%	4.70	16.68%
0.73	86.06%	128.29%	42.23%	4.88	17.18%
0.74	85.89%	127.88%	41.99%	5.06	17.69%
0.75	85.75%	127.47%	41.72%	5.24	18.23%
0.76	85.45%	127.14%	41.69%	5.40	18.76%
0.77	85.24%	126.79%	41.55%	5.58	19.31%
0.78	85.03%	126.41%	41.38%	5.75	19.84%
0.79	84.88%	126.01%	41.13%	5.95	20.41%
0.80	84.66%	125.64%	40.98%	6.14	20.97%
0.81	84.45%	125.26%	40.81%	6.34	21.56%
0.82	84.21%	124.90%	40.69%	6.52	22.11%
0.83	84.08%	124.51%	40.43%	6.74	22.70%
0.84	83.92%	124.11%	40.19%	6.95	23.28%
0.85	83.68%	123.77%	40.09%	7.15	23.89%
0.86	83.51%	123.38%	39.87%	7.38	24.51%
0.87	83.30%	123.03%	39.73%	7.59	25.12%
0.88	83.09%	122.69%	39.60%	7.81	25.77%
0.89	82.86%	122.35%	39.50%	8.02	26.41%
0.90	82.65%	122.00%	39.35%	8.25	27.05%
0.91	82.44%	121.65%	39.21%	8.48	27.71%
0.92	82.21%	121.30%	39.09%	8.71	28.38%
0.93	82.02%	120.92%	38.90%	8.96	29.04%
0.94	81.89%	120.52%	38.63%	9.23	29.70%
0.95	81.87%	120.07%	38.19%	9.54	30.36%

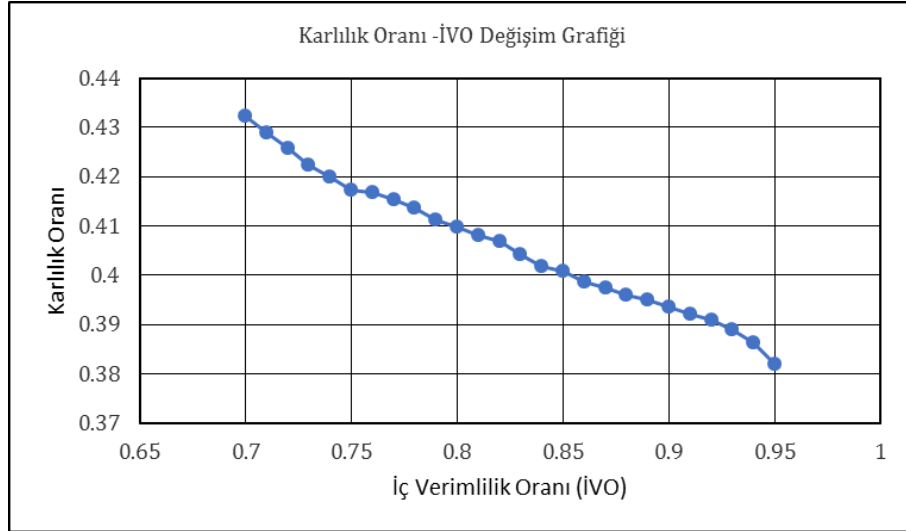
Çalışma sonucunda elektrik satış fiyatlarının kullanılacak oranlar olan A-NEDM ve A-NEDSF değerleri arasındaki farklar %35-%45 arasında değişmekle birlikte, bu değer sistemin çalışma süresi içerisindeki ortalama karlılık oranını ifade etmektedir.

İVO değerlerine göre değişkenlik gösterse de, PDHES'lerin üretim ve tüketim arasındaki farklardan kar elde ederek rantabil projeler haline gelebilmesi ve PDHES'lerin optimizasyon çalışmalarında esas alınması için ortaya konulan çalışma sürelerinin 4-9 saat arasında değiştiği Şekil 3'te görülmektedir.

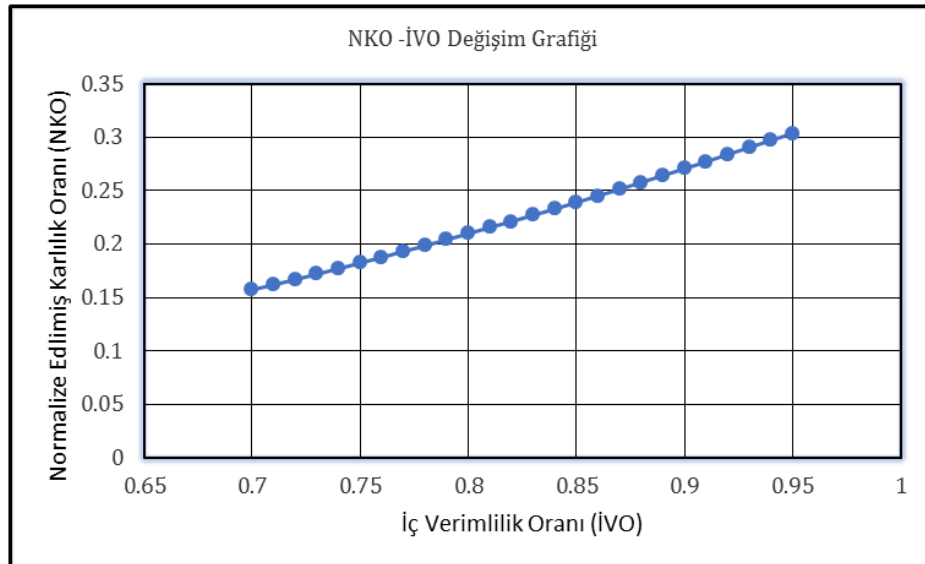


Şekil 3. İVO değerine göre çalışma süresinin değişimi (Change of operation time according to İVO).

Şekil 4'te İVO değerinin artışına göre karlılık oranının azaldığı görülse de çalışma saatlerindeki artış ile NKO değerlerinin İVO değeri artışı ile arttığı görülmektedir. Bu durum Şekil 5'teki grafikte verilmektedir.



Şekil 4. İVO değerine göre karlılık oranı değişimi (Change of profitability rate according to İVO).



Şekil 5. İVO değerine göre NKO değerinin değişimi (Change of NKO value according to İVO).

Makalede, 2011 ile 2021 yılları arasında 3371 günün 24 saatine ait tüm veriler ele alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmaların yıllara ait özet tabloları makale içerisinde sunulmuş olup, günlük ve saatlik veri setleri ve veri analizleri tüm yıllar alındığında çok uzun olacağı için bilgi amaçlı olarak ekler bölümünde sadece 2021 yılına ait 52 günlük veri setleri ve analiz sayfaları verilmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Göreceli Karlılık Analizi Yaklaşımı (GÖKAY) ile ortaya konulan çalışmanın tüm seçimlere cevap verebilen, tüm veri setlerine göre uyumlu olarak doğru sonuç alınabilen kullanımı kolay, optimizasyon ve finansal çalışmalara kaynaklık edebilecek olması amaçlanmış olup, elde edilen sonuçlarla da bu başarıyı sağladığı görülmektedir.

GÖKAY ile PDHES'lerin optimizasyonu ve çalışma süreleri için bir analiz ve yaklaşım söz konusu olduğu gibi aynı zamanda EPİAŞ üzerinde elektrik ticareti yapan tüm enerji üretim tesisi kullanıcıları için de gün içindeki karlılıklar ile gün içi piyasasında (GİP) elektrik alış ve satış işlemlerinde EPİAŞ kullanıcılarına yol gösterici olacak niteliktedir. EPİAŞ'ta gün içinde elektrik ticareti işlemi gören tüm enerji üretim tesisleri GÖKAY'dan elde edeceği analiz ve çalışma süreleri ile elektrik alış ve satışına karar verebileceği gibi portföyündeki elektrik üretiminin maksimum kazanç elde etmesini de sağlayabilecektir.

Sonuç olarak, ülkemizin geçmiş yıllara ait saatlik elektrik fiyatlarının belirlenmesine geçtiği tarihten itibaren oluşan saatlik elektrik satış fiyatlarının GÖKAY ile değerlendirildiğinde, PDHES'lerin gün içindeki elektrik alış ve satışından önemli ölçüde karlılık elde edebileceği ortaya konulmuştur. Bu karlılığı daha üst seviyelere çekebilmek için iç verimlilik oranı (İVO) değerine etki eden teknolojilerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, doğru optimizasyon çalışmaları ve mühendislik hizmetleri ile en uygun proje sahalarının seçilmesi neticesinde karlılık oranı yüksek PDHES'lerin tesis edilerek ülke enerji sektörüne kazandırılmasının faydalı olacağı 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)

- Anagnostopoulos, J. S., Papantonis, D. E. 2012. Study of Pumped Storage Schemes to Support High RES Penetration In The Electric Power System of Greece. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.031>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Ayder, E. 2015. Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (Rapor No.01). İstanbul : İTÜ Makina Fakültesi.
- Brown, P. D., Lopes, J. A. P., Matos, M. A. 2008. Optimization of Pumped Storage Capacity In An Isolated Power System With Large Renewable Penetration, IEEE Transactions on Power Systems, 23 (2), 523-531.
- Carton, J. G., Olabi, A. G. 2010. Wind/Hydrogen Hybrid Systems: Opportunity for Ireland's Wind Resource to Provide Consistent Sustainable Energy Supply. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.010>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- De Boer, H. S., Grond, L., Moll, H., Benders, R. 2014. The Application of Power-to-Gas, Pumped Hydro Storage And Compressed Air Energy Storage In an Electricity System at Different Wind Power Penetration Levels. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.047>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Dursun, B. 2010. Türkiye'de hazneli pompalı rüzgar-hidro santrallerinin uygulanabilirliğinin belirlenmesi Kocaeli Üniversitesi, "Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 120s, Kocaeli.
- EPİAŞ, 2021. <https://www.epias.com.tr/> (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- ESA, 2021. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/pumped-hydropower>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Gürel, B. Sert M. 2020. Türkiye'deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açidan Ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 407-416.
- Johnson, J. X., De Kleine, R., Keoleian, G. A. 2014. Assessment of Energy Storage for Transmission – Constrained Wind. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.006>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Kocaman, A. S. 2019. Pompaj depolamalı hibrid enerji sistemi optimizasyonu – Türkiye için vaka analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34 (1), 53-68.
- Mert, M. S., Sert M., Mert H. H. 2018. Isıl Enerji Depolamalı Sistemleri için Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(1), 161-174.
- Papaefthymiou, S. V., Papathanassiou, S. A. 2014. Optimum Sizing of Wind-Pumped-Storage Hybrid Power Stations in Island Systems. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.047>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Sertkaya, A. A., Saraç, M., Omar, M. A. 2015. Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinin Türkiye için önemi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1/3, 369-382.
- Sivakumar, N., Das, D., Padhy, N. P. 2014. Economic Analysis of Indian Pumped Storage Schemes. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.010>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Sousa, J. A. M., Teixeira, F., Faias, S. 2014. Impact Of A Price-Maker Pumped Storage Hydro Unit On The Integration Of Wind Energy In Power Systems. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.039>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).

- Tuohy, A., O'Malley, M. 2011. Pumped Storage In Systems With Very High Wind Penetration. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.026>. (Erişim Tarihi: 28.04.2021).
- Ünver, Ü., Bilgin, H., Güven, A. 2015. Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemleri. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 57-64.



A RESEARCH ON THE DETECTION OF FAKE BUTTER BY TRADITIONAL AND MODERN METHODS

Jale NAKTİYOK¹, Tuba Hatice DOĞAN^{2*}

¹ Atatürk University, Department of Chemical Engineering, 25240, Erzurum, Turkey

² Atatürk University, Department of Chemical Engineering, 25240, Erzurum, Turkey

Keywords

Butter, Margarine, Iodine And Saponification Index, Reichert-Meissl Number, GC, DSC, FTIR Analysis.

Abstract

Butter is a high-cost oil, so it is sometimes sold by mixing margarine being a cheaper oil by manufacturers. Fake butter has negative effects on both the health of consumers and the economy. In our study, some traditional and modern methods were applied for the detection of fake butter. Three samples consisting of pure butter (PB), pure margarine (PM), and half-mixed butter-margarine (BM) mixture were examined. The physical and chemical properties of these samples by both traditional methods such as iodine index, saponification index, Reichert-Meissell (RM) number, and modern methods such as GC, DSC and FTIR methods have been examined. The results showed that it can be used in both methods to detect fake butter. However, modern methods attract more attention because they are faster, reliable, and repeatable.

SAHTE TEREYAĞININ GELENEKSEL VE MODERN YÖNTEMLERLE SAPTANMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Anahtar Kelimeler

Tereyağı, Margarin, İyot Ve Sabunlaşma İndeksi, Reichert-Meissl Sayısı, GC, DSC, FTIR Analizleri.

Öz

Tereyağı yüksek maliyetli bir yağ olduğu için, bazen üreticiler tarafından daha ucuz bir yağ olan margarin ile karıştırılarak satılmaktadır. Sahte tereyağı, hem tüketicilerin sağlığı hem de ekonomi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Çalışmamızda sahte tereyağının tespiti için bazı geleneksel ve modern yöntemler uygulanmıştır. Saf tereyağı (ST), saf margarin (SM) ve yarı yarıya karıştırılmış tereyağı-margarin (TM) karışımından oluşan üç numune incelenmiştir. Bu numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, iyot indeksi, sabunlaşma indeksi, Reichert-Meissell (RM) sayısı gibi hem geleneksel yöntemlerle hem de GC, DSC ve FTIR gibi modern yöntemlerle incelenmiştir. Sonuçlar, sahte tereyağını tespit etmek için her iki yöntemde kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, modern yöntemler, daha hızlı, güvenilir ve tekrarlanabilir oldukları için daha fazla ilgi çekmektedir.

Alıntı / Cite

Naktiyok, J., Doğan, TH., (2021). A Research on the Detection of Fake Butter by Traditional and Modern Methods, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(2), 453-462.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

J. Naktiyok, 0000-0002-6316-4112
T.H. Doğan, 0000-0001-8369-9416

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.09.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.04.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

Dairy oils form the raw material of butter, which is a form of animal fat. Dairy oils contain vital fatty acids and fat-soluble vitamins. They are easily digestible and can melt at body temperature. All these properties of milk fats also

* İlgili yazar / Corresponding author: hatice@atauni.edu.tr, +90-537-655-2394

increase the nutritional value of butter, which contains a high content of milk fat (about 82%) (Gosewade et al., 2017). In addition to the high amount of milk fat and water in its composition, butter also contains phospholipids, hydrocarbons, sterols and sterol esters, complex glyceride oils, free fatty acids, fat-soluble vitamins, and minerals (Kumar et al., 2016). Butter, which has a superior aroma and taste, is a high-calorie dairy product. It is a concentrated source of milk fat and is produced by the churning of milk or cream (Hamed et al., 2019).

Dairy oils are the most economically valuable dairy product. However, using only milk fats as raw materials during the production of butter causes the cost of the oil to be high. Therefore, in order to reduce the high cost of butter, manufacturers sometimes attempt fraudulent works, such as mixing butter with cheaper animal or vegetable oils. In particular, margarine, which has a butter-like composition, is quite common to use for producing fake butter (ROTAR, 2017). Margarine is a food product produced by hydrogenation of vegetable oils and it contains minimum 80% oil in its composition. It also contains emulsifiers, vitamins, flavors, and preservatives (Wiedermann, 1978).

It is very important to detect fraudulent products in butter. Because fake butter can have negative effects on human health, dairy industry, and economy. Since margarine has similar properties with butter in terms of color, smell, and flavor, it is very difficult to detect fraudulent butter only with sensory tests (Altun & Paksoy). Therefore, it has been used in modern methods such as GC, ATR-MIR spectroscopy, DSC and FTIR as well as traditional methods such as RM, iodine, saponification and Polenske numbers (Fatouh et al., 2005; Koca et al., 2010; REXHEPI et al.; TAHMAS KAHYAOĞLU & ÇAKMAKÇI, 2016; Tan & Che Man, 2000; Tan & Man, 2002; Yoshinaga et al., 2013).

Reichert-Meissell (RM), iodine and saponification numbers are important chemical characteristics used in identifying the types of oils/fats and controlling their purity. The Reichert-Meissell (RM) number is a simple, fast, and inexpensive method. It shows the amount of low molecular weight fatty acids (butyric C4: 0, caproic C6: 0, caprylic C8: 0 and a small amount of capric C10: 0 acids) that are characteristic of milk fats (Deelstra et al., 2014). The RM number in the range of 17-35 indicates that the butter is pure (Metin, 2001).

The iodine number is a parameter that gives information about the degree of saturation and unsaturation of the oil. It shows the amount of iodine that 100 g oil can bind. The number of double bonds in the oil can be determined by using the iodine number (ROTAR, 2017). The iodine number is expected to be in the range of 20.4-34.6 for pure butter (Murthy & Bhat, 1976).

Saponification number is the amount of KOH (as mg) required for soaping of 1 g oil. It is widely used in determining the purity of oils/fats and fatty acids. The average molecular weight of oil can be found using the saponification number (ROTAR, 2017). The saponification number in the range of 210-233 indicates that the butter is pure (Hamed et al., 2019).

Quantitative analysis of the fatty acids in the oil is carried out in the analyzes made for the detection of fake butter using gas chromatography (GC). Butyric acid is especially characteristic of pure butter. In addition to butyric acid, the purity of butter is evaluated by considering the presence and amount of some other fatty acids that butter should contain (Molkentin, 2007).

The water and fatty acid compositions of butter and margarine, can be easily analyzed and compared by using the Differential Scanning Calorimeter (DSC). The proportions of these components affect the thermal properties of the final product. The DSC technique is an ideal tool for this type of research. In short, DSC analysis is used for quality control in production and research (Tan & Che Man, 2000; Tan & Man, 2002; Tomaszewska-Gras, 2013).

Differential scanning calorimeter (DSC) is a highly used thermo-analytical method to study edible oils and to determine the melting/crystallization properties of the fats. DSC is a sensitive, fast, and reproducible method. By comparing the DSC curves of both pure and mixed forms of edible oils, information about them can be obtained. The DSC method displays high accuracy, precision, and stability in food and drug analysis (Tomaszewska-Gras, 2013).

Fats do not have a specific melting temperature. However, they have melting temperature intervals. A dynamic method must be used to determine this temperature range. Thus, more than one endothermic peak will be obtained and the melting temperature range will be seen. These changes can be analyzed by DSC analysis. The DSC method has proven to be very useful for studying the melting behavior of fats (Tan & Che Man, 2000; Tan & Man, 2002).

FTIR spectroscopy is applied for qualitative analysis and characterization of fat, protein, and carbohydrates belonging to different food samples. In particular, FTIR analysis combined with some techniques is widely used to

distinguish butter from other edible oils and it determine the acidity, fat, moisture of butter for quality control (Nurrulhidayah et al., 2013).

In this study, research has been made on traditional methods such as saponification number, iodine number, and Reichert-Meissl value and modern methods such as GC, DSC, and FTIR, which are used for the detection of fake butter mixed with margarine.

2. Materials and Method

2.1. Materials

The butter (cow milk) and margarine used in the study were obtained from a local market in Erzurum. While preparing the butter margarine mixture, samples of the same weight were taken from both pure butter (PB), and pure margarine (PM), and their homogeneous mixture (BM). All experiments were repeated for three times.

2.2. Analysis

2.2.1. Analysis of R-M, iodine, and saponification numbers and some physicochemical properties of fat samples

Three samples consisting of pure butter (PB), pure margarine (PM), and half-mixed butter-margarine (BM) mixture were analyzed. Reichert-Meissell (R-M) number of fat samples, TS 1331, iodine number, TS EN ISO 3961, and saponification number were determined according to TS EN ISO 3657 standards.

Some physicochemical properties such as fat amount (TS 1331), salt amount (TS 1333 ISO1738), fat-free dry matter amount (TS 1331), moisture amount (TS 1331), acid number (TS EN ISO 660), and free fatty acids (TS EN ISO 660) of PB, PM, BM samples were also determined.

2.2.2. Determination of Fatty Acid Composition

Fat samples were first converted into fatty acid methyl esters (EN ISO 5509). Fatty acid compositions of samples were analyzed by gas chromatography system equipped with an auto-injector (SHIMADZU, QP 2010) and the RESTEK Rtx-Wax capillary column (60m x 0.25 mm id., 0.25). The initial oven temperature was 140 °C for 5 minutes, and it was increased to 240°C with heating rate of 3°C/minute, then it was maintained constant for 17 minutes.

2.2.3. DSC analysis

Approximately 10 mg of each fat sample (with an accuracy of 0.01 mg) was placed in the pan made of Al₂O₃. DSC analysis was performed on the DSC 8500 Perkin Elmer (-65 °C-600 °C) instrument. Firstly, samples were heated at a heating rate of 10°C/min from -65°C to 200°C and then they were cooled from 200°C to -65°C at the same heating rate.

2.2.4. FTIR analysis

The structures of samples are characterized by Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy. Spectra were obtained with Bruker VERTEX 70v instrument in the range of 4000-400 cm⁻¹.

3. Results and Discussion

3.1. Reichert-Meissel (R-M), saponification and iodine numbers

Reichert-Meissl, iodine, saponification numbers, and some physicochemical properties of fat samples consisting of PB, PM, and BM mixture were analyzed. The results obtained are given in Table 1.

When Table 1 is examined, it is seen that the RM value of pure butter is 25.1. This value is in the range of 17-35 stated in the literature (Metin, 2001). The RM value of pure margarine was found to be 1.65. This value also matches the max.7 value specified in the literature (Kurt et al., 2007). The RM value obtained for 50% butter + 50% margarine mixture was found to be 14.3. This value is not in the range specified in the literature for pure butter. This proves that the determined fat is not pure butter and it is mixed with margarine. In addition, the RM value (14.3) obtained for 50% butter and 50% margarine mixture was almost half of the RM values obtained for pure butter and pure margarine. However, while this value shows us that the butter is not pure, it does not give

exact information about the ratio of the mixture. The RM values (Table 1) of the analyzed fats are consistent with the results obtained in many studies in the literature. Also, they show that RM is a very safe analysis that can be used for the detection of fake butter (Çakmakçı & Kahyaoğlu, 2018; TAHMAS KAHYAOĞLU & ÇAKMAKÇI, 2016).

Table 1. Reichert-Meissl, iodine, and saponification numbers and some properties of fat samples

	PB	PM	BM
Reichert Meissl (RM)	25.1	1.65	14.3
Iodine number	26.65	53.45	35.21
Saponification number	217.3	197.9	205.9
Some physicochemical properties of fat samples			
	PB	PM	BM
Fat amount (%)	84	72	78
Salt amount (%)	0.035	0.19	0.13
Fat-free dry matter amount (%)	2	1.5	1.5
Moisture amount (%)	14	26.5	20.5
Acid number (mgKOH/g)	1.10	0.84	1.01
Free fatty acids (as oleic acid, %)	0.55	0.42	0.5

In addition, to RM number, the number of saponification of PB was found to be 217.3 (Table 1). This value is in the range of 210-233 given for the saponification number of milk fat (Hamed et al., 2019). As seen in Table 1, while the smallest saponification number belongs to PM (197.9), the saponification number of the BM mixture (205.9) is larger than PM but lower than that of PB. Since milk fats contain longer carbon chains and more saturated fatty acids, the saponification number of butter is higher than other oils (Çakmakçı & Kahyaoğlu, 2018; Park et al., 2007). The decrease in the saponification number of the BM mixture may be related to the high molecular weight fatty acids of margarine mixed with butter. When Table 1 is examined, it is seen that the highest iodine number belongs to PM (53,45), while the lowest iodine number belongs to PB (26,65). A high iodine number means the presence of a high amount of unsaturated fatty acids (especially oleic and linoleic acids) in the oil (Hamed et al., 2019). Iodine number of milk fats is in the range of 20.4-34.6 (Murthy & Bhat, 1976). The increase in the iodine number compared to the PB of the BM mixture confirms that it is the mixture.

3.2. Determination of fatty acid composition with the help of Gas Chromatography (GC)

Milk fats contain more than 400 fatty acids (Jensen, 2002). Table 2 shows the fatty acid profile (the list of major compounds) of fat samples.

When Table 2 is examined, it is seen that the fat sample with the highest saturated fatty acids ratio (69,68) is PB and the fat sample with the highest unsaturated fatty acid ratio (45) is PM. This is an expected situation (Hamed et al., 2019). While the most saturated fatty acid in all fat samples is Palmitic acid, the most unsaturated fatty acids are oleic and elaidic acids. In addition, it is observed that buturic (C4: 0), caproic (C6: 0), and caprylic (C8: 0) acids (Deelstra et al., 2014), which are found only in milk fats, are absent in PM, and the amount in PB (6.91%) is higher than the BM mixture (3.95%) (Table 2). This helps us to detect butter.

Buturic acid (C4: 0) is one of the good indicators used in the detection of fake butter in fat samples using GC-FID, as it is found in milk fats obtained from only cows and other mammals (Molkentin & Precht, 1998; Yoshinaga et al., 2013). The fact that the value of C4: 0 is 2.72 for PB, while it is zero for PM (Table 2) supports this situation. The C4: 0 value for the BM mixture was found to be 1.37. This value corresponds to almost half of the 2.72 value found for PB. Thus, it gives us some clues about the mixing ratio of butter.

Table 2. Fatty acid composition of fat samples (% weight)

	Fatty acids	Carbon number	PB	PM	BM
Saturated fatty acids	Butyric	C4:0	2.72	*	1.37
	Caproic	C6:0	1.78	*	1.01
	Caprylic	C8:0	2.41	*	1.57
	Lauric	C12:0	2.92	5.86	4.55
	Myristic	C14:0	11.08	2.49	7.00
	Pentadecanoic	C15:0	1.24	*	*
	Palmitic	C16:0	35.12	35.97	35.92
	Stearic	C18:0	12.41	8.87	9.23
Total			69.68	53.19	60.65
Unsaturated fatty acids	Palmitoleic	C16:1	1.57	*	*
	Oleic + Elaidic	C18:1n9c+ C18:1n9t	21.86	25.21	24.45
	Linoelaidic	C18:2n6t	3.22	19.79	11.58
Total			26.65	45	36.03

* undetectable or less than 1%

3.3. DSC analysis of samples

For DSC analysis, samples were heated in the air environment from -65°C to 200°C at heating rate of 10°C/min and then cooled from 200°C to -65°C at the same heating rate. DSC melting/crystallization cycles obtained for butter and margarine are shown in Figure 1.

When Figure 1A is examined, many melting peaks are seen. The temperature values of these points are indicated on the DSC profile. The endothermic peak seen at 1.6°C corresponds to the melting temperature of the water and it indicates that the water in the structure of the butter melt. Temperatures such as 9.6, 16.2, 32.54, 54.9°C are melting peaks of the fatty acids in the structure. As stated in the literature, it is possible to obtain a large number of endothermic peaks in the melting profiles of fats (Tan & Man, 2002). The most important reason for this is that it depends on the distribution of fatty acids, which are extremely important for their applications in the food industry. There is a significant relationship between melting curves and fatty acid contents. Highly saturated fatty acids melt at higher temperatures compared to unsaturated fatty acids.

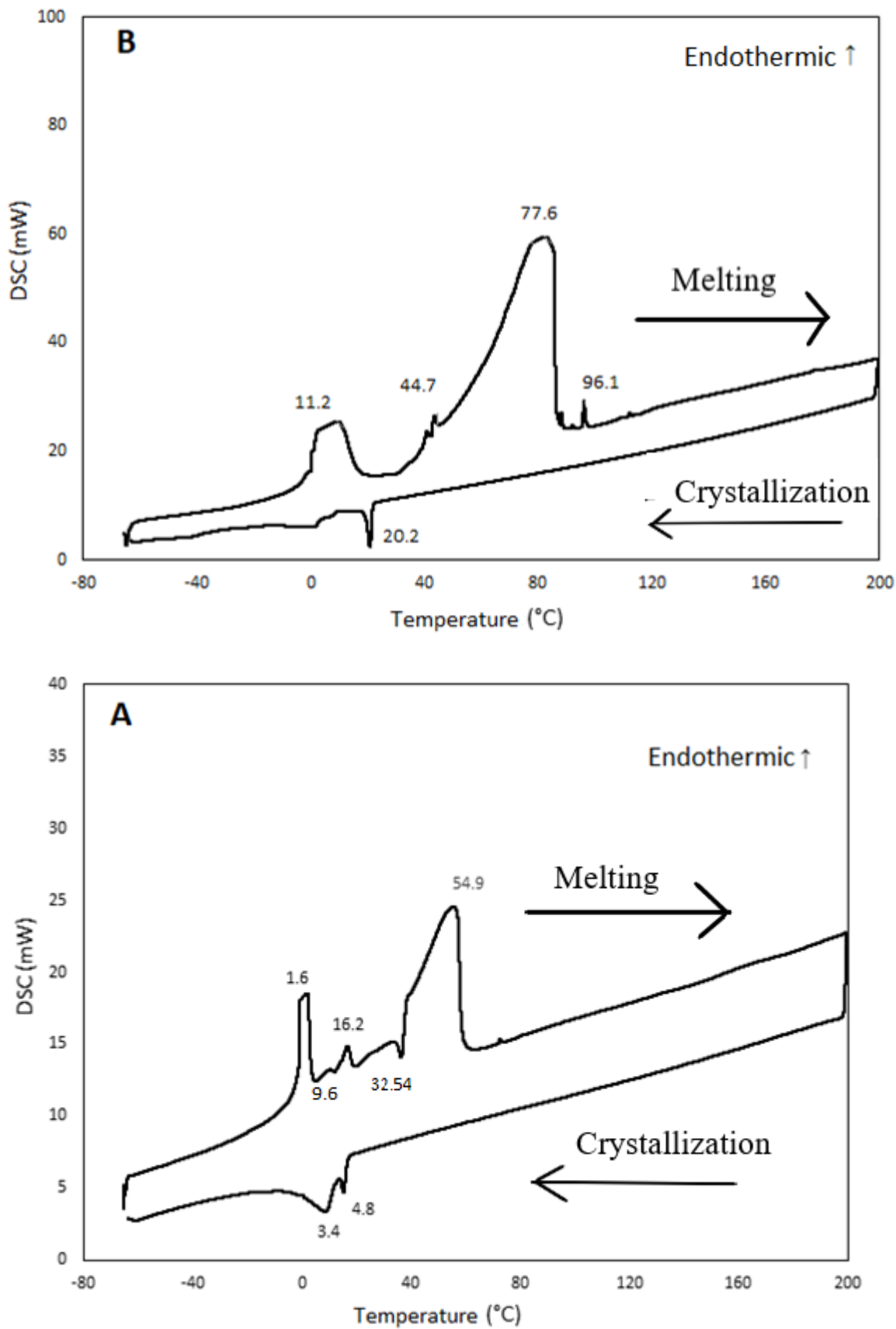


Figure 1. DSC cycle of melting/crystallization of butter (A) and margarine (B) at a heating rate of 10°C/min

In the heating program, a cycle was performed from 200°C to -65°C with the heating rate of 10°C/min. Melting and crystallization curves were obtained in the cycle program. When the crystallization curve is examined, two crystallization peaks are seen. Butter melting up to 200°C now has a new polymorphic structure. Therefore, crystallization temperatures were obtained at different points (3.4 and 4.8°C).

When Figure 1B is examined, the melting and crystallization curves of margarine are seen. It is remarkable that the melting temperatures of the fatty acids of margarine shift towards higher temperatures and the melting peaks are wider than butter. The first endothermic peak of margarine is 11.2°C and it is quite wide. It is understood that a certain amount of fatty acids dissolves together with the water in the structure and they are less stable than other fatty acids. It can be concluded that the butter is softer in storage conditions such as refrigerator and at room temperature. Because the melting peak of water corresponding to approximately 1.6°C is narrower. Also, the area of this peak obtained in butter is lower according to in margarine. The crystallization temperature of margarine is 20.2°C.

It is seen that the melting process in butter is completed at approximately 60°C. However, this temperature has increased up to 97°C in margarine. This feature also indicates the presence of shorter chain fatty acids in butter compared to the margarine. In addition, the melting temperatures of the margarine shift to higher temperatures. Hence it can remain at room temperature without melting.

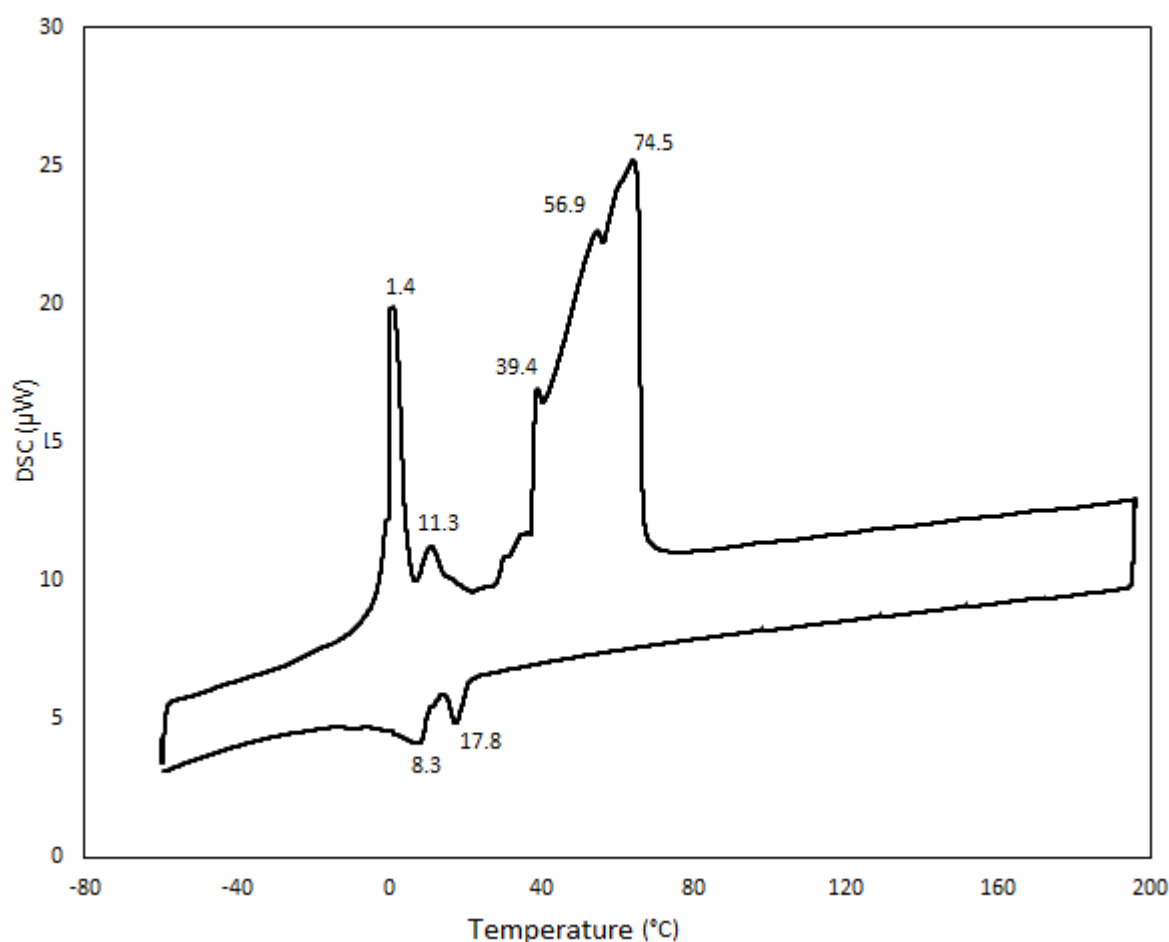


Figure 2. DSC cycle of melting/crystallization of 50% butter-margarine at a heating rate of 10°C/min

Figure 2 shows the DSC melting/crystallization cycle obtained at a heating rate of 10°C/min for 50% butter-50% margarine mixture. When the graphic is examined, it is seen that the melting peak of water coincides with the melting peak in butter. In Figure 1 (A-B), the highest melting peaks of butter and margarine can be easily seen in Figure 2. The mixture's DSC peaks have many melting peaks. These small peaks seen on the large melting peak of fatty acids also indicate that the sample mixture cannot be pure. The melting process of the mixture is completed at approximately 75°C. The crystallization curve displays that while the crystallization temperature of the butter is relatively low value such as 3.4°C and 4.8°C, the temperature of 50% butter-50% margarine mixture increases to 8.3°C and 17.8°C. In the literature, it has been obtained the same results (Aktaş & Kaya, 2001).

3. 4. FTIR analysis

It was analyzed by FTIR spectroscopy to determine the structural properties of the samples (butter, margarine, and 50% butter-50% margarine). The wavenumbers of the characteristic groups in the examples are given in Table 3.

Table 3. Major infrared bands and their characteristic functional groups (Nurrulhidayah et al., 2013)

Wavenumber (cm ⁻¹)	Assignment
3600-3000	O-H (water) stretching
3008	=C-H stretching (cis) (fat)
2920	-CH(CH ₂) Asymmetric stretching (fat)
2850	-CH(CH ₂) Symmetric stretching (fat)
1740	-C=O (ester), COO-, COOH stretching (fat)
1690-1640	C=N stretching (protein)
1465	-C-H (CH ₂ ve CH ₃) (fat)
1377	-C-H (CH ₃) Symmetric stretching
1237	Stretching vibration of C-O ester groups (fat)
1170	Stretching vibration of -C-O ester groups (fat)
1097	-C-O stretching (fat)
967	-HC=CH- stretching (trans groups, fat)
724	-HC=CH- (cis) stretching (fat)

FTIR spectra of the samples are shown in Figure 3. Examining the FTIR spectra, we can see that the O-H band, especially in the range of 3600-3000 cm⁻¹, is very wide and distinct in the margarine. It can be said from both DSC and FTIR analyses that the amount of water in margarine is quite high.

Margarine and butter are generally very different from each other because butter is animal origin, while margarine is vegetable fat mixed with water. Butter does not usually contain any additives, while margarine may contain different ingredients (antioxidants, vitamins, coloring agents, and emulsifiers).

The methylene groups of fats are in the range of 3000-2800 cm⁻¹ in FTIR analysis. The stretching of the structures in this range is given in Table 3, in detail. Especially for butter, the intensity of spectra in this region is so much than those of margarine. In addition, the spectrum belonging to the 1740 cm⁻¹ carbonyl (-C=O) region is again higher in butter. The C=N vibration in the range of 1690-1640 cm⁻¹ is higher in margarine than butter, it is even absent in butter. However, the stretching of -HC=CH at 967 cm⁻¹ is the signal spectrum used for the determination of trans-fatty acids in fats and oils (Leite et al., 2019; Nurrulhidayah et al., 2013). The results obtained are quite compatible with the literature (REXHEPI et al.). It is understood from Figure 3 that 50% butter and 50% margarine has average peak values of pure butter and pure margarine.

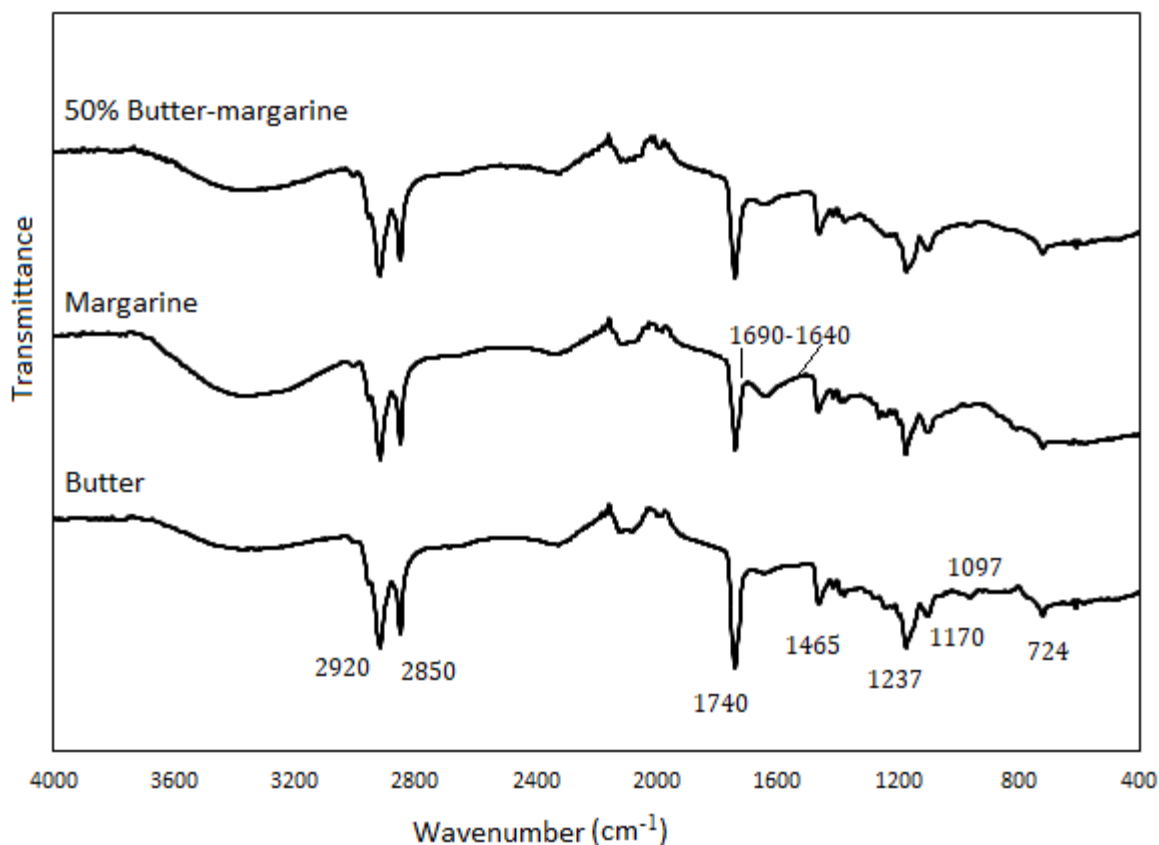


Figure 3. FTIR spectra of butter, margarine, and 50% butter and margarine mixture

According to these results, strong FTIR spectrum in butter are especially 1740 cm^{-1} peak, and in the range of $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ peak (Nurrulhidayah et al., 2013). The margarine has a pronounced C=N stretching in the range of $1690\text{-}1640\text{ cm}^{-1}$, and a wide O-H stretching of $3600\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$. In the literature, 1740 cm^{-1} (-C=O Ester vibration) peak is the most dominant peak in the FTIR analysis of butyric acid, which is the most important indicator of butter (www.chemicalbook.com). These peaks give us clues in determining butter.

4. Conclusions

In our study, a detailed analysis of pure butter, pure margarine, and 50% butter-margarine mixture by some traditional (Reichert-Meissl, saponification and iodine numbers) and modern methods (GC, DSC, and FTIR) were performed. The results show that mixing margarine with butter (50% butter-margarine) decreases the numbers of R-M and saponification while it increases the number of iodine. It is seen that the GC method is a very reliable method for detecting fake butter. In DSC analysis, it was understood that butter has narrow melting peaks at very low temperatures, while margarine has wider melting peaks at higher temperatures. In the DSC curve of 50% butter-margarine, it was determined that especially the number of melting peaks of fatty acids increased. According to DSC and FTIR analysis, it is remarkable that the amount of water in margarine is much higher than butter. Especially in FTIR analysis, some peaks (1740 cm^{-1} peak and the range of $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$) guide us in determining the purity of butter.

Conflict of interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Aktaş, N., Kaya, M. 2001. Detection of beef body fat and margarine in butterfat by differential scanning calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 66(3), 795-801.
- Altun, S.K., Paksoy, N. Evaluation of Reichert Meissl Values of Butter Produced in Turkey.
- Çakmakçı, S., Kahyaoğlu, D.T. 2018. A Comparative Study On Some Properties And Oxidation Stability During Storage Of Butter Produced From Different Animals'milk. *Gıda*, 43(2), 283-293.

- Deelstra, H., Burns, D.T., Walker, M. 2014. The adulteration of food, lessons from the past, with reference to butter, margarine and fraud. *European Food Research and Technology*, 239(5), 725-744.
- Fatouh, A., Singh, R., Koehler, P., Mahran, G., Metwally, A. 2005. Physical, chemical and stability properties of buffalo butter oil fractions obtained by multi-step dry fractionation. *Food chemistry*, 89(2), 243-252.
- Gosewade, S., Gandhi, K., Ranvir, S., Kumar, A., Lal, D. 2017. A study on the physico-chemical changes occurring in ghee (butter oil) during storage. *Indian J Dairy Sci*, 70(1), 81-88.
- Hamed, A.M., Aborass, M., El-Kafrawy, I., Safwat, G. 2019. Comparative study for the detection of Egyptian buffalo butter adulteration with vegetable oils using conventional and advanced methods. *Journal of Food Safety*, 39(4), e12655.
- Jensen, R.G. 2002. The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *Journal of dairy science*, 85(2), 295-350.
- Koca, N., Kocaoglu-Vurma, N., Harper, W., Rodriguez-Saona, L. 2010. Application of temperature-controlled attenuated total reflectance-mid-infrared (ATR-MIR) spectroscopy for rapid estimation of butter adulteration. *Food Chemistry*, 121(3), 778-782.
- Kumar, A., Goyal, S., Munesh, K.V., Kumar, L. 2016. Study on physico-chemical analysis of ghee. *South Asian J. of Food Technol. and Environ*, 2(3&4), 448-451.
- Kurt, A., Çakmakçı, S., Çağlar, A. 2007. Süt ve mamulleri muayene ve analiz metotları rehberi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yay(18).
- Leite, A.I.N., Pereira, C.G., Andrade, J., Vicentini, N.M., Bell, M.J.V., Anjos, V. 2019. FTIR-ATR spectroscopy as a tool for the rapid detection of adulterations in butter cheeses. *LWT*, 109, 63-69.
- Metin, M. 2001. Süt Teknolojisi Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. Bölüm, Genişletilmiş Üçüncü Baskı, Ege Üniv. Mühendislik Fak. Yay(33).
- Molkentin, J. 2007. Detection of foreign fat in milk fat from different continents by triacylglycerol analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(5), 505-510.
- Molkentin, J., Precht, D. 1998. Comparison of gas chromatographic methods for analysis of butyric acid in milk fat and fats containing milk fat. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 206(3), 213-216.
- Murthy, M.R., Bhat, G. 1976. Iodine number determination of milk fat and vegetable fats by refractometry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 53(9), 577-580.
- Nurrulhidayah, A., Man, C.Y., Rohman, A., Amin, I., Shuhaimi, M., Khatib, A. 2013. Authentication analysis of butter from beef fat using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy coupled with chemometrics. *International Food Research Journal*, 20(3), 1383.
- Park, Y., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small ruminant research*, 68(1-2), 88-113.
- REXHEPI, F., KURTI, G., FERATI, F., SHALA, S. FTIR-SPECTROSCOPY STUDY OF MICROWAVE AND CONVENTIONAL HEATING ON THE DEGRADATION OF MARGARINE AND BUTTER.
- ROTAR, R. 2017. Study On Identifying Butter Faking By Substitution With Pork Fat Or With Margarine. *Food and Environment Safety Journal*, 9(1).
- TAHMAS KAHYAOĞLU, D., ÇAKMAKÇI, S. 2016. Determination of the adulteration of butter with margarine by using fat constants.
- Tan, C., Che Man, Y. 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: comparison of thermal properties and chemical composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(2), 143-155.
- Tan, C., Man, Y.C. 2002. Comparative differential scanning calorimetric analysis of vegetable oils: I. Effects of heating rate variation. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 13(3), 129-141.
- Tomaszewska-Gras, J. 2013. Melting and crystallization DSC profiles of milk fat depending on selected factors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113(1), 199-208.
- Wiedermann, L.H. 1978. Margarine and margarine oil, formulation and control. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 55(11), 823-829.
- Yoshinaga, K., Nagai, T., Mizobe, H., Kojima, K., Gotoh, N. 2013. Simple method for the quantification of milk fat content in foods by LC-APCI-MS/MS using 1, 2-dipalmitoyl-3-butyroyl-glycerol as an indicator. *Journal of oleo science*, 62(3), 115-121.



SATHİ KAPLAMALI YOLLARIN YAPISAL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Onur SARIOĞLU*, Mehmet SALTAN

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

Anahtar Kelimeler

Sathi Kaplama,
DCP,
LWD,
Yapısal Performans.

Öz

Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığının büyük bir kısmı karayolu vasıtası ile sağlanmaktadır. Karayolu ulaşımında farklı üstyapı tipleri görülebilir. Bu tipler arasında karayollarında en çok tercih edileni bitümlü sıcak karışımlardır. Ancak bitümlü sıcak karışımların maliyetleri çok yüksektir. Sathi kaplamalı yollar, ilk yapım maliyetlerinin düşük, yolun trafiğe kapalı kalacağı sürenin az olması gibi nedenlerden dolayı gelişmekte olan ülkelerde en çok kullanılan yol türüdür. Bu çalışma, Isparta çevresindeki bazı sathi kaplamalı köy yollarını oluşturan tabakaların dayanımlarının ve yolların yapısal durumlarının tahribatsız deneyler ile incelenmesini içerir. Bu amaç için tahribatsız deneyler arasından, Dinamik Koni Penetrasyon ve Hafif Düşen Ağırlık Deflektometresi deneyleri tercih edilmiştir. Çalışmada, farklı zamanlardaki ölçümlerde elde edilen defleksiyon ve elastisite modülü değerleri ile sathi kaplama tabakalarının özellikleri ve sıkışma durumu araştırılmıştır. Dinamik Koni Penetrasyon deney aleti kullanılarak arazide yapılan ölçümler sonucu, üstyapı tabaka dayanımları saptanmıştır. Hafif Düşen Ağırlık Deflektometresi deneylerinden elde edilen sonuçlara göre defleksiyon değerlerinin arttığı, elastisite modülü değerlerinin düştüğü görülmüştür.

EVALUATION OF STRUCTURAL PERFORMANCE OF CHIP-SEAL PAVEMENT

Keywords

Chip Seal,
DCP,
LWD,
Structural Performance.

Abstract

In our country, most of the passenger and load transportation is provided by highway. Different pavement types can be seen in highway transportation. Among these types, bituminous hot mixtures are the most preferred on highways. However, the costs of them are very high. Chip seal is the most used type of pavement in developing countries due to reasons such as low initial construction costs and the time that the road will be closed to traffic is short. This study includes investigation of the strength of the layers forming some village roads constructed as chip seal and structural conditions of them with nondestructive tests around Isparta. For this purpose, Dynamic Cone Penetrometer and Light Weight Deflectometer tests were preferred among the non-destructive tests. In the study, with the deflection and elasticity modulus values obtained by measurements at different times, properties and compaction states of layers of chip seals were investigated. As a result of measurements taken in the field using Dynamic Cone Penetrometer test device, the strength of pavement layers were determined. According to the results obtained from Light Weight Deflectometer tests, it was observed that the deflection values increased and the elasticity modulus values decreased.

Alıntı / Cite

Sarioğlu, O., Saltan, M., (2021). Sathi Kaplamalı Yolların Yapısal Performansının Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 463-475.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Sarioğlu, 0000-0001-6754-7105
M. Saltan, 0000-0001-6221-4918

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	21.02.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	26.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

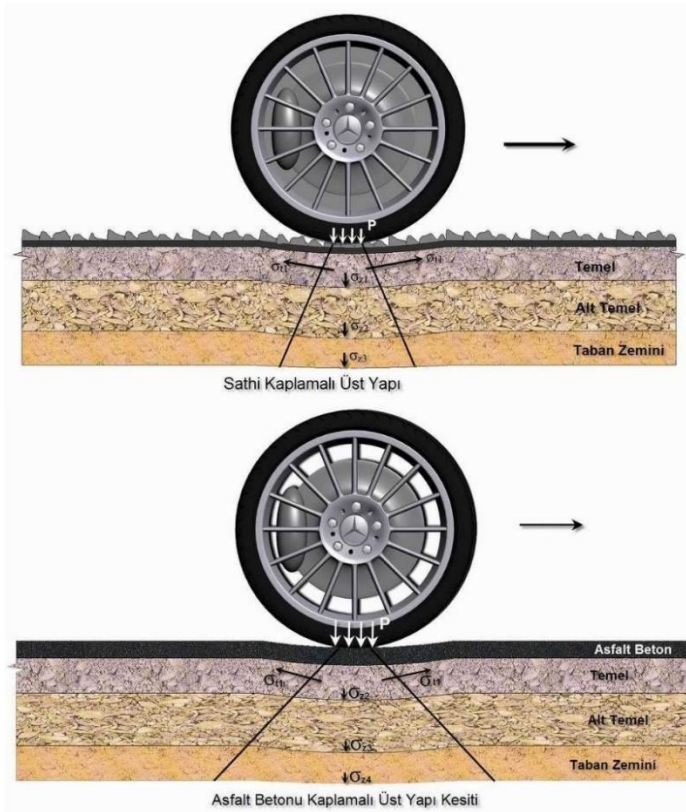
* İlgili yazar / Corresponding author: onursarioğlu07@gmail.com

1. Giriş (Introduction)

Geçmişten günümüze ulaşım, insanların yaşamında önemli bir yere sahip olmuştur ve gelecekte de böyle olmaya devam edecektir. Eşyalar üretildikleri yerlerden ihtiyaç duyulduğu yerlere, insanlar ise ihtiyaçlarını karşılamak için bir yerden başka bir yere giderler. Bu ihtiyaçların karşılanması için karayolu ulaşımı önemli bir yere sahiptir.

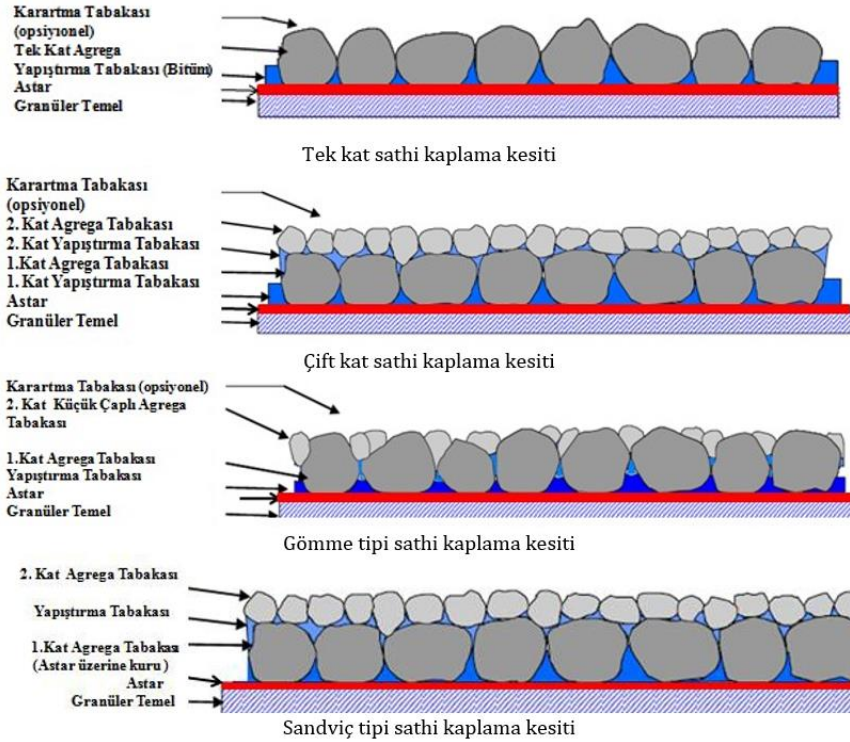
Karayolu ulaşımında farklı yol tipleri görülebilir. Bu tiplerden karayollarında en çok tercih edileni bitümlü sıcak karışımlardır; ancak bitümlü sıcak karışımların maliyetleri çok fazladır. Bir alternatif olan yüzeyel kaplamalar ise mevcut kaplamaların özelliklerini iyileştirmek, koruyucu bir tabaka gibi mevcut üstyapının ömrünü uzatmak veya düşük hacimli yollarda direkt olarak kaplama tabakası göreviyle kullanılmaktadır. Uygulama yöntemlerine bağlı olarak yüzey kaplamaları, sathi kaplamalar ve harç tipi kaplamalar olarak iki kategoride incelenebilmektedir.

Sathi kaplamalar, granüler malzemeden oluşturulmuş temel ve alt temel tabakası üzerine oturan, herhangi bir yük taşıma kapasitesi bulunmayan, yol yüzeyinde düzgün bir yuvarlanma ve yeterli kayma sürtünme katsayısı sağlayan, bunun yanında yüzeydeki suların alt tabakalara ulaşmasını engelleyen bir kaplama türüdür (Karaşahin ve Ağar, 2004). Şekil 1'de sathi kaplamalı ve asfalt beton kaplamalı yol üstyapısı tabakaları ve bu tabakalarda meydana gelen gerilmeler gösterilmiştir. Sathi kaplamalar, yüzeye önce bağlayıcının püskürtülmesi, ardından mıcırın serilmesi ve sıkıştırılması ile imal edilirken harç tipi kaplamalar, belirli miktarda agreganın ve bitümün karıştırılması ve serilmesi ile üretilmektedir. Genel olarak diğer kaplama koruma ve iyileştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, sathi veya harç tipi kaplamaların efektif, ekonomik ve kolay uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih sebebi olduğu belirtilmiştir (Adams ve Richard, 2014; Pratico vd., 2015).



Şekil 1. Sathi kaplamalı ve asfalt betonu kaplamalı yol üstyapısı tabakaları ve tabakalarda meydana gelen gerilme dağılımları (Chip seal and asphalt concrete pavement layers and the stress distributions occurred at layers) (Karaşahin ve Gürer, KGM Brifing Notları)

Sathi kaplamalar; tek katlı sathi kaplama, çok katlı sathi kaplama, gömme ve sandviç tipi sathi kaplama (Şekil 2) ile koruyucu tabaka ve iyileştirme amaçlı sathi kaplama olmak üzere gruplara ayrılırlar.



Şekil 2. Sathi kaplama türleri (Types of chip seal)

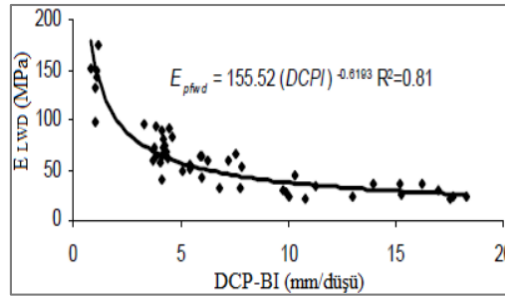
Birçok ülke yol ağında sathi kaplamalı yolları kullanmaktadır; Türkiye de bu ülkelerden biridir. Ülkemizde sathi kaplamalı yolların oldukça fazla inşa edildiği bilinmekte ve belli bir azalış görülse bile önümüzdeki yıllarda da sathi kaplamalı yolların yapımının devam edeceği öngörülmektedir. Çünkü sathi (yüzeysel) kaplamalı yollar, 01.01.2016 tarihli Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) verilerine göre ülkemizde toplam yol ağı uzunluğunun (66.417 km) %66'sını (43.726 km) oluşturmaktadır. Zaman içerisinde bu yollar, bitümlü sıcak karışımli yollara dönüşmektedir. 01.01.2019 tarihli KGM verilerine göre toplam yol ağı uzunluğu 67.333 km'ye çıkarken sathi kaplamalı yolların toplam uzunluğu 39.333 km'ye düşmüştür.

Sathi kaplama, düşük trafik hacmine sahip yollarda uygulanan bir üstyapı tipidir. Taşıtların ağırlıklarından dolayı, üstyapılarda her taşıt geçişi, esnek ve kalıcı şekil değişimleri meydana getirir. Esnek şekil değişimi, gerilme ortadan kalktığı zaman eski haline döner; kalıcı şekil değişimi ise gerilme ortadan kalksa da sabit kalır. Sathi kaplamaların yük taşıma kapasitesi aşıldığı zaman kalıcı şekil değiştirmelerin miktarı önemli oranda artar. Bu yüzden, ortalama ömrü zaten az olan sathi kaplamalardan yeterli performans elde edilemez ve bozulmalar daha hızlı meydana gelir. Bozulmalar zamanında tespit edilip bakım - onarımı gerçekleştirilmezse kaplama tabakasının proje ömrünü tamamlamadan yeniden inşa edilmesi gerekir; bu durum da ciddi maddi zararlara yol açar.

Vonk ve Korenstra (2004), sathi kaplamanın kalitesini artırmanın, dolayısıyla ömrünü uzatmanın veya onu daha yoğun trafikli yollarda kullanabilmenin en önemli yolunun, bağlayıcıyı değiştirmek suretiyle kaplamanın kohezyon mukavemetini artırmak olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla çalışmalarında bir blok kopolimer olan ve SBS olarak adlandırılan bir modifikatör kullanmışlardır. Yüzeysel kaplamalar açısından önemli bir özellik olan kayma direnci performansı, Uz ve Gökçalp (2017) tarafından araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, doğal agregalardan ve cürüflardan oluşan farklı agregası tür ve tane boyutları ile gradasyonunda üretilen yüzeysel kaplamaların kayma direnci performansı değerlendirilmiştir. Yüzeysel kaplamaların kayma direnci karşılaştırıldığında, her boyut ve gradasyonda cürüfler ile üretilmiş numunelerin, doğal agregası ile üretilmiş numunelerden daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Sathi kaplamalar ile ilgili literatürde oldukça fazla çalışma yer almaktadır ve bunlar arasında, yolları oluşturan tabakaların dayanımlarının ve yapısal durumlarının belirlenmesi için tahribatsız deneylerin gerçekleştirildiği çalışmalar da mevcuttur.

Kaplama performansını etkileyen faktörler arasında yer alan taşıma gücünde iklim koşullarına göre meydana gelen değişim, Gürer vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, sathi kaplamalı bir güzergahta, iki farklı marka Hafif Düşen Ağırlık Deflektometresi (LWD) kullanılarak yerinde yapılan tahribatsız deneyler ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki LWD cihazıyla ölçülen deformasyon değerleri, birbirine yakın olmakla birlikte cihazlardan biriyle yapılan ölçümlerden elde edilen LWD sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmüştür. Kleyn (1975), laboratuvar çalışmasında 2000 örnek üzerine yapmış olduğu Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) ve

Dinamik Koni Penetrasyon (DCP) testleri neticesinde, CBR ve DCP batma indeksi (BI) değerleri arasında bir korelasyon geliştirmiş ve arazide uygulanan DCP testi ile tabakaların yerinde taşıma güçlerinin belirlenebileceğini ifade etmiştir. Ese vd. (1994), Norveç'te DCP testinin üstyapı iyileştirme ve takviye tabakası tasarım çalışmalarında kullanılabilirliği üzerine kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Granüler temel tabakası dayanımı ve DCP batma indeksi arasında güçlü bir bağlantı olduğunu belirtmişlerdir. Bahsedilen deneysel yöntemlerin, birbirleriyle ilişkilendirilerek yol üstyapılarının değerlendirilmesi için aynı çalışma içinde kullanımı da mümkündür. Nageshwar vd. (2008), çalışmalarında üstyapı performansının büyük ölçüde taban zemini dayanımına bağlı olduğunu belirtmişler ve son yıllarda LWD testi ile taban zemini dayanımının belirlenmesinin arttığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle, bu yöntemle belirlenen taban zemini elastisite modülü değerlerinin, CBR ve DCP gibi diğer test yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile ilişkilendirilmesine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır. Hindistan'ın Karnataka eyaletinin değişik bölgelerindeki taban zeminleri üzerinde yaptıkları DCP, CBR ve LWD testlerinden elde ettikleri sonuçları regresyon analizine tabi tutmuşlar, LWD – CBR ve LWD – DCP – BI arasındaki ilişkileri tahmin eden modeller kurmuşlardır. Elde ettikleri modellerin sonuçlarını (Şekil 3), literatürde yer alan diğer modeller ile karşılaştırarak bu modellerin yüksek korelasyon katsayılarına (R^2) sahip olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3. LWD modülü ile DCP-BI arasındaki ilişki (Relationship between LWD module and DCP-BI) (Nageshwar vd., 2008)

Bu çalışmada, Isparta İl Özel İdaresi yol ağında bulunan Merkez ve Gönen ilçeleri kapsamındaki Bozanönü, Senirce ve Gelincik köy yollarının tabakalarının dayanımları ve yapısal durumlarını görmek için DCP ve LWD tahribatsız deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen tüm yollar karşılaştırıldığında, Gelincik köy yolunda meydana gelen kalıcı şekil değiştirmelerin, Bozanönü ve Senirce köy yollarına göre daha yoğun olduğu görülmüştür. Bu durumun ana nedeni ise incelenen diğer iki yola göre Gelincik köy yolunu kullanan araç trafiğinin fazla olmasıdır. Deneylerden elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılarak sathi kaplamalar hakkında ulaşılmaya çalışılan bilgiler değerlendirilmiş, deney sonuçlarının birbirini desteklemesine dayanarak edinilen bilgilerin doğruluğuna kanaat getirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada, Isparta İl Özel İdaresi yol ağında bulunan Merkez ve Gönen ilçeleri kapsamındaki köy yollarını oluşturan sathi kaplamaların yapısal performanslarının değerlendirilmesinde, DCP ve LWD tahribatsız deneylerinin kullanımı incelenmiştir. Isparta Merkez ilçesine bağlı Bozanönü, Gelincik ve Senirce köy yollarının performans analizleri yapılmıştır. Bu bölümde belirlenen köy yollarına ait yol envanter ve güzergah bilgileri verilmiş, kullanılan deneysel yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir.

2.1. Kırsal Yollarda Kullanılan Malzemeler (Materials Used in Rural Roads)

Isparta İl Özel İdaresi yol ağında bulunan Merkez ve Gönen ilçeleri kapsamındaki köy yollarıyla ilgili parametreler Tablo 1 - 3'te verilmiştir. Arazide ölçümler olarak seçilen kırsal yolların yapısal durumlarını karşılaştırmak için DCP ve LWD deneyleri, her yolda farklı mevsimlerde ve hava şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Ölçüm alınan yollar ve kaplama tabakasında kullanılan agrega türü (Roads measured and aggregate type used in pavement)

İlçe	Yolun Tanımı	Agrega Türü
Merkez	Bozanönü	Kireçtaşı
Merkez	Gelincik	Kireçtaşı
Gönen	Senirce	Kireçtaşı

Tablo 2. Ölçüm alınan yollarda kullanılan bağlayıcı türleri ve agrega gradasyonları (Binder types and aggregate gradations used in the roads measured)

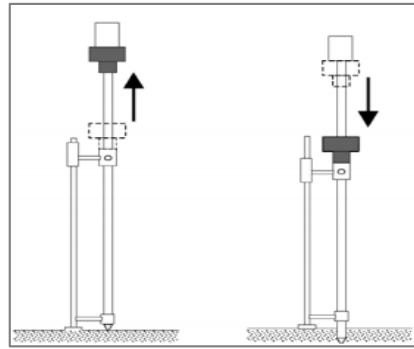
Yolun Tanımı	Bağlayıcı Türü	Astar	Agrega Gradasyonu (mm)
Bozanönü	Bitüm 160/220	FM2 B2	13-18
Senirce	Bitüm 160/220	FM2 B2	18-25
Gelincik	Bitüm 160/220	FM2 B2	13-18

Tablo 3. Çalışma güzergahı envanter bilgileri (Work route inventory information)

İlçe	Yolun Tanımı	Yol Yapım Yılı	Takviye Tabaka Sayısı	Genişlik (m)	Çalışma Yapılan Uzunluk (m)
Merkez	Bozanönü	03.08.2015	3	6	2150
Merkez	Senirce	05.08.2015	2	6	1550
Gönen	Gelincik	04.08.2015	1	6	1960

2.2. DCP Deneyinin Yapılışı (Performing of DCP Test)

DCP, üstyapıların kalite kontrol ve değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan ve etkinliği, yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmış tahribatsız bir test yöntemidir (Nazza, 2003). DCP deneyinde, hiçbir tabaka kazılmadan düşü yapılarak batma yüksekliğindeki bütün tabakaların dayanımına ulaşılabilir. Temel, alttemel ve taban zemini için ayrı ayrı DCP deneyi yapılmasına gerek yoktur; tek deneyde tüm tabakaların dayanımları incelenebilir. DCP deney cihazı, 8 kg ağırlığındaki DCP çekici, çekicinin 575 mm sabit yükseklikten serbest düşmesine olanak sağlayan üst çubuk, ucunda 60°'lik konik uç bulunan 20 mm çapındaki alt çubuk, batma derinliklerinin okunacağı cm ve mm ölçeklerine ayrılmış cetvel ve tutma aparatı gibi parçalardan oluşmaktadır. Arazide ölçüm almak için cihaz kurulduktan sonra hiç düşü yapılmadan cetvelden o noktadaki değer okunur ve bu değer sıfır kabul edilir. Daha sonra düşü yapılmak üzere DCP çekici tutma aparatına kadar kaldırılır. Burada deney aletinin dik pozisyonda olmasına dikkat edilmelidir. Düşü yapılarak deneye başlanır ve her düşü sayısından sonra cetvelden okunan değerler not kaydedilir. DCP deney cihazına ait şematik çizim ve çalışma prensibi Şekil 4'te verilmiştir.

**Şekil 4.** DCP deneyinin şematik gösterimi ve cihazın çalışma prensibi (Schematic representation of DCP test and working principle of device)

2.3. LWD Deneyinin Yapılışı (Performing of LWD Test)

LWD, düşük hacimli, birden fazla tabakalı yol üstyapılarının yapısal özelliklerinin değerlendirilmesinde ve performans takibinde kullanılan tahribatsız deney yöntemidir (Baiz, 2007). LWD deneyinde, hareketli trafiğin üstyapıda oluşturduğu dinamik darbe basıncı, belirli bir yükseklikten düşürülen ağırlıkla simüle edilir. Deney, uygulanan yük altında oluşan en büyük deformasyonlar ve yol üstyapısının durumu hakkında bilgi sağlar. LWD deney cihazı, tutma kolu, tutma kilidi, denge çubuğu, düşen ağırlık, emniyet pimi, sıçrama süngerleri ve yükleme aparatı gibi kısımlardan oluşmaktadır. Deneyde kullanılan düşen ağırlık, yaklaşık 20 kg'dır; bu ağırlığa göre deney aletinin kullanma kılavuzunda kullanımı önerilen sıçrama süngerleri seçilir ve yerine yerleştirilir. Daha sonra LWD cihazı ve cep bilgisayarında eşleniği olan program açılarak bağlantı sağlanır. Deney cihazı ve cep bilgisayarını hazır hale geldiğinde düşü yapılmaya başlanır. Belirlenen her nokta için üç farklı yükseklikten (25 inç, 20 inç, 15 inç) üçer defa sağlıklı düşü yapılır ve elde edilen değerler cep bilgisayarına kaydedilir, kaydedilen bu veriler ham verilerdir. Dynatest'e ait LWDMod programı ile bu veriler işlenir ve uygulanan yük, direnç, deflektometre ve elastisite modülü bilgileri elde edilir. Düşü yapılan noktada elde edilen deformasyon ve uygulanan yük birleştirilerek geleneksel Boussinesq Statik analizi kullanılmak şartıyla rijitlik modülleri hesaplanır. Denklem 1'de ölçülen merkez deformasyon ile FWD dinamik deformasyon modülü verilmiştir.

$$E_{FWD} = \left(\frac{K(1-\theta^2)P*r}{\delta_c} \right) \quad (1)$$

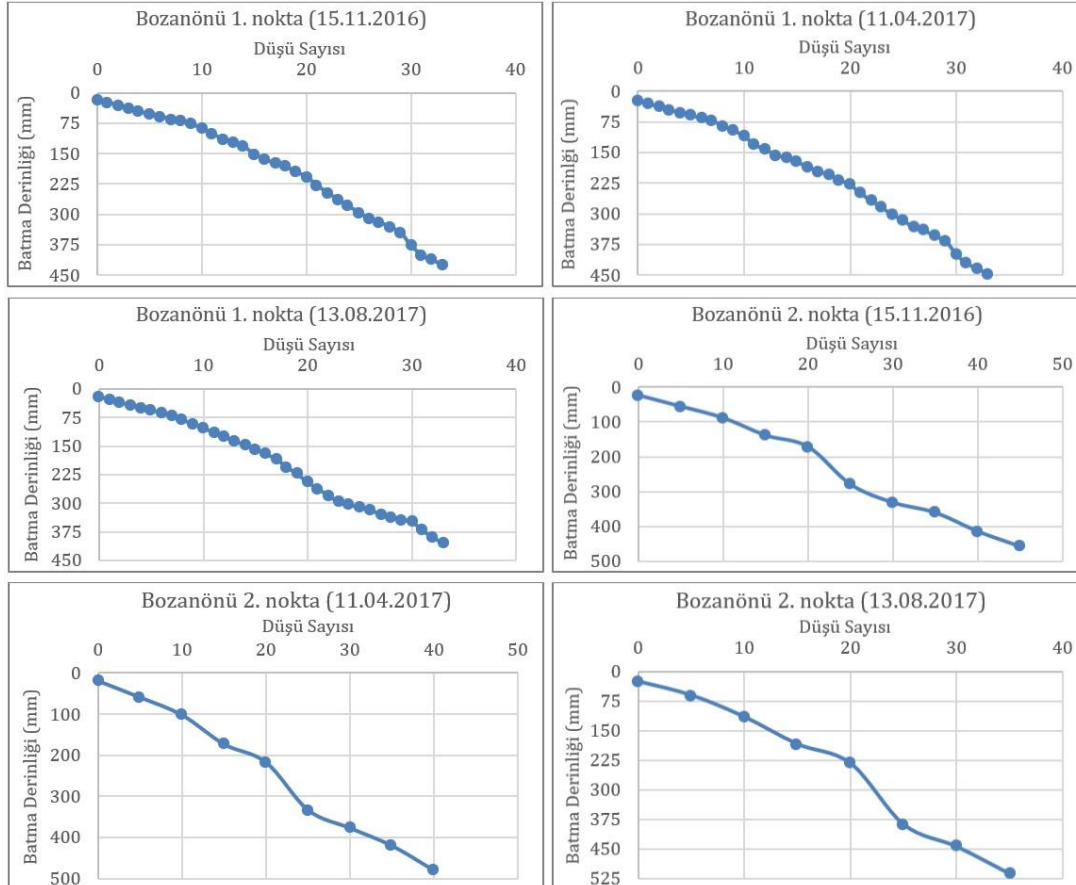
Burada; E_{FWD} = FWD dinamik modülü, $K= \pi/2$ ve 2, sırasıyla rijit ve esnek kaplamalar için, δ_c = Merkez deformasyonu, P = Uygulanan gerilmeyi, r = Plakanın yarıçapını (300 mm) ifade etmektedir.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu bölümde, Isparta çevresindeki bazı sathi kaplamalı yolların belirli kesimlerinde alınan ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Isparta Merkez ve Gönen ilçeleri kapsamındaki köy yollarını oluşturan sathi kaplamalı yolların tabakalarının dayanımları ve yapısal durumlarının belirlenmesi için kaplama üzerinde sırasıyla DCP ve LWD tahribatsız deneyleri gerçekleştirilmiş, deneylerden elde edilen sonuçlara bu bölümde yer verilmiştir. Çoğunlukla trafik ya da mevsimsel etkilerden dolayı beklenenden daha erken dönemlerde bozulmaların meydana gelmesine müsait olması nedeniyle sathi kaplamalı yollarda, yapısal durumun değerlendirilmesi önem taşır. Çünkü sathi kaplama altında yer alan tabakaların rijitlik modülleri kaplama tabakasında oluşan bozulmalar üzerinde oldukça etkilidir (Bahia vd., 2008). Çalışmada, belirlenen üç farklı güzergahta, yukarıda anlatılan yöntemlere göre sathi kaplamalı yolların yapısal durumları tespit edilmiştir. Arazi ölçüm yapılacak noktaların seçiminde, yol uzunlukları etkili olmuştur; toplam yol uzunluklarının eşit aralıklara bölünmesiyle ölçümlerin alınacağı kesimler belirlenmiştir.

3.1. Bozanönü Köy Yolunda Yapılan DCP Deney Sonuçları (DCP Test Results On Bozanönü Village Road)

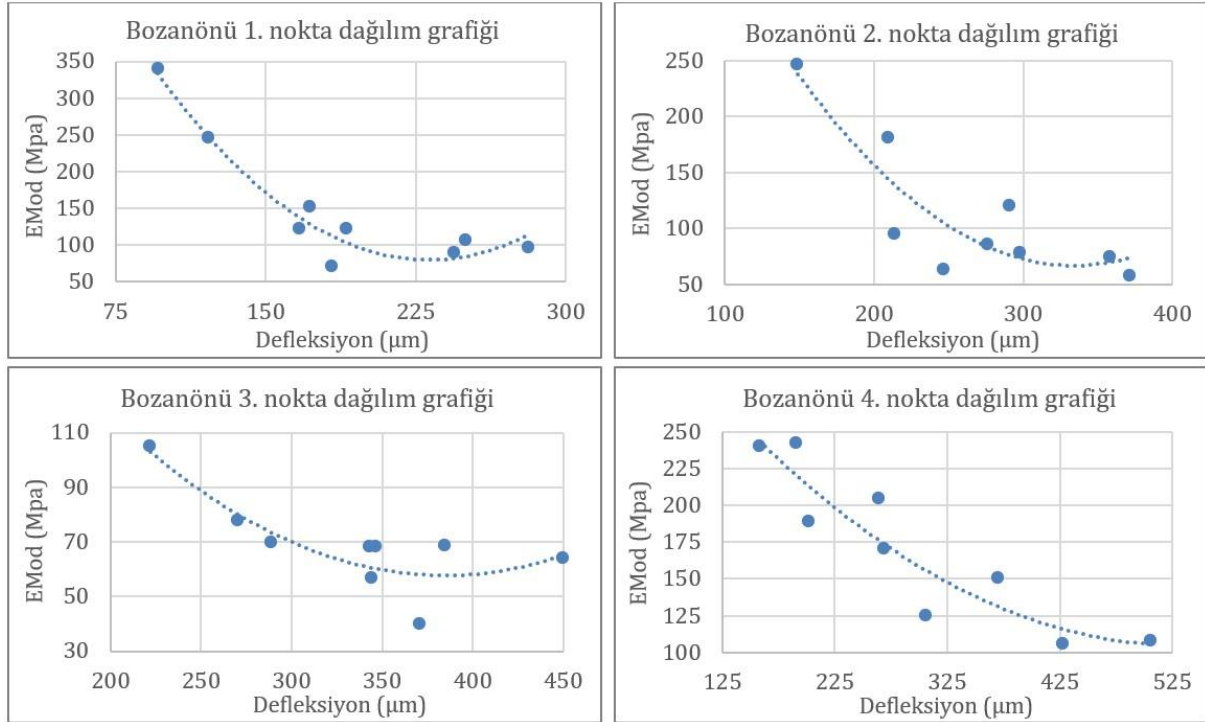
Bozanönü köy yolunda üç farklı tarihte ve farklı noktalarda yapılan DCP deneyleri sonucunda elde edilen batma derinliği değerleri, Şekil 5'te verilmiştir. Bozanönü köy yolu için birinci noktada 0 – 33 düşü sayısına kadar, ikinci noktada 0 – 45 düşü sayısına kadar batma derinliği ölçümü alınmıştır. Grafiklerden de görülebileceği gibi birinci noktada her düşü için batma derinliği değeri verilirken, ikinci nokta için her 5 düşüde bir batma derinliği değeri verilmiştir. Bunun nedeni, peş peşe gerçekleştirilen düşüler arasında belirgin bir batma derinliği farkının görülebilmesidir. Batma derinliğinin en yüksek değeri, ikinci noktada 513 mm olarak elde edilmişken, en düşük değeri birinci noktada 405 mm olarak belirlenmiştir. DCP deney aleti ile hem tabaka derinlik bilgilerine ulaşılmış hem de tabakaların mevsimsel olarak sertlikleri gözlemlenmiştir. Taşların bulunduğu bölgelere denk geldiği belirlenen bazı derinliklerde uyumsuz sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. Bozanönü köy yolu için DCP deney sonuçları (DCP test results for Bozanönü village road)

3.2. Bozanönü Köy Yolunda Yapılan LWD Deney Sonuçları (LWD Test Results On Bozanönü Village Road)

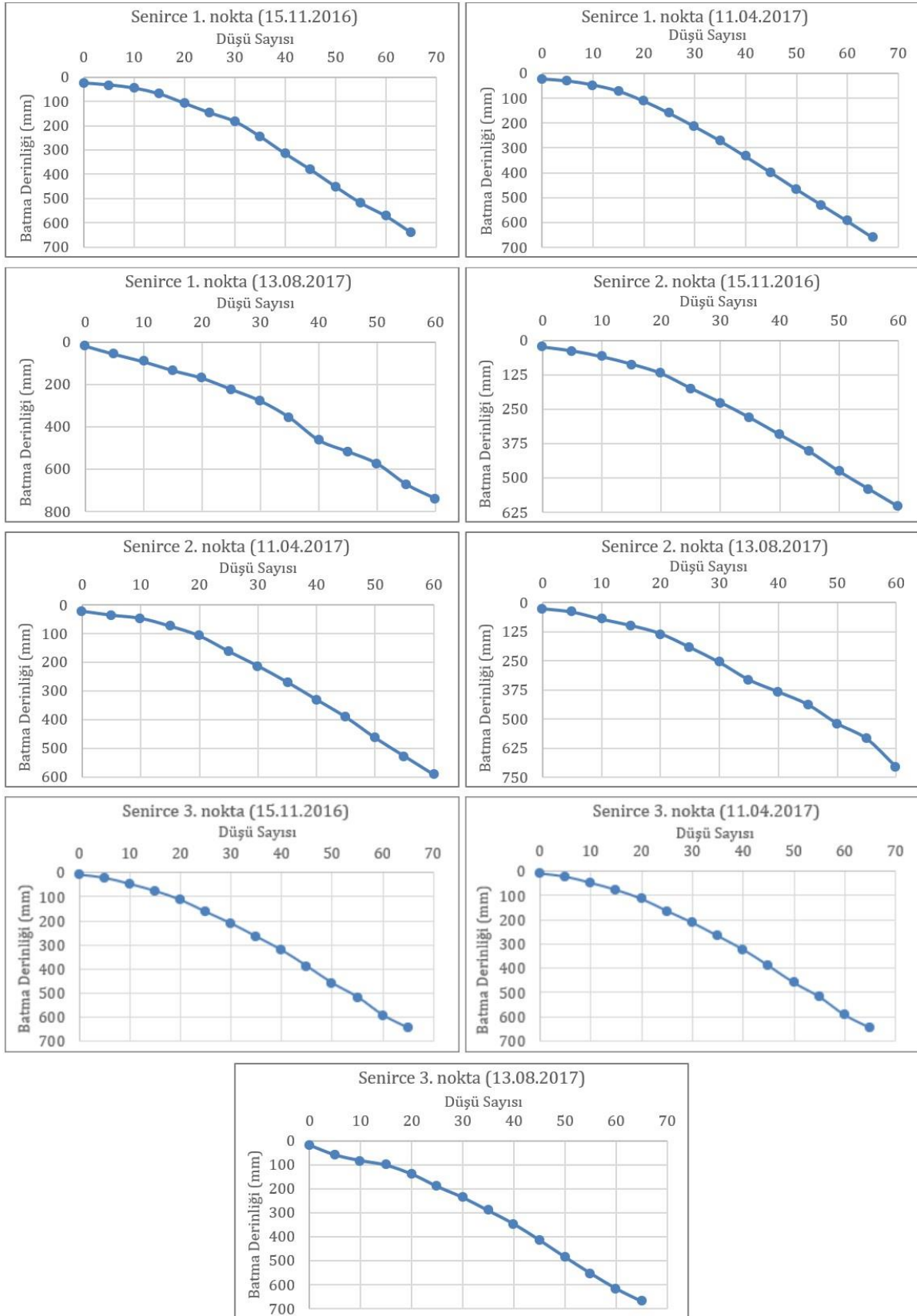
Bozanönü köy yolu için, üç farklı tarihte, dört farklı noktada ve üç farklı yükseklikten düşü yapılarak gerçekleştirilen LWD deneyi sonuçlarına göre çizilen arazi ortamındaki EMod - Defleksiyon dağılımı grafikleri Şekil 6'da görülmektedir. Bozanönü köy yolunda yapılan LWD ölçümlerinden, elastisite modülünün zaman geçtikçe düştüğü anlaşılmaktadır. Bu duruma, mevsimsel şartların ve yolda meydana gelen bozulmaların neden olduğu düşünülmektedir. Bazı mevsimlerde farklı sonuçların elde edilmiş olması, mevsimsel olarak su muhtevasında gerçekleşen değişimlere bağlanabilir.



Şekil 6. Bozanönü köy yolu için LWD deney sonuçları (LWD test results for Bozanönü village road)

3.3. Senirce Köy Yolunda Yapılan DCP Deney Sonuçları (DCP Experiment Results On Senirce Village Road)

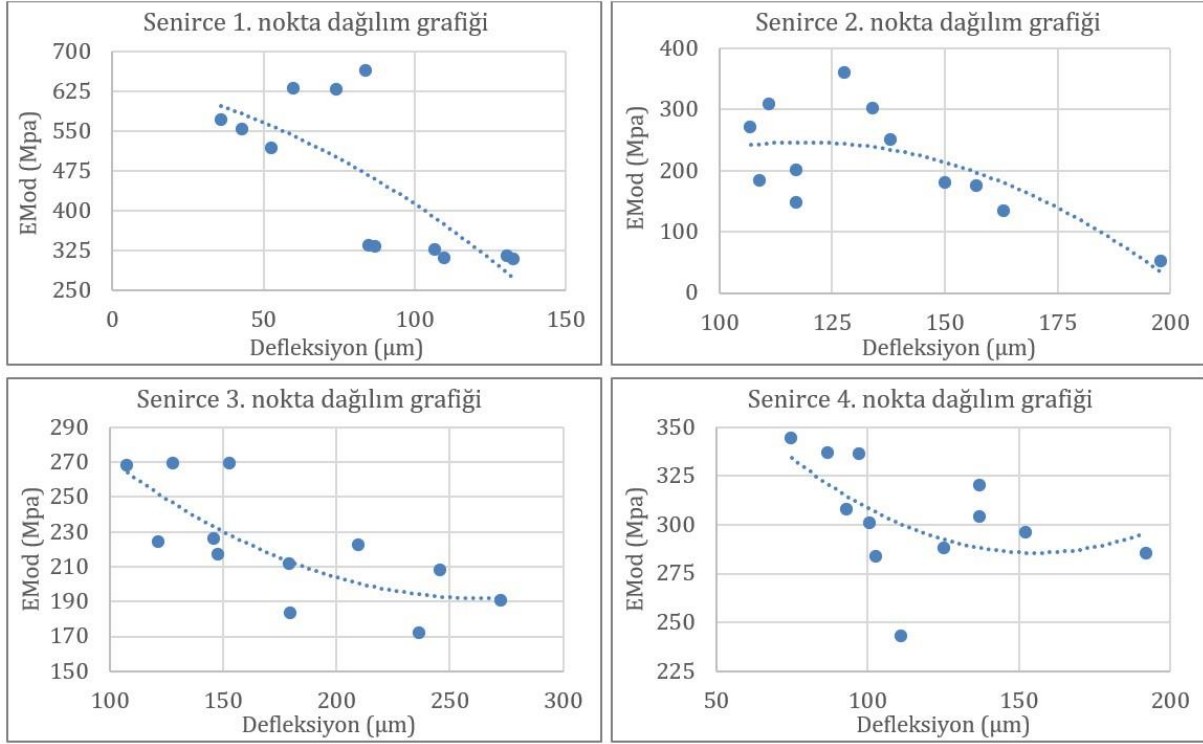
Senirce köy yolunda üç farklı tarihte ve noktada yapılan DCP deneyleri sonucunda elde edilen batma derinliği değerleri, Şekil 7'de verilmiştir. Senirce köy yolu için birinci ve üçüncü noktada 0 - 65 düşü sayısına kadar, ikinci noktada 0 - 60 düşü sayısına kadar batma derinliği ölçümü alınmıştır. Grafiklerden de görülebileceği gibi ölçüm alınan tüm noktalar için her 5 düşüde bir batma derinliği değeri verilmiştir. Bunun nedeni, peş peşe gerçekleştirilen düşüler arasında belirgin bir batma derinliği farkının görülememesidir. Batma derinliğinin en yüksek değeri, ikinci noktada 741 mm olarak elde edilirken, en düşük değeri birinci noktada 592 mm olarak belirlenmiştir. DCP deney aleti ile Senirce köy yolu için hem tabaka derinlik bilgilerine ulaşılmış hem de tabakaların mevsimsel olarak sertlikleri gözlemlenmiştir. Bu yol üzerinde de taşların bulunduğu bölgelere denk geldiği belirlenen bazı derinliklerde uyumsuz sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 7. Senirce köy yolu için DCP deney sonuçları (DCP test results for Senirce village road)

3.4. Senirce Köy Yolunda Yapılan LWD Denei Sonuçları (LWD Experiment Results On Senirce Village Road)

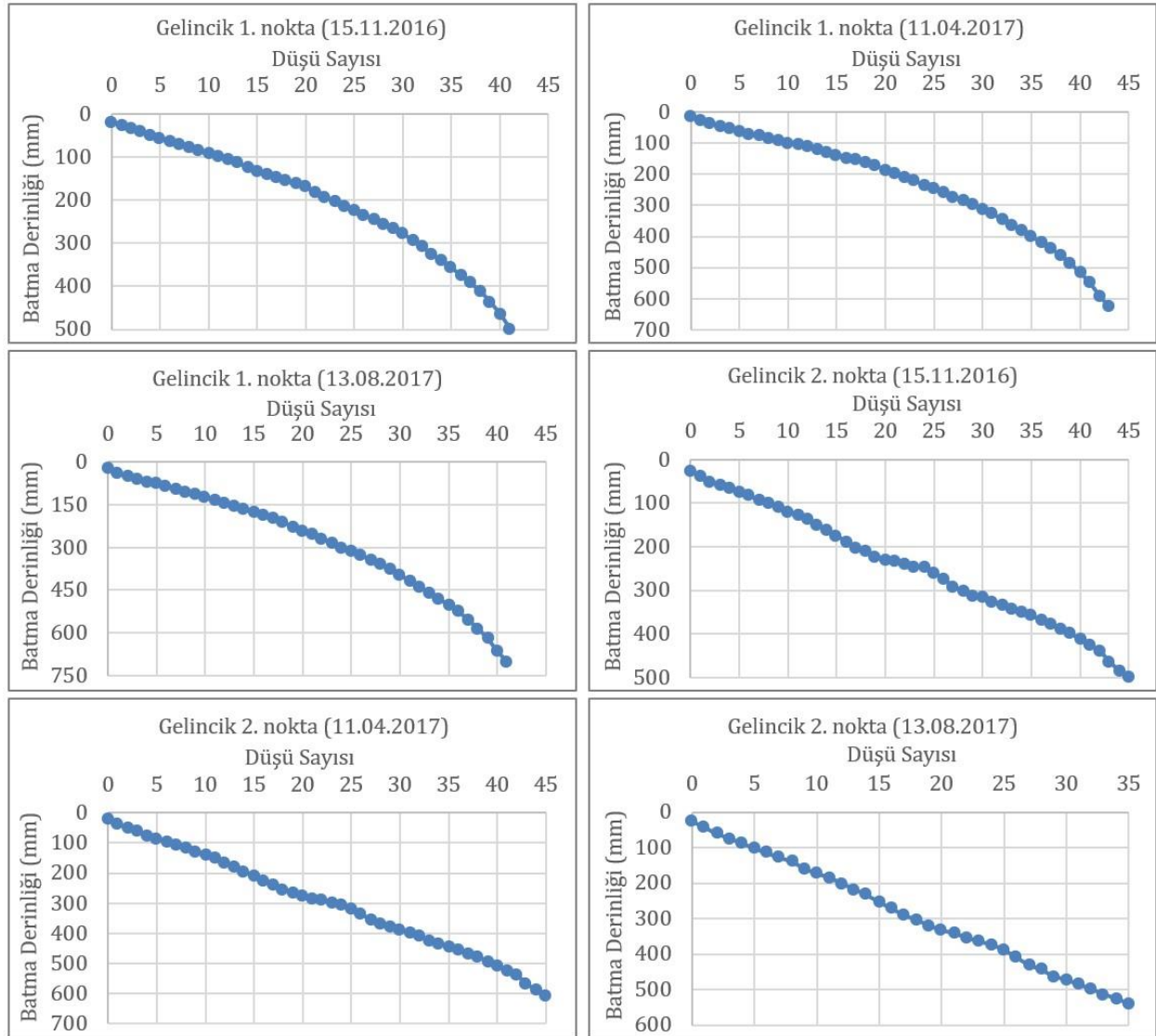
Senirce köy yolu için, 2016 – 2019 yılları aralığına rastlayan dört farklı tarihte, dört farklı noktadan ve üç farklı yükseklikten düşü yapılarak gerçekleştirilen LWD deneyi sonuçlarına göre çizilen arazi ortamındaki EMod – Defleksiyon dağılımı grafikleri Şekil 8’de görülmektedir. Bozanönü köy yolunda olduğu gibi, Senirce köy yolunda yapılan LWD ölçümlerinde de elastisite modülünün zamanla düştüğü görülmektedir.



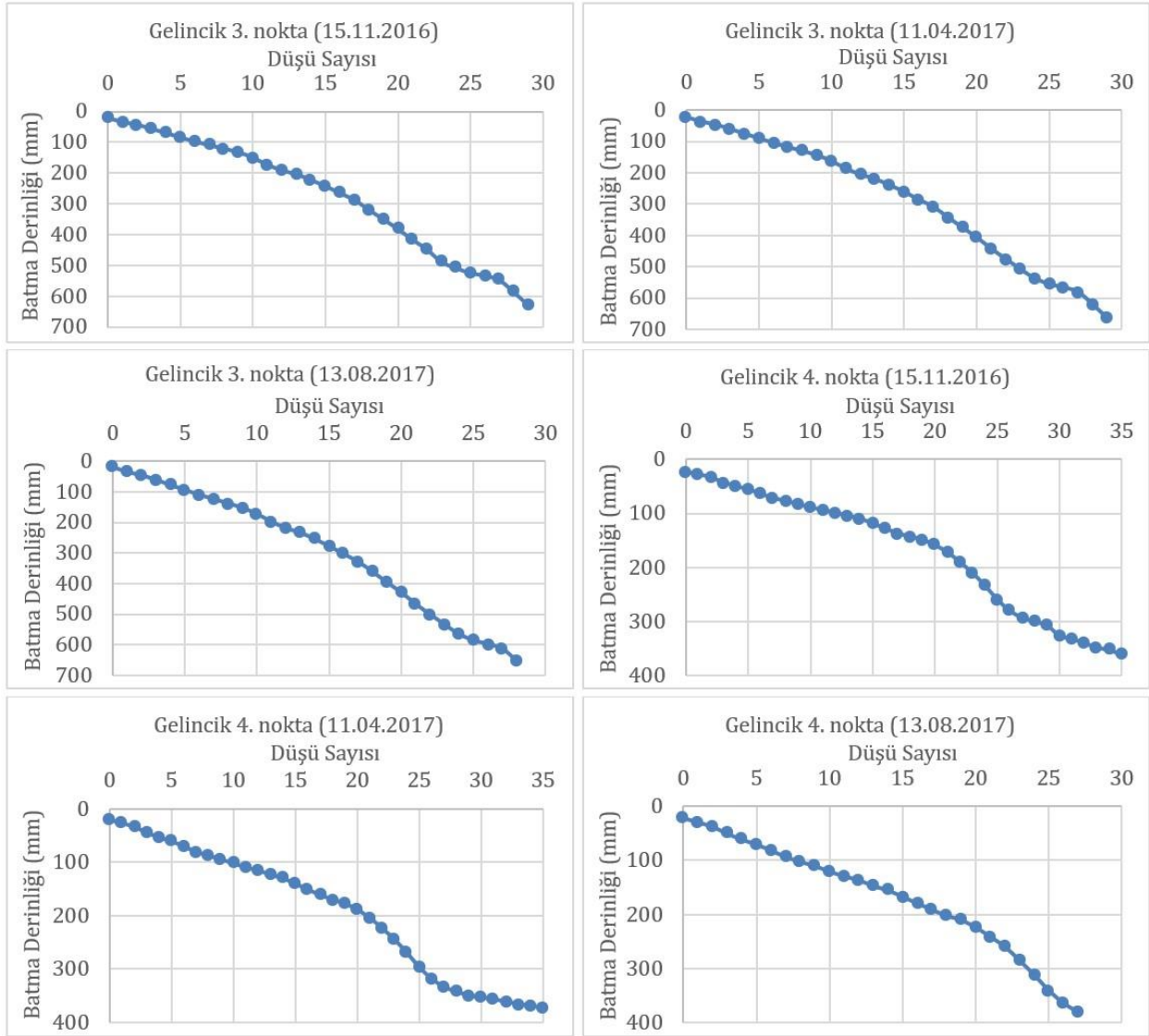
Şekil 8. Senirce köy yolu için LWD deney sonuçları (LWD test results for Senirce village road)

3.5. Gelincik Köy Yolunda Yapılan DCP Denei Sonuçları (DCP Test Results On Gelincik Village Road)

Gelincik köy yolunda üç farklı tarihte ve dört farklı noktada yapılan DCP deneyleri sonucunda elde edilen batma derinliği değerleri, birinci ve ikinci noktalar için Şekil 9’da, üçüncü ve dördüncü noktalar için ise Şekil 10’da verilmiştir. Gelincik köy yolu üzerinde belirlenen birinci noktada 0 – 43 düşü sayısına kadar, ikinci noktada 0 – 46 düşü sayısına kadar, üçüncü noktada 0 – 29 düşü sayısına kadar, dördüncü noktada ise 0 – 35 düşü sayısına kadar batma derinliği ölçümü alınmıştır. Batma derinliğinin en yüksek değeri, birinci noktada 701 mm olarak elde edilirken, en düşük değeri dördüncü noktada 361 mm olarak belirlenmiştir. DCP deney aleti ile Gelincik köy yolu için hem tabaka derinlik bilgilerine ulaşılmış hem de tabakaların mevsimsel olarak sertlikleri gözlemlenmiştir. Bu yol üzerinde de taşların bulunduğu bölgelere denk geldiği belirlenen bazı derinliklerde uyumsuz sonuçlar elde edilmiştir.



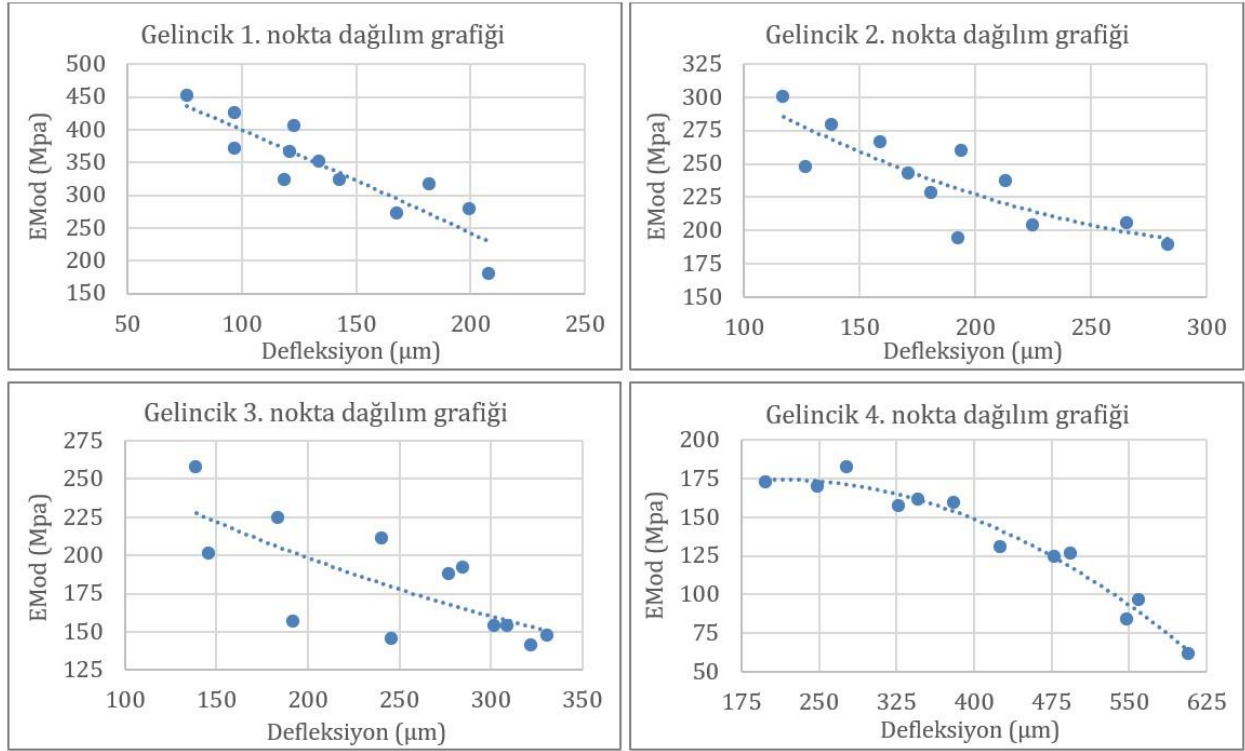
Şekil 9. Gelincik köy yolu 1. ve 2. noktaları için DCP deney sonuçları (DCP test results for 1st and 2nd points of Gelincik village road)



Şekil 10. Gelincik köy yolu 3. ve 4. noktaları için DCP deney sonuçları (DCP test results for 3rd and 4th points of Gelincik village road)

3.6. Gelincik Köy Yolunda Yapılan LWD Deney Sonuçları (LWD Test Results On Gelincik Village Road)

Gelincik köy yolu için de 2016 - 2019 yılları aralığına rastlayan dört farklı tarihte, dört farklı noktadan ve üç farklı yükseklikten düşü yapılarak gerçekleştirilen LWD deneyi sonuçlarına göre çizilen arazi ortamındaki EMod - Defleksiyon dağılımı grafikleri Şekil 11'de görülmektedir. Diğer iki köy yolunda olduğu gibi, Gelincik köy yolundan da elde edilen LWD ölçümlerinde elastisite modülü zamana bağlı olarak düşmektedir.



Şekil 11. Gelincik köy yolu için LWD deney sonuçları (LWD test results for Gelincik village road)

Tüm deneylerden elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- ✓ Isparta çevresindeki bazı kırsal yolların belirli kesimlerinde DCP ve LWD deneyleri gerçekleştirilerek alınan ölçümlerden elde edilen verilerle sathi kaplamalı yolların tabakalarının dayanımları ve yapısal durumları değerlendirilmiştir.
- ✓ DCP deney aleti kullanılarak arazide yapılan ölçümler sonucu, tabaka dayanımları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bazı derinliklerde elde edilen uyumsuz DCP sonuçlarının da taşların olduğu bölgelere rastlayan düşülerden ileri geldiği belirlenmiştir.
- ✓ LWD deney aleti kullanılarak arazide farklı mevsim ve hava koşullarında, farklı noktalarda, farklı yüksekliklerden düşü yapılarak ham veriler alınmıştır. Ham veriler LWDMOD programı ile analiz edilerek düşü yapılan noktalardaki defleksiyon ve elastisite modülü değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre defleksiyon değerlerinde artış, elastisite modülü değerlerinde düşüş saptanmıştır. Elastisite modülündeki düşüşün esnekliği artırdığı, buna bağlı olarak incelenen yollarda kalıcı şekil değiştirmelerin meydana geldiği yorumu yapılmıştır.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışma kapsamında, belirlenen sathi kaplamalı kırsal yolların tabakalarının dayanımları ve yapısal durumlarını görmek için tahribatsız deneyler yapılmıştır. DCP ve LWD deneyleri sathi kaplamalarda etkin şekilde kullanılabilir. Deneylerden elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılarak sathi kaplamalar hakkında ulaşılması hedeflenen bilgiler değerlendirilmiş, deney sonuçlarının birbirini desteklemesine dayanılarak edinilen bilgilerin doğruluğuna kanaat getirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen tüm yollar karşılaştırıldığında, Gelincik köy yolunda meydana gelen kalıcı şekil değiştirmelerin, Bozanönü ve Senirce köy yollarına göre daha yoğun olduğu görülmüştür. Bu durumun ana nedeni ise incelenen diğer iki yola göre Gelincik köy yolunu kullanan araç trafiğinin fazla olmasıdır. Bu çalışma, DCP ve LWD yöntemlerinin sathi kaplamalar için yapılacak değerlendirmelerde kullanımı ile elde edilecek bilgilerin doğru olacağını ortaya koyarak literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışma, sathi kaplamaların yapısal durumunun analizi adına yol gösterici niteliktedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4807-YL1-16 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Destekleri için teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Adams, J.M., Richard Kim, Y., 2014. Mean Profile Depth Analysis of Field and Laboratory Traffic-Loaded Chip Seal Surface Treatments. *International Journal of Pavement Engineering*, 15, 645-656.
- Bahia, H., Jenkins, K., Hanz, A., 2008. Performance Grading of Bitumen Emulsions for Sprayed Seals. 1st Sprayed Sealing Conference.
- Baiz, S., 2007. Using Road Weather Information Systems (RWIS) to Optimize the Scheduling of Load Restrictions on Northern Ontario's Low-Volume Highways. Yüksek Lisans Tezi. Waterloo Üniversitesi, Canada.
- Ese, D., Myre, J., Noss, P.M., Vaernes, E., 1994. The Use of Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for Road Strengthening Design in Norway. *International Conference on Bearing Capacity of Road and Airfield*, 3-22.
- Gürer C., Çetin S., Karaşahin M., Akbulut H., 2011. Bir Sathi Kaplamalı Yol Üst Yapısının Taşıma Gücü Değişimlerinin Prima 100 ve Dynatest 3031 Hafif Düşen Ağırlık Deformasyon Ölçer Cihazları ile İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1-12.
- Karavaşahin M., Ağar E., 2004. Sathi Kaplamalar Üzerine Bir Değerlendirme. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 131-140.
- Karavaşahin M., Gürer C., Sathi Kaplamalarının Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi Ve Bir Performans Modeli Geliştirilmesi. *Karayolları Genel Müdürlüğüne Verilmiş Brifing Notları*.
- Kleyn, E.G., 1975. The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Transvaal Roads Department, Rep. No. 2/74, South Africa.
- Nageshwar R., Varghese G., Shivashankar R., 2008. PFWD, CBR and DCP Evaluation of Lateritic Subgrades of Dakshina Kannada, India. *12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, Goa, 4417-4423.
- Nazzal, M., 2003. Field Evaluation of in situ Test Technology for QC/QA Procedures during Construction of Pavement Layers and Embankments. Yüksek Lisans Tezi. Louisiana State Üniversitesi, Baton Rouge.
- Pratico F.G., Vaiana R., Iuele T., 2015. Macrotecture Modeling and Experimental Validation for Pavement Surface Treatments. *Construction and Building Materials*, 95, 658-666.
- Uz, V.E., Gökalp, İ., 2017. Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 109-120.
- Vonk, W., Korenstra, J., 2004. Geliştirilmiş Sathi Kaplamalar için SBS Modifiye Bitüm Emülsiyonu. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 106-116.



YER RADARI (GPR) İÇİN 3B SAYISAL MODELLEMEDE FİZİKSEL PARAMETRE ETKİLERİ: DNAPL ÖRNEĞİ

Kerem ÖZKAP*, Ertan PEKŞEN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yer radarı,
Sayısal modelleme,
DNAPL,
gprMax.

Öz

Bu çalışmada, yer radarı (GPR) yönteminin sahadaki performansını doğrudan etkileyen fiziksel parametrelerin radargramlar üzerindeki etkisi üç boyutlu sayısal model kullanılarak irdelemiştir. Sayısal modelde ortam suya doygun kum olarak tasarlanmışken hedef gömülü kütle olarak yer altı suları için büyük tehlike arz eden yoğunluğu sudan fazla kirleticiler (DNAPL) olan Trikloroetilen (TCE), Tetrakloroetilen (PCE), Trikloroetan ve Dikloroetan kullanılmıştır. Kaynak olarak ise sayısal ortamda modellenmiş GSSI marka 1.5GHz merkez frekansına sahip GPR anteni kullanılmıştır. İlk aşamada ortama ait fiziksel parametreler değiştirilmiş, DNAPL kütlelerine ait parametreler ise sabit tutulmuştur. İkinci aşamada ise tam tersi olarak uygulanmıştır. Elde edilen yapay radargram incelendiğinde ortama ait göreceli dielektrik değerinin artışı ile DNAPL kütlelerinden kaynaklanan yansımaların radargramlarda daha geç geldiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra TCE'nin kayıtlarda en belirgin yansımalar neden olan ve tespiti en mümkün DNAPL türü olduğu görülmüştür. Elektriksel iletkenlik değerinin kademeli olarak artırıldığı testlerde ise elektromanyetik dalgaları sönmülenerek zayıf yansımalar olarak kayıtlara girmiştir. Manyetik geçirgenlik değerinin kademeli artışının ise kuvvetli ve çok belirgin tekrarlı yansımalar neden olduğu görülmüştür.

PHYSICAL PARAMETER EFFECTS ON 3D NUMERICAL MODELING OF GROUND PENETRATING RADAR (GPR): DNAPL CASE STUDY

Keywords

Ground penetrating radar,
Numerical modeling,
DNAPL,
gprMax.

Abstract

In this study, the effect of the physical parameters directly affecting the performance of the ground radar (GPR) method on the field was investigated by using a three-dimensional numerical model. While the medium was designed as saturated sand, the properties of dense non-aqueous phase liquids (DNAPL) were used as buried mass. Trichloroethylene (TCE), Tetrachlorethylene (PCE), Trichloroethane, and Dichloroethane were selected as DNAPL types. 1.5GHz center frequency GSSI brand GPR antenna was used as a source. In the first stage, while the physical parameters of the medium were gradually increased, the physical parameters of the DNAPL mass were kept constant. In the second stage, the opposite process was applied. When the radargrams were examined, it was observed that the reflections of the DNAPL mass were delayed due to the increase of the relative dielectric permittivity of the medium. In addition, TCE was the most detectable DNAPL type that causes the most obvious reflections. When the electrical conductivity value was increased gradually, electromagnetic energy was absorbed and recorded as weak reflections. It was observed that the gradual increase of the relative magnetic permeability value caused strong multiple reflections.

Alıntı / Cite

Özkap, K., Pekşen, E., (2021). Yer Radarı (GPR) İçin 3B Sayısal Modellemede Fiziksel Parametre Etkileri: DNAPL Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 476-494.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Özkap, 0000-0002-0456-8176
E. Pekşen, 0000-0002-3515-1509

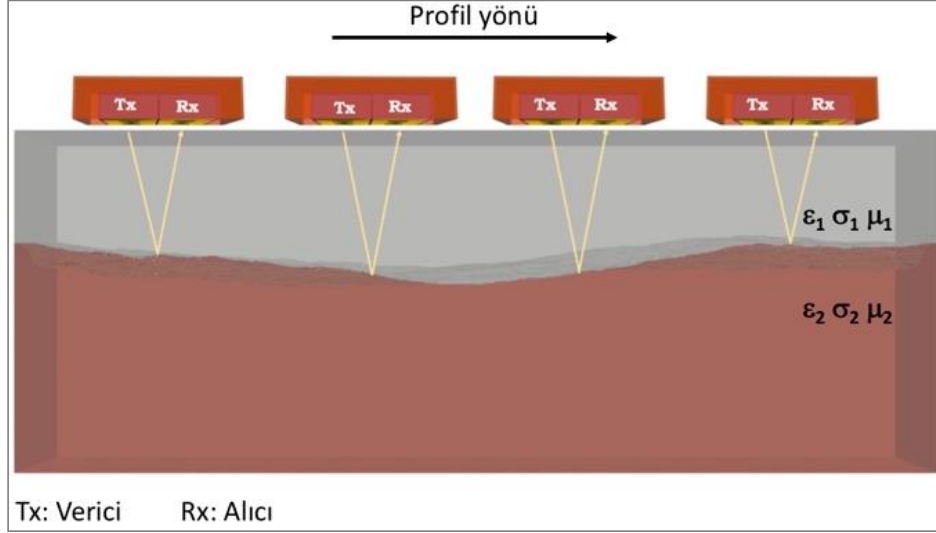
Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	16.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	26.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.02.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: keremozkap@gmail.com

1. Giriş (Introduction)

Yer radarı yöntemi sığ yeraltı yapısını elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla gözlemlemeye yarayan bir jeofizik yöntemdir. Yeraltında bulunan tabakaların ve gömülü nesnelerin yerini ve derinliğini belirlemede kullanılmakta olup son dönem teknolojik gelişmeler ışığında birçok mühendislik probleminin çözümüne katkı sunmaktadır. Bir verici anten aracılığıyla yeraltına gönderilen elektromanyetik dalgaların yansıtıcı ara yüzeylerden yansıyarak veya saçılarak alıcı anten tarafından kaydedilmesi ilkesine dayanmaktadır. Yer altında bulunan jeolojik yapılar ya da insan yapımı gömülü nesneler kendilerine özgü fiziksel özelliklere sahip olabilmektedirler. Yapılar arasındaki bu fiziksel farklılıkların, yer altında yayılan elektromanyetik dalgalara olan etkileri yer radarı yöntemi ile yapıların ayırt edilebilmesi ilkesinin temelini oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Yer radarı yönteminin çalışma prensibi (Ground penetrating radar method and its principle)

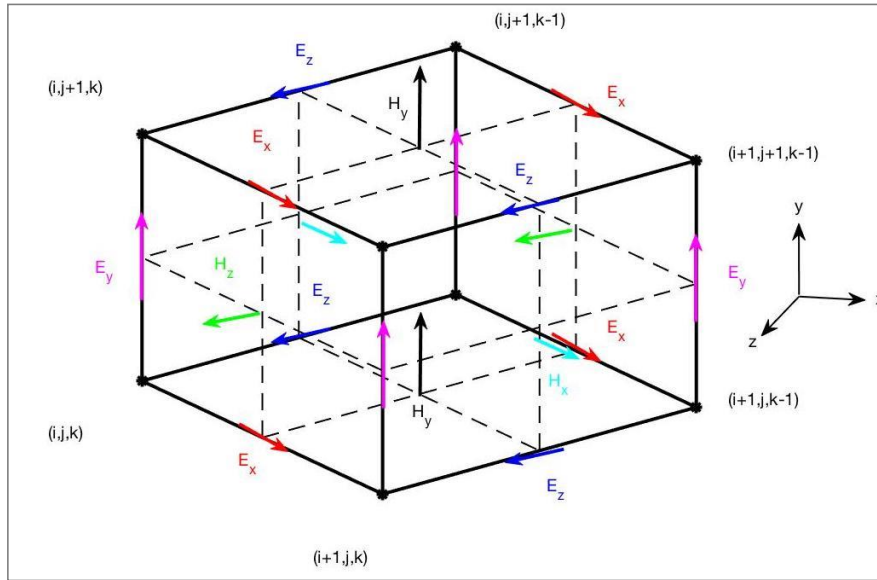
Yer radarı yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar günbegün çeşitlilik göstererek artmaktadır. Bu yöntem ile çalışılan başlıca alanlara; jeolojik araştırmalar (Kadioğlu ve Ulugergerli, 2012), arkeolojik incelemeler (Balkaya vd., 2018), DNAPL araştırmaları (Orlando ve Palladini, 2018; Özkap, 2019), mayın çalışmaları (Giannakis vd., 2015), adli uygulamalar (Schotsmans vd., 2014), otoyol-demiryolu araştırmaları (Bianchini vd., 2019; Bayrak vd., 2020), beton analizleri (Kaplanvural vd., 2018), fosil-kemik araştırmaları (Özkap vd., 2020), Ay yüzeyi (Feng vd., 2019) ve Mars (Hamran vd., 2020) araştırmaları örnek gösterilebilir.

Yer radarı yöntemi için sayısal modelleme çalışmaları ise uzun yıllardır araştırmacılar tarafından ele alınmakta olan bir araştırma konusudur. 1970'li yıllar ile birlikte, elektromanyetik dalgaların farklı göreceli dielektrik geçirgenlik değerine sahip ortamlarda ilerleyişi modellenmiş olsa da (Annan, 1973), yer radarı (GPR) yöntemi özelinde ilk sayısal modelleme çalışması Goodman (1994) ile mühendislik ve arkeolojik amaçlı yapılmıştır. Cai ve McMachen (1995) ve Zeng vd. (1995) çalışmalarında jeolojik tabakaları modellerken, (Carcione, 1996; Zeng vd., 1996) ise gömülü metal, plastik, fibergals ve pvc borular için modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Roberts ve Daniels (1997) ise yer radarı yöntemi için ilk 3B sayısal modelleme örneklerini sunmuştur.

Sayısal modelleme vasıtasıyla elektromanyetik dalgaların yer altındaki davranışlarını anlayabilmek daha kolay hale gelmiştir. Bunun yanı sıra yeni veri işlem tekniklerinin test edilmesinde de kullanışlı bir araçtır. Kurtulmuş ve Drahor (2008) çalışmalarında sayısal modelleme çalışmalarını, yorumlama olgusunu güçlendirmenin bir yolu olarak ifade etmektedirler.

2. Zaman Ortamında Sonlu Farklar Yöntemi (Finite-Difference Time-Domain Method)

Çalışmada sayısal modelleme tekniği olarak Zaman Ortamında Sonlu Farklar Yöntemi (FDTD) kullanılmıştır. FDTD yöntemi elektromanyetik dalga yayılımı problemlerinin çözümünde kullanılan en kullanışlı yöntemlerden biri olup, Maxwell denklemlerinin diferansiyel formunu ayrıklaştırarak çözümünü yapmaktadır. FDTD yöntemi Maxwell denklemleri için ilk kez Yee (1966) tarafından uyarlanmıştır. Yee hücresinin 3B gösterimi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Yee hücresi. (Yee cell)

E_x , E_y , E_z ve H_x , H_y , H_z değerleri x , y ve z için tanımlanmış elektrik alan ve manyetik alan bileşenleridir. i , j , k ise hesaplama ağındaki hücrenin konumu göstermektedir.

Sayısal modelleme çalışmalarında FDTD yönteminin sıkça tercih edilmesinde yöntemle dair birçok avantaj etkili olmaktadır. Bunlardan bazıları; kısmi diferansiyel denklem çözümünde kullanılan sayısal yöntemlerin en etkililerinden biri olması, sade, anlaşılabilir ve verimliliği yüksek bir yöntem olması sayılabilir (Giannopoulos, 2005).

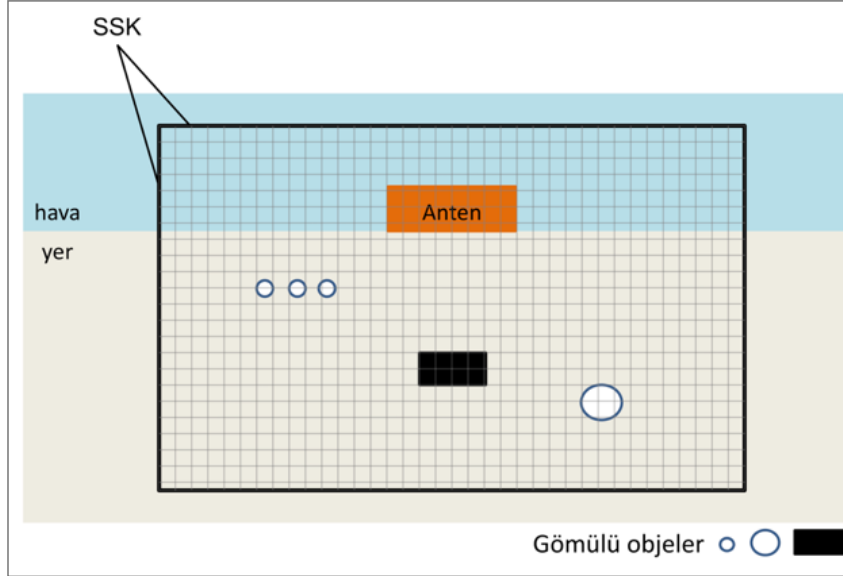
FDTD yönteminde elektromanyetik alanlar zaman-mekân ortamında ayrıklaştırılarak örneklenir. Örnekleme aralığı, çözümü kararlı kılabilmek için uygun olarak seçilmelidir. Bu koşul Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) koşulu olarak bilinmektedir (Elsherbeni ve Demir, 2016). Bu koşula göre, hesaplama alanını yeterli sayıda örnekleyip, hassas sonuçlar elde etmek için hesaplama aralıklarını (Δ_x , Δ_y , Δ_z) problemdeki en küçük dalga boyunu (λ_{\min}) aşmayacak şekilde seçmek gerekmektedir. Seçilecek en büyük zaman aralığı (Δ_t) sistemi kararlı kılabilmek için Δ_t ile Δ_x , Δ_y , Δ_z arasındaki ilişkiyi tanımlayan CFL koşuluna göre belirlenir (Çiydem ve Koç, 2014). Bu koşul;

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \quad (1)$$

burada c ; ışık hızını ifade etmektedir. CFL koşulu, FDTD yönteminin en önemli kısıtlamalarından biridir. Boyutları küçük veya ince nesnelerin çözülmesinde hücre ve zaman aralıklarının aynı oranda küçük seçilmesi gerekmektedir. Modellemede hücre aralıklarının küçük seçilmesi yüksek çözünürlükte çözüm yapma şansı sunarken bilgisayarların işlem yükünü de aynı oranda arttırmaktadır.

FDTD uygulamalarında en çok karşılaşılan hata, hücre aralıklarının CFL koşuluna uygun olarak seçilmemesi sonucunda sayısal dispersiyon meydana gelmesidir. Sayısal dispersiyon, elektromanyetik dalga hızlarının frekansa bağımlı olma durumu olarak açıklanabilmektedir. Bu durum gerçek hayatta kayıpsız bir ortam için elektromanyetik dalganın tüm frekanslar için aynı faz hızıyla ilerlemesi anlamına gelse de CFL koşuluna uygun tasarlanmamış bir FDTD modelinde sayısal faz hızının gerçek faz hızından farklı olduğu anlamına gelmektedir. Sayısal faz hızının gerçek faz hızından sapma eğilimi göstermesi hesaplama alanındaki en küçük dalga boyuna göre seçilmesi gereken hücre aralığına ve aynı zamanda sayısal model içerisindeki elektromanyetik dalgaların yayılma yönüne bağlıdır (Diamanti, 2008).

Sayısal modellerin FDTD yöntemi ile oluşturulabilmesi için gerçekte sınırları olmayan ya da çok geniş olan bölgenin yapay sınırlar ile sonlandırılması gerekir (Balkaya, 2010). Bu bağlamda FDTD hesaplamalarında kullanılacak model alanının gerçeğe yakın bir şekilde temsil edilebilmesi için model çeperi soğurucu sınırlar ile sınırlandırılmaktadır. Böylelikle hem model sınırlarından kaynaklanabilecek gerçekte var olmayan yansımaların önüne geçilmiş olacak hem de sonsuz alan benzetimi yapılmış olacaktır. Soğurucu sınırlar, sayısal modeli oluşturan tüm önemli bileşenleri (kaynak, alıcı, jeolojik yapı, gömülü nesne vb.) içerisine alacak şekilde belirlenmelidir (Şekil 3). Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm sayısal modeller HORIPML sınır koşulları kullanılarak modellenmiştir (Giannopoulos, 2011).



Şekil 3. Soğurucu sınır koşulları (SSK) ile sınırlandırılmış 2B model ortamı. (Absorbing boundary condition and 2D bounded model domain)

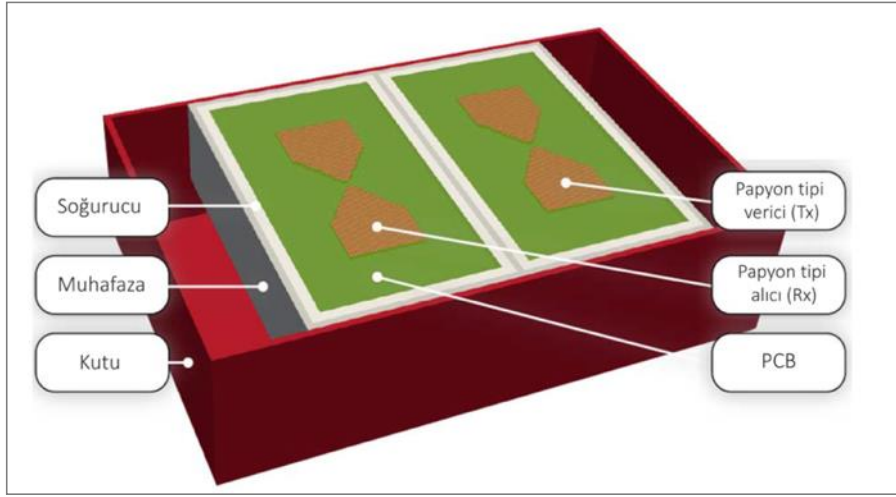
3. gprMax ile 3B Sayısal Modelleme (3D Numerical Modeling with gprMax)

FDTD yöntemi ile elektromanyetik dalga yayılım benzetimleri yapan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır (Giannopoulos, 2005; Irving ve Knight, 2006). Bu çalışmada sayısal modelleme benzetimleri için gprMax yazılımı kullanılmıştır. gprMax, elektromanyetik dalga yayılımı benzetimi yapan açık kaynak kodlu ve kullanıcılar tarafından geliştirilebilen bir sayısal modelleme yazılımıdır (Warren vd., 2016). gprMax ile 2B ve 3B sayısal modellemeler gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada gprMax yazılımının tercih edilmesinde birçok teşvik edici etken bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; yüksek kalitede 2B ve 3B sayısal modellemeye olanak sağlaması, yaygın olarak kullanılan işletim sistemlerine uygun olarak çalışması (Windows, Linux, Mac OS), yüksek hızda modelleme yapabilmesi (CPU ve GPU entegrasyonu), heterojen ve anizotropik model tasarımlarına olanak vermesi, piyasada bulunan bazı ticari antenleri kütüphanesinde modellenmiş olarak bulundurması (GSSI 400MHz, 1,5GHz ve MALA 1,2GHz) ve açık kaynak kodlu ücretsiz bir yazılım olması sayılabilir.

3.1. Kaynak Seçimi (Source Selection)

Bu çalışmadaki tüm sayısal modellemelerde kaynak olarak gprMax kütüphanesinde bulunan ve GSSI firması tarafından üretilen 1.5GHz (Model 5100) merkez frekansına sahip ticari yer radarı antenini temsil edecek şekilde modellenen anten kullanılmıştır (Şekil 4). Bu anten modeli Warren ve Giannopoulos (2011) çalışmasında tanıtılmıştır.

Ticari antenlerin sayısal olarak tasarlanması sırasında dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar bulunmaktadır. Bunlardan ilki anteni oluşturan bileşenlerin fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekliliğidir. Şekil 4’de verilen görselde yer alan bileşenler ve bu bileşenlere ait fiziksel parametreler Tablo 1’de ayrıntılı olarak verilmektedir. Farklı firmaların ürettikleri farklı marka ve model antenlerde değişik türde malzemeler kullanılabilir.



Şekil 4. Ticari anten (GSSI 1.5GHz) krokisi. (A sketch of commercial antenna (GSSI 1.5GHz)). (Warren ve Giannopoulos., 2011)

Tablo 1. Anten modellemesinde kullanılan bazı malzemelerin göreceli dielektrik geçirgenlik ve elektriksel iletkenlik değerleri. (Relative dielectric permittivity and electrical conductivity values of some materials used in antenna modeling). (Warren ve Giannopoulos., 2011)

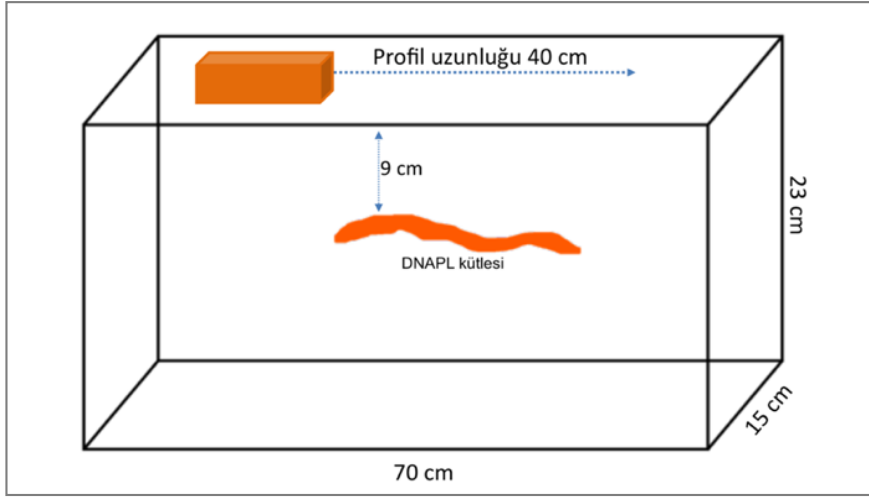
Bileşen	Malzeme türü	Göreceli Dielektrik Sabiti (ϵ_r)	Elektriksel İletkenlik (σ)[S/m]
Papyon	Bakır	1,00	$59,6 \times 10^6$
Muhafaza	Yüksek yoğunluklu polietilen	2,35	0
PCB	Fiberglass	3,00	0
Kutu	Polipropilen	2,26	0
Soğurucu	Köpük	1,58	0,05-1

Yer radarı yöntemi için sayısal modelleme çalışmalarında teorik kaynak yerine gerçeğine uygun olarak tasarlanmış anten modelleri tercih edilmeye başlanmıştır. Sayısal olarak tasarlanmış ticari anten modelleri kullanarak yapılan çalışmalar sahada elde edilen radagramlara daha yakın sonuçlar vermektedir. Bunun yanı sıra sentetik sonuçlar ve gerçek ölçümler iz bazında daha sağlıklı karşılaştırılabilmektedir. Bu amaçla çalışmada teorik kaynak yerine gerçeğine uygun olarak modellenmiş ticari anten modeli kullanılmıştır.

3.2. Sayısal Model Tasarımı (Numerical Model Design)

Fiziksel parametre değişimlerinin sayısal modelleme ile elde edilen sentetik radagramlara etkileri incelemek amacıyla bir model seti oluşturulmuştur. Oluşturulan 3B sayısal model 0,70 x 0,15 x 0,23 m boyutlarında olup içerisinde kum (duygun) ve kirlenici nitelikte DNAPL olacak şekilde tasarlanmıştır. DNAPL'ı temsil eden kütle maksimum yüksekliği 4 cm olup genişliği 1cm'dir. Bu kütle x eksenini boyunca 20 cm'den başlayarak 45 cm'ye kadar uzanmakta olup y ekseninde ise 7,5 cm'ye yani modelin tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. DNAPL kütlesi yüzeyden 9 cm derinde yer alacak şekilde sayısal model içerisinde konumlandırılmıştır (Şekil 5).

Antenin ilk ölçüm pozisyonunda orta noktası x eksenini üzerinde 10 cm'ye gelecek şekilde konumlandırılmıştır ve son ölçüm noktası 50 cm üzerindedir. Böylelikle 0,01 m aralıkla 40 iz hesaplanmıştır. Profiller y eksenini üzerinde 7,5 cm'den geçecek şekilde ve DNAPL'ı temsilen eden kütleyle paralel olarak toplanmıştır. Model-1'e ait detaylı bilgi Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 5. Model geometrisi içerisinde DNAPL kütlesi ve anten konumu. (DNAPL mass in the model geometry and the location of antenna)

Tablo 2. 3B sayısal modelde kullanılan parametreler (Parameters used in the 3D model)

Parametreler	Değerler
Boyut	0,70x0,15x0,23 m
Hücre aralığı	0,001x0,001x0,001 m
Anten modeli	GSSI (Model 5100)
Anten merkez frekansı	1,5 GHz
Zaman penceresi	10 ns
İz aralığı	0,01 m
İz sayısı	40

Yer radarı yönteminin performansını doğrudan etkileyen üç adet fiziksel parametre bulunmaktadır; göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_r), elektriksel iletkenlik (σ) ve göreceli manyetik geçirgenlik (μ_r) değerleridir. Bu üç temel parametrenin değişimi elektromanyetik dalganın yer altındaki davranışlarını doğrudan etkilemektedir. Çalışmada yeraltı yapısını oluşturan ortama ve bu ortam içerisinde bulunan gömülü yapıya ait parametrelerin değişimi sonucu elde edilen sentetik radargramlar irdelenmiştir. Ortamdaki çevre malzeme olarak kum (doğru) kullanılırken gömülü yapı olarak ise Dense non-aqueous phase liquids (DNAPL) olarak adlandırılan suda çözünmeyen yoğunluğu sudan yüksek kimyasalları temsil eden bir kütle kullanılmıştır. DNAPL kütlesinin ortama enjeksiyonundan belirli bir süre sonra aldığı şekil modellemelerde sabit kabul edilmiştir. DNAPL kütlesinin yoğunluğundan dolayı geçirimsiz bir tabaka bulana kadar modelin tabanına doğru hareket edeceği gerçeği göz ardı edilmiştir. Modellemelerde DNAPL türleri olarak Trikloroetilen (TCE), Tetrakloroetilen (PCE), Trikloroetan ve Dikloroetan seçilmiştir. Bu kimyasallara ait göreceli dielektrik geçirgenlik değerleri Ajo-Franklin vd., (2006)'dan alınmıştır.

3.3. Fiziksel Parametrelerin İrdelenmesi (Examination of Physical Parameters)

Bu bölümde ortama ve DNAPL kütlesine ait fiziksel parametre değişimlerini irdelemek amacıyla 5 adet test çalışması gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak ortama ait fiziksel parametrelerin değişimine sonrasında ise gömülü yapıya yani bu çalışma özelinde DNAPL kütlesine ait fiziksel parametrelerin değişimi ele alınmaktadır.

3.3.1. Ortama ait fiziksel parametrelerin değişimi (Change of physical parameters of the medium)

Ortamı oluşturan malzemenin göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0) ve elektriksel iletkenlik (σ_0) değerlerinin kademeli olarak artırılması ile sentetik radargramlardaki değişimler irdelenmiştir. Bu aşamada DNAPL kütlesine ait parametreler (ϵ_d , σ_d ve μ_d) sabit tutulmuştur. Fiziksel parametrelerle birlikte verilen indislerden 'o' ortamı ifade ederken, 'd' ise DNAPL kütlesini tanımlamaktadır.

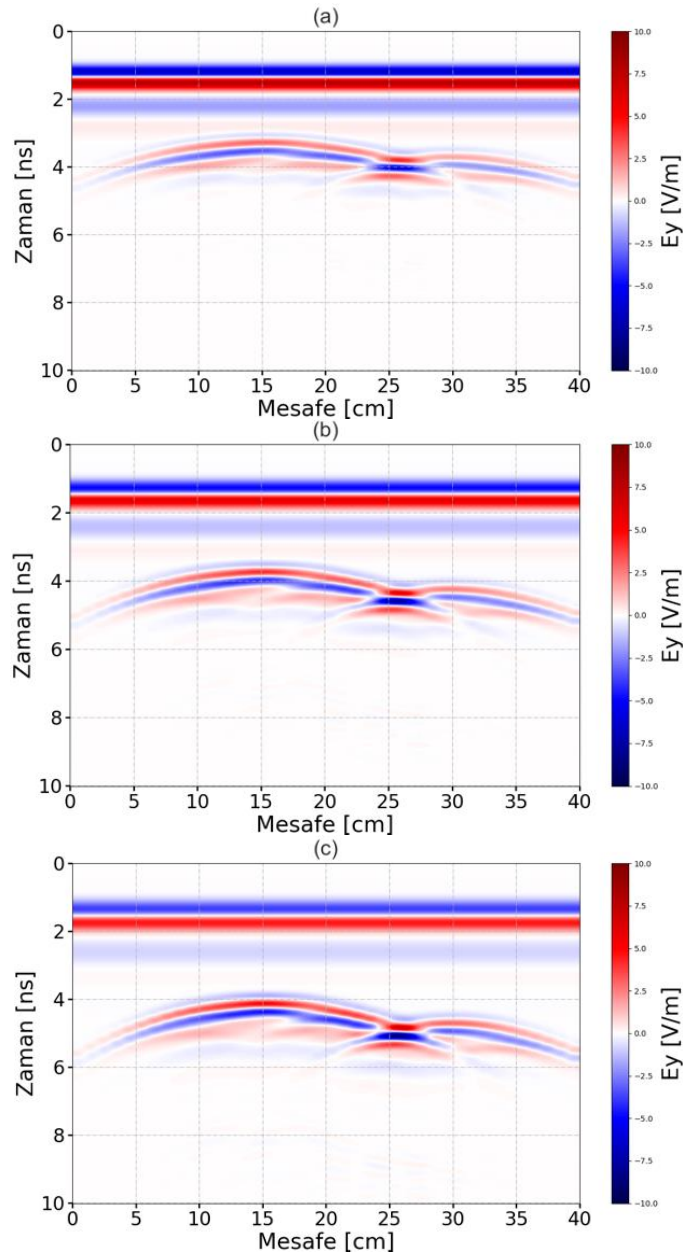
Öncelikle ortamın göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0) değerinin kademeli olarak artışının sentetik radargramlara olan etkisi incelenmiştir. Tablo 3, ortamın göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0) değerinin kademeli olarak artırıldığı

Test 1 benzetimlerine ait bilgileri içermektedir. (a), (b) ve (c) sırasıyla göreceli dielektrik geçirgenliğin aldığı değerleri ifade etmektedir.

Tablo 3. Test 1 çalışmasına ait fiziksel parametreler (Physical parameters of the Test 1 study)

Model 1	Test 1
Ortam göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0)	(a) 15, (b) 21, (c) 27
Ortam elektriksel iletkenlik (σ_0) (S/m)	0
Ortam göreceli manyetik geçirgenlik (μ_0)	1
DNAPL göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_d)	3,409*
DNAPL elektriksel iletkenlik (σ_d) (S/m)	0
DNAPL göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d)	1

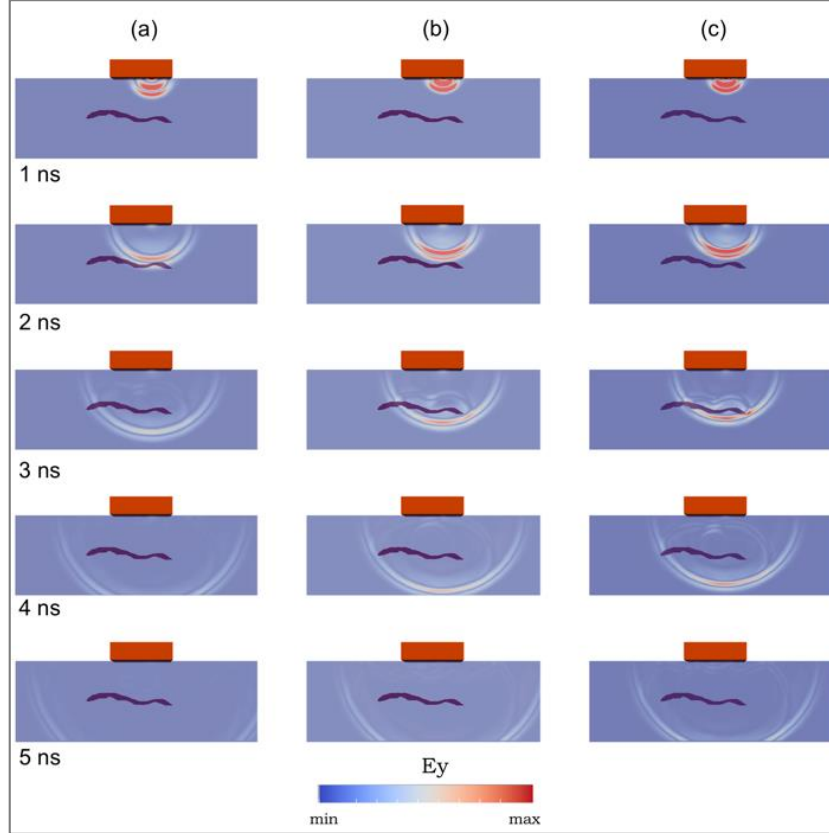
*Trikloroetilen (TCE) kirletici olarak kullanılmıştır.



Şekil 6. Test 1, ortama ait göreceli dielektrik değerinin artırılması ile elde edilen sentetik radargramlar a) $\epsilon_0=15$, b) $\epsilon_0=21$ ve c) $\epsilon_0=27$. (Test 1, synthetic radargrams obtained by increasing the relative dielectric permittivity value of the media with a) $\epsilon_0=15$, b) $\epsilon_0=21$ ve c) $\epsilon_0=27$, respectively)

Ortamın farklı suya doygunluk değerlerini ifade etmek için göreceli dielektrik geçirgenlik değerleri Annan (2003)'de verilen ve suya doygun kumu ifade eden aralıkta seçilmiştir. Ortamın göreceli dielektrik değerlerinin kademeli olarak artırılması sonucu elde edilen sentetik radargramlar Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 6'da gösterilmekte olan sentetik radargramlar incelendiğinde, DNAPL kütesini temsil eden yapıdan gelen yansımaların, ortamda göreceli dielektrik değerinin artışıyla birlikte alıcılara daha geç geldiği görülmektedir.

Sayısal modelleme çalışmalarında elektromanyetik dalga yayılım davranışlarının bir diğer gözlemlenme şekli de anlık görüntülerin (snapshots) karşılaştırılmasıdır. Bu sayede ortama ait fiziksel parametrelerin değişiminin dalga yayılımına olan etkisi incelenebilmektedir. Şekil 7'de ortama ait farklı göreceli dielektrik değeri için elektromanyetik dalga yayınımlarının ilk 5 ns için 1 ns aralıkla anlık görüntülerini vermektedir.

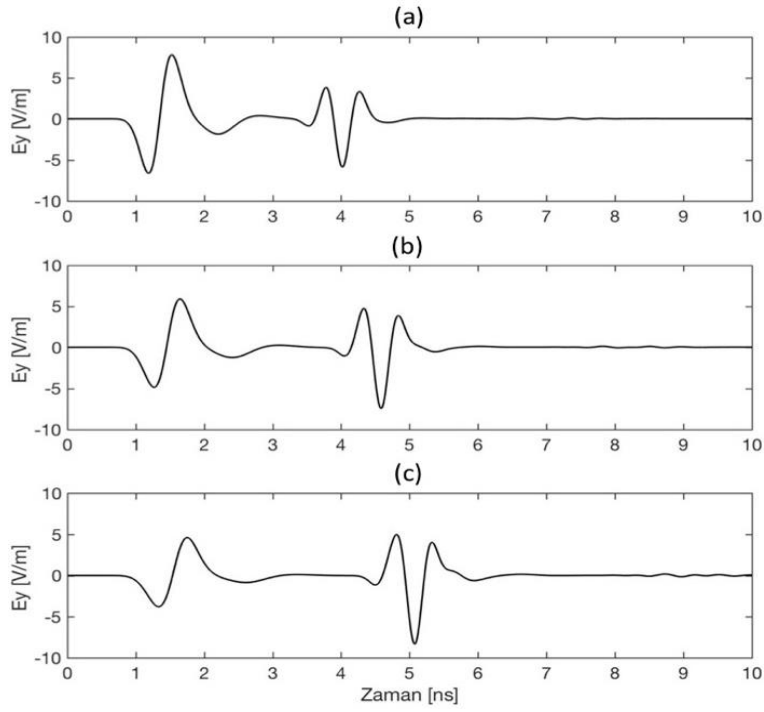


Şekil 7. Test 1, ortama ait göreceli dielektrik değerinin artırılması ile ilk 5 ns için elde edilen anlık görüntüler a) $\epsilon_0=15$, b) $\epsilon_0=21$ ve c) $\epsilon_0=27$. (Test 1, snapshots for the first 5 ns obtained by increasing the relative dielectric permittivity value of the media a) $\epsilon_0=15$, b) $\epsilon_0=21$, and c) $\epsilon_0=27$)

Şekil 7'de verilmekte olan anlık görüntülerde anten pozisyonu 25 numaralı atışı temsil etmektedir. 25 numaralı atış baz alınarak tek iz üzerinden de karşılaştırmalar yapılmıştır. Farklı göreceli dielektrik değerleri için elde edilen izlerin karşılaştırılması Şekil 8'de gösterilmektedir. İzler üzerinden yapılan karşılaştırmada da DNAPL kütesinden gelen yansımanın ortama ait göreceli dielektrik değerinin artışı ile kayıtlarda geciktiği görülmektedir.

Bundan sonraki testlerde de izlerin karşılaştırılması esnasında bu örnekte olduğu gibi 25 numaralı atışa ait izler baz alınmıştır.

Ortama ait parametrelerin irdelendiği ikinci test çalışmasında ise ortamın elektriksel iletkenlik değeri (σ_0) kademeli olarak artırılmıştır ve bu değişimlerin sentetik radargramlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Test 2'de ortama ait göreceli dielektrik geçirgenlik değeri ve DNAPL kütesine ait diğer parametreler sabit tutulmuştur. Tablo 4, ortamın elektriksel iletkenlik değerinin (σ_0) kademeli olarak artırıldığı Test 2 benzetimlerine ait bilgileri içermektedir. (a), (b), (c) ve (d) sırasıyla elektriksel iletkenlik için kullanılan değerleri ifade etmektedir.



Şekil 8. Test 1, 25 numaralı atışa ait, ortam için göreceli dielektrik geçirgenlik değerleri değişimi üzerinden elde edilen izlerin karşılaştırması a) $\epsilon_0=15$, b) $\epsilon_0=21$ ve c) $\epsilon_0=27$. (Test 1, comparison of the traces by obtained in media of various relative dielectric permeability values at the shot point of 25, a) $\epsilon_0=15$, b) $\epsilon_0=21$, and c) $\epsilon_0=27$)

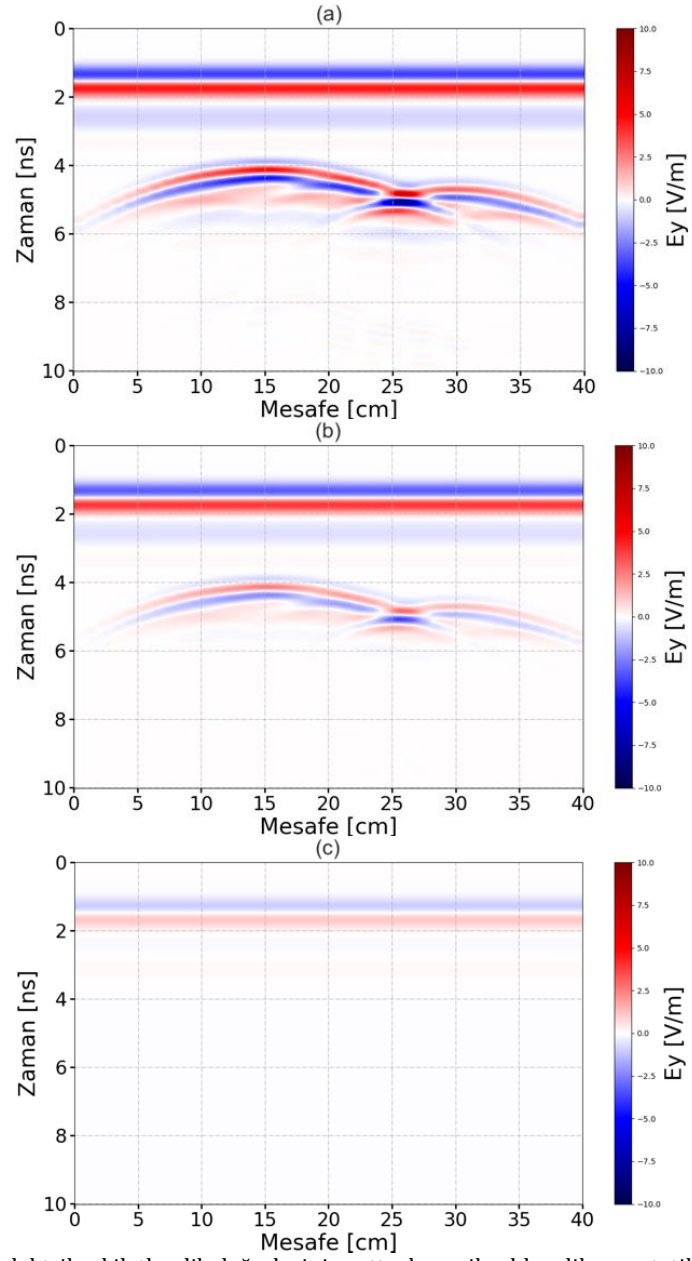
Tablo 4. Test 2 çalışmasına ait fiziksel parametreler (Physical parameters of the Test 2 study)

Model 1	Test 2
Ortam göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0)	27
Ortam elektriksel iletkenlik (σ_0) (S/m)	(a) 0,0001 (b) 0,001, (c) 1
Ortam göreceli manyetik geçirgenlik (μ_0)	1
DNAPL göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_d)	3,409*
DNAPL elektriksel iletkenlik (σ_d) (S/m)	0
DNAPL göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d)	1

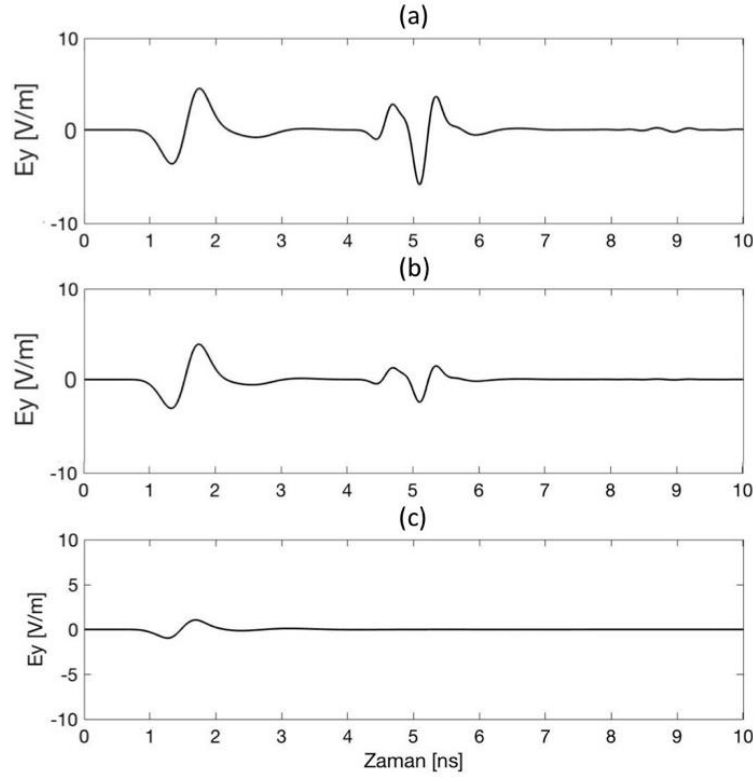
*Trikloroetilen (TCE) kirletici olarak kullanılmıştır.

Ortamın farklı suya doygunluk değerlerini ifade etmek için iletkenlik değerleri (a) ve (b) ile Annan (2003)'de verilen suya doygun kumu ifade eden aralıkta seçilmiştir, (c) ile ise yüksek iletkenliğin etkisi gözlemlemek istenmiştir. Ortamın elektriksel iletkenlik değerlerinin (σ_0) kademeli olarak artırılması sonucu elde edilen sentetik radargramlar Şekil 9'da verilmektedir.

Sentetik radargramların karşılaştırılmasının yanı sıra, 25 numaralı atış baz alınarak, tek iz üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Farklı elektriksel iletkenlik değerleri için elde edilen izlerin karşılaştırılması Şekil 10'da gösterilmektedir. Bu üç adet iz karşılaştırıldığında DNAPL kütlelerinde kaynaklanan yansımanın ortamın elektriksel iletkenliğinin (σ_0) artışına bağlı olarak gücünü kaybederek yansılarda zayıfladığı açıkça görülmektedir. Ortamın yüksek elektriksel iletkenlik özellikleri, GPR ölçümlerinde tercih edilmeyen ve yöntemin başarısını kısıtlayan faktörlerden birisidir.



Şekil 9. Test 2, ortama ait elektriksel iletkenlik değerlerinin artırılması ile elde edilen sentetik radargramlar a) 0,0001 b) 0,001, c) 1 S/m (Test 2, synthetic radargrams obtained by increasing the electrical conductivity values of the media with a) 0,0001 b) 0,001, c) 1 S/m, respectively)



Şekil 10. Test 2, 25 numaralı atışa ait, ortam için elektriksel iletkenlik değerleri değişimi üzerinden elde edilen izlerin karşılaştırması a) $\sigma_0=0,0001$ b) $\sigma_0=0,001$, c) $\sigma_0=1$ S/m (Test 2, comparison of the traces by obtained in media of various electrical conductivity values at the shot point of 25, with a) $\sigma_0=0,0001$ b) $\sigma_0=0,001$, c) $\sigma_0=1$ S/m, respectively)

3.3.2. DNAPL kütlesine ait fiziksel parametrelerin değişimi (Change of physical parameters of the DNAPL mass)

Bu bölümde DNAPL kütlesinin göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_d), elektriksel iletkenlik (σ_d) ve göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d) değerlerinin kademeli olarak değiştirilmesi ile sentetik radargramlardaki değişimler incelenecektir. Bu bağlamda ortama ait parametreler sabit tutulmuştur. Tablo 5, DNAPL kütlesinin göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0) değerini belirlerken doğada kirletici olarak sıkça karşılaşılan DNAPL türleri olan; Trikloroetilen (TCE), Tetrakloroetilen (PCE), Trikloreten ve Dikloroetan'a ait göreceli dielektrik değerleri kullanılmıştır. Bu değerlerin yer aldığı Test 3 benzetimlerine ait bilgiler Tablo 5'de verilmektedir. (a), (b), (c) ve (d) sırasıyla bu kimyasallar için tanımlanan göreceli dielektrik geçirgenlik değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 5. Test 3 çalışmasına ait fiziksel parametreler (Physical parameters of the Test 3 study)

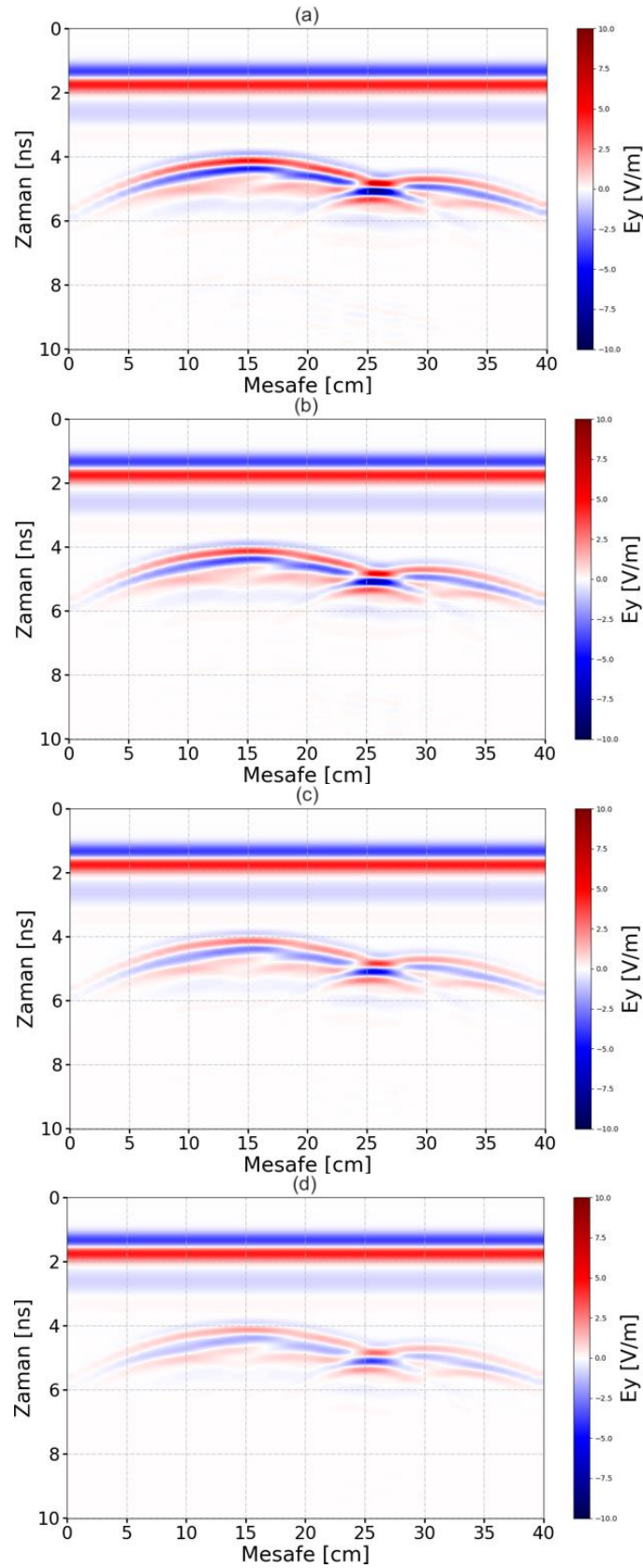
Model 1	Test 3
Ortam göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0)	27
Ortam elektriksel iletkenlik (σ_0) (S/m)	0
Ortam göreceli manyetik geçirgenlik (μ_0)	1
DNAPL göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_d) *	(a) 3,409 (b) 4,660, (c) 7,252, (d) 10,080
DNAPL elektriksel iletkenlik (σ_d) (S/m)	0
DNAPL göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d)	1

*Trikloroetilen (TCE), Tetrakloroetilen (PCE), Trikloreten ve Dikloroetan kirletici olarak sırasıyla kullanılmıştır.

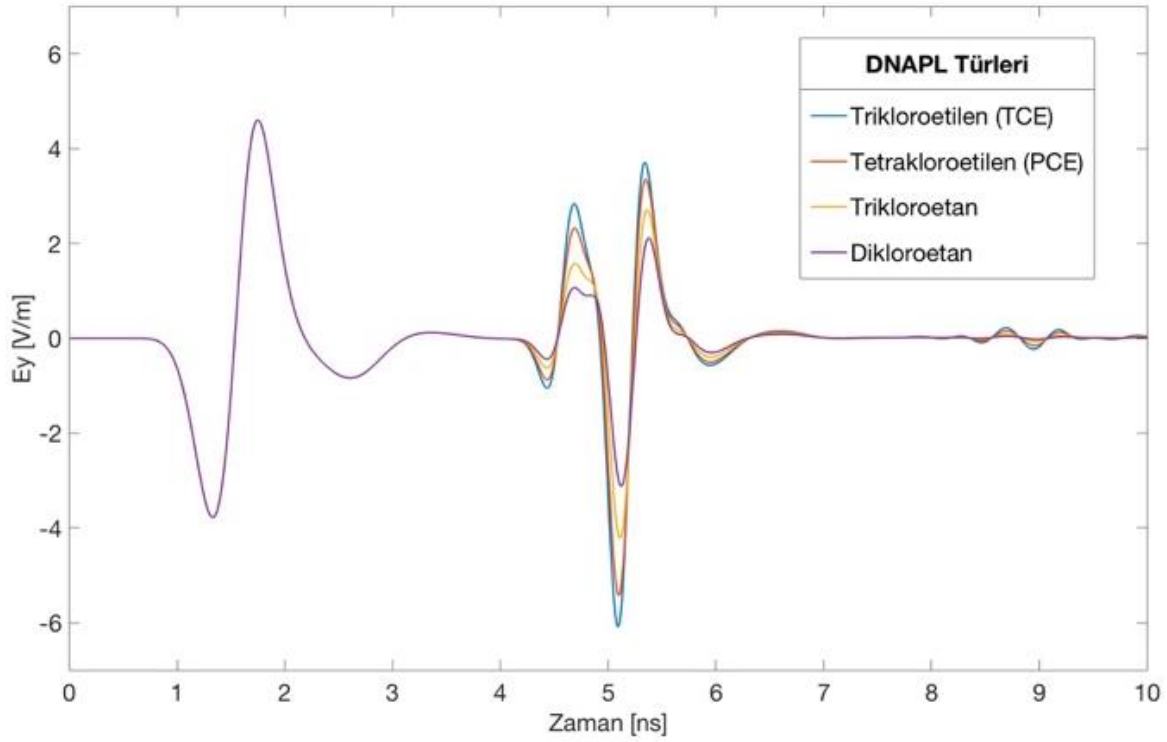
Farklı türde DNAPL kullanılarak elde edilen sentetik radargramlar Şekil 11'de verilmektedir.

25 numaralı atış baz alınarak, tek iz üzerinden karşılaştırmalar Test 3 için de yapılmıştır. Farklı türde DNAPL kirleticilerin kullanılması sonucu elde edilen izlerin karşılaştırılması Şekil 12'de gösterilmektedir. Şekil 12 incelendiğinde DNAPL kütlesi için seçilen kirleticilerin göreceli dielektrik değerleri (ϵ_d) arttıkça, sentetik radargramlardaki yansımalar doğru orantılı olarak zayıflamaktadır. Bunun nedeni ortamın göreceli dielektrik geçirgenlik değeri (ϵ_0) ile DNAPL kütlesinin göreceli dielektrik geçirgenlik değeri (ϵ_d) arasındaki zıtlığın

azalmasından kaynaklanmaktadır. Trikloroetilen (TCE) en güçlü yansımayı verirken, Dikloreetan ise en zayıf yansıma neden olmaktadır.



Şekil 11. Test 3, DNAPL kütlesine ait göreceli dielektrik değerlerinin artırılması ile elde edilen sentetik radargramlar a) Trikloroetilen, b) Tetrakloroetilen, c) Trikloroetan ve d) Dikloreetan (Test 3, synthetic radargrams obtained by increasing the relative dielectric values of the DNAPL mass a) Trichloroethylene, b) Tetrachlorethylene, c) Trichloroethane and d) Dichloroethane)



Şekil 12. Test 3, 25 numaralı atışa ait farklı DNAPL türleri için göreceli dielektrik geçirgenlik değerleri değişimi üzerinden elde edilen izlerin karşılaştırması (Test 3, comparison of the traces obtained in various type of DNAPL regarding with different relative dielectric permeability values at the shot point of 25)

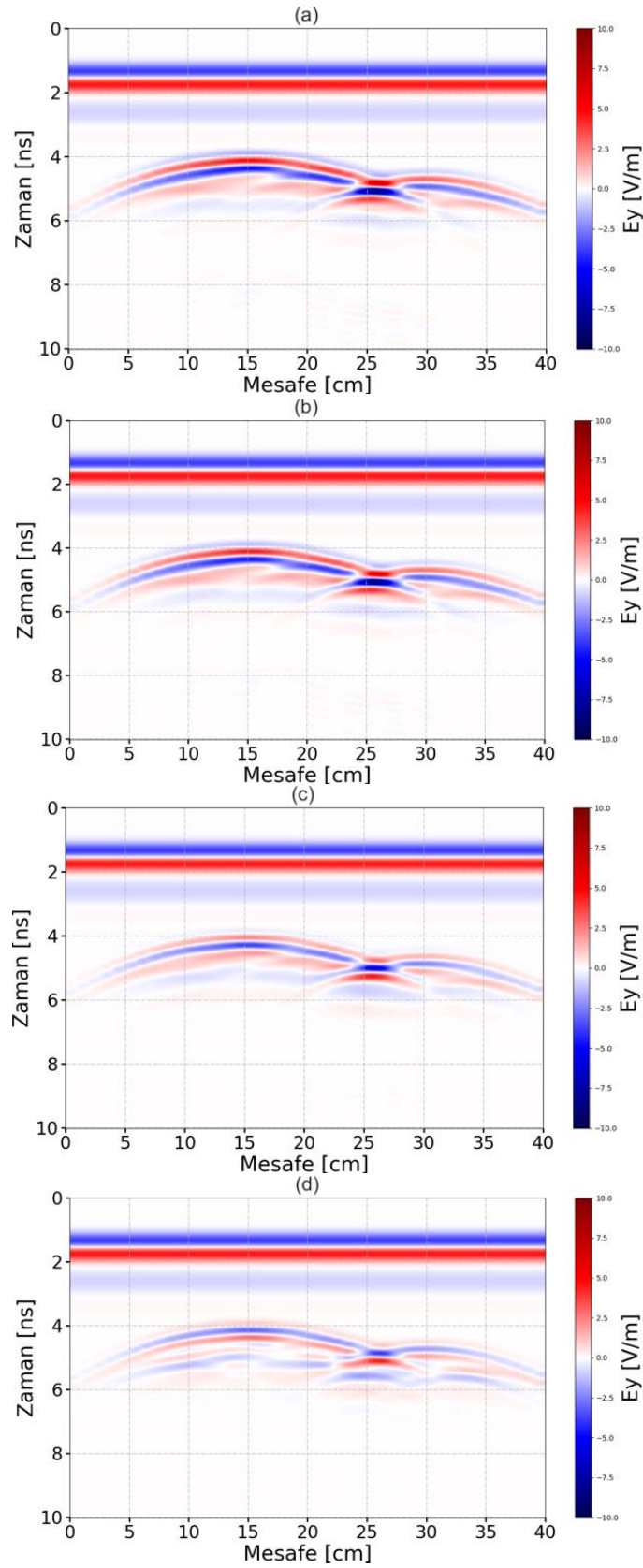
DNAPL kütlesine ait parametrelerin irdelendiği dördüncü test çalışmasında ise DNAPL kütlesinin elektriksel iletkenlik değeri (σ_d) kademeli olarak arttırılmıştır ve bu değişimlerin sentetik radargramlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tablo 6 DNAPL kütlesinin elektriksel iletkenlik (σ_d) değerinin kademeli olarak arttırıldığı Test 4 benzetimlerine ait bilgileri içermektedir. (a), (b), (c) ve (d) sırasıyla elektriksel iletkenlik için kullanılan değerleri ifade etmektedir.

Tablo 6. Test 4 çalışmasına ait fiziksel parametreler (Physical parameters of the Test 4 study)

Model 1	Test 4
Ortam göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_0)	27
Ortam elektriksel iletkenlik (σ_0) (S/m)	0
Ortam göreceli manyetik geçirgenlik (μ_0)	1
DNAPL göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_d)	3,409 *
DNAPL elektriksel iletkenlik (σ_d) (S/m)	(a) 0, (b) 0,0001, (c) 0,001, (d) 0.01
DNAPL göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d)	1

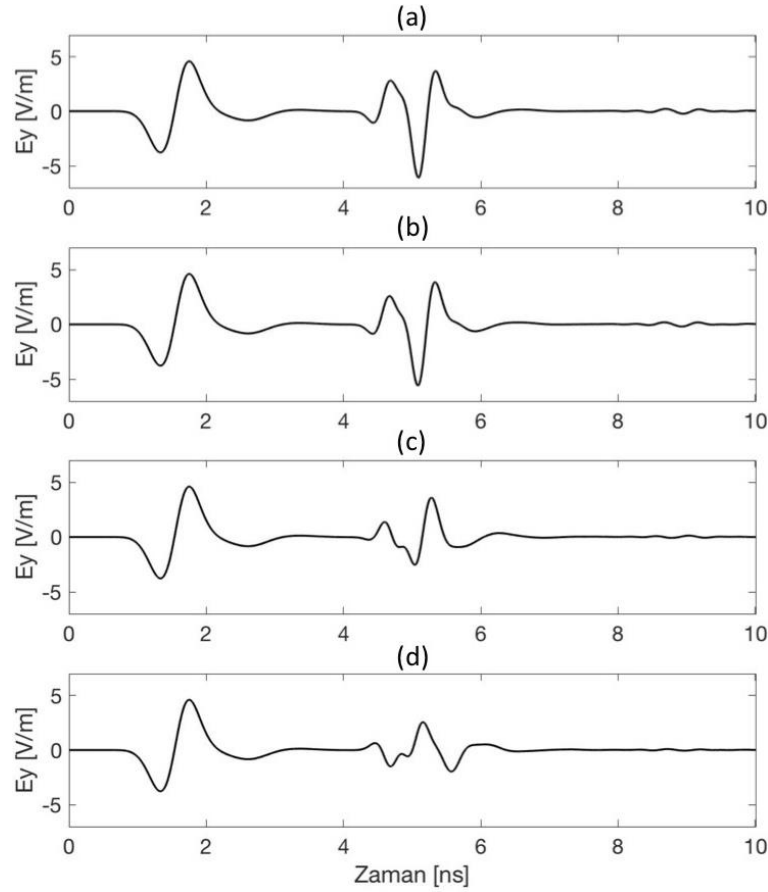
*Trikloroetilen (TCE) kirletici olarak kullanılmıştır.

DNAPL kütlesinin elektriksel iletkenlik değerlerinin (σ_d) kademeli olarak arttırılması sonucu elde edilen sentetik radargramlar Şekil 13'de verilmektedir.



Şekil 13. Test 4, DNAPL kütlesine ait elektriksel iletkenlik değerlerin arttırılması ile elde edilen sentetik radargramlar a) $\sigma_d=0$, b) $\sigma_d=0,0001$, c) $\sigma_d=0,001$, d) $\sigma_d=0,01$ S/m (Test 4, synthetic radargrams obtained by increasing the electrical conductivity values of the DNAPL mass with a) $\sigma_d=0$, b) $\sigma_d=0,0001$, c) $\sigma_d=0,001$, d) $\sigma_d=0,01$ S/m, respectively)

25 numaralı atış baz alınarak, tek iz üzerinden karşılaştırma Test 4 için yapılmıştır. DNAPL kütlesinin farklı elektriksel iletkenlik değerleri (σ_d) için elde edilen izlerin karşılaştırılması Şekil 14'de gösterilmektedir. DNAPL kütlesinin elektriksel iletkenlik değerinin (σ_d) arttırılmasıyla DNAPL kütlesinden yansiyarak gelen yansımaların gücünün azaldığı ve kayıtlarda zayıfladığı gözlemlenmektedir.



Şekil 14. Test 4, 25 numaralı atışa ait farklı DNAPL türleri için elektriksel iletkenlik değeri değişimi üzerinden elde edilen izlerin karşılaştırması a) $\sigma_d = 0$, (b) $\sigma_d = 0,0001$, (c) $\sigma_d = 0,001$, (d) $\sigma_d = 0.01$ S/m (Test 4, comparison of the traces obtained in media with various electrical conductivity value for different DNAPL types of shot 25 with a) $\sigma_d = 0$, (b) $\sigma_d = 0,0001$, (c) $\sigma_d = 0,001$, (d) $\sigma_d = 0.01$ S/m, respectively)

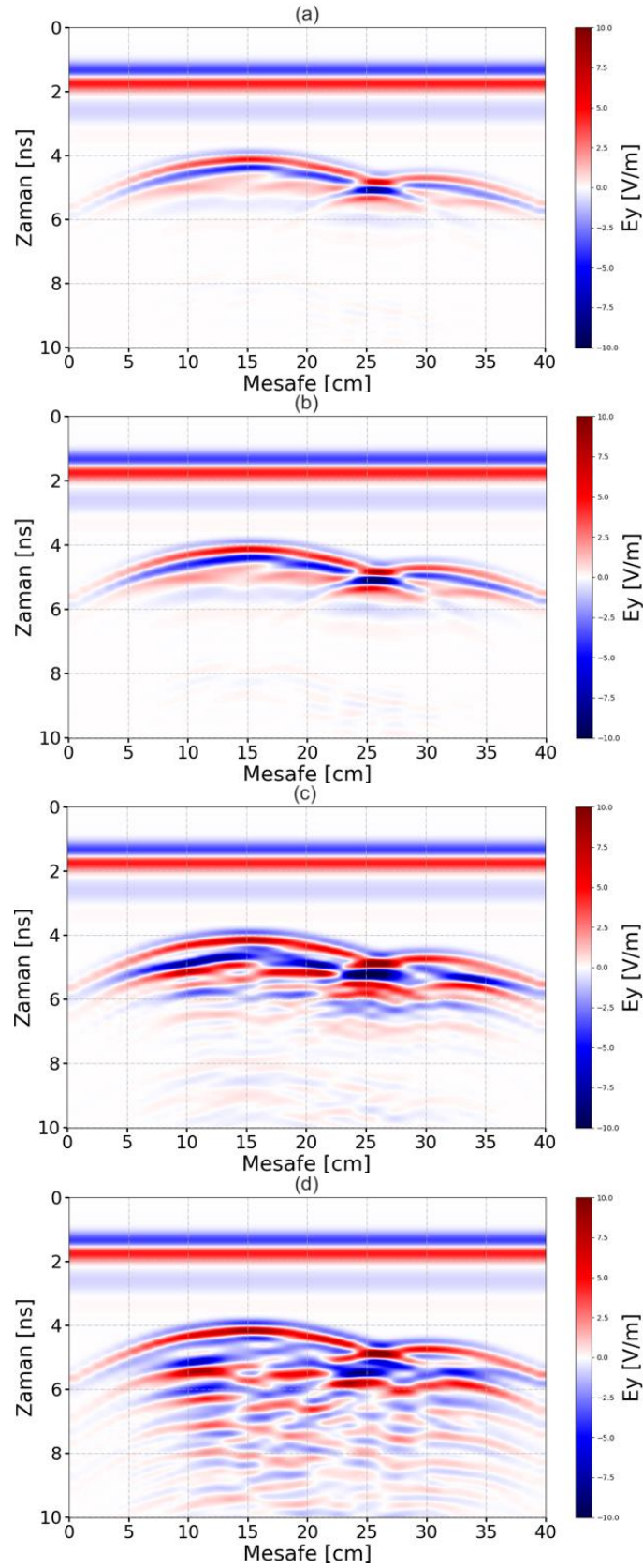
Bu bölümün son test çalışmasında, göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d) değeri değişimlerinin sentetik radargramlara etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda DNAPL kütesine ait göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d) değeri kademeli olarak arttırılmıştır. Ortama ve DNAPL kütesine ait diğer parametreler ise değiştirilmemiştir. Tablo 7 DNAPL kütesinin göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d) değerinin kademeli olarak arttırıldığı Test 5 benzetimlerine ait bilgileri içermektedir. (a), (b), (c) ve (d) sırasıyla göreceli manyetik geçirgenlik için tanımlanan değerleri ifade etmektedir.

Tablo 7. Test 5 çalışmasına ait fiziksel parametreler (Physical parameters of the Test 5 study)

Model 1	Test 5
Ortam göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_o)	27
Ortam elektriksel iletkenlik (σ_o) (S/m)	0
Ortam göreceli manyetik geçirgenlik (μ_o)	1
DNAPL göreceli dielektrik geçirgenlik (ϵ_d)	3,409 *
DNAPL elektriksel iletkenlik (σ_d) (S/m)	0
DNAPL göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d)	(a) 1, (b) 2, (c) 10, (d) 30

*Trikloroetilen (TCE) kirletici olarak kullanılmıştır.

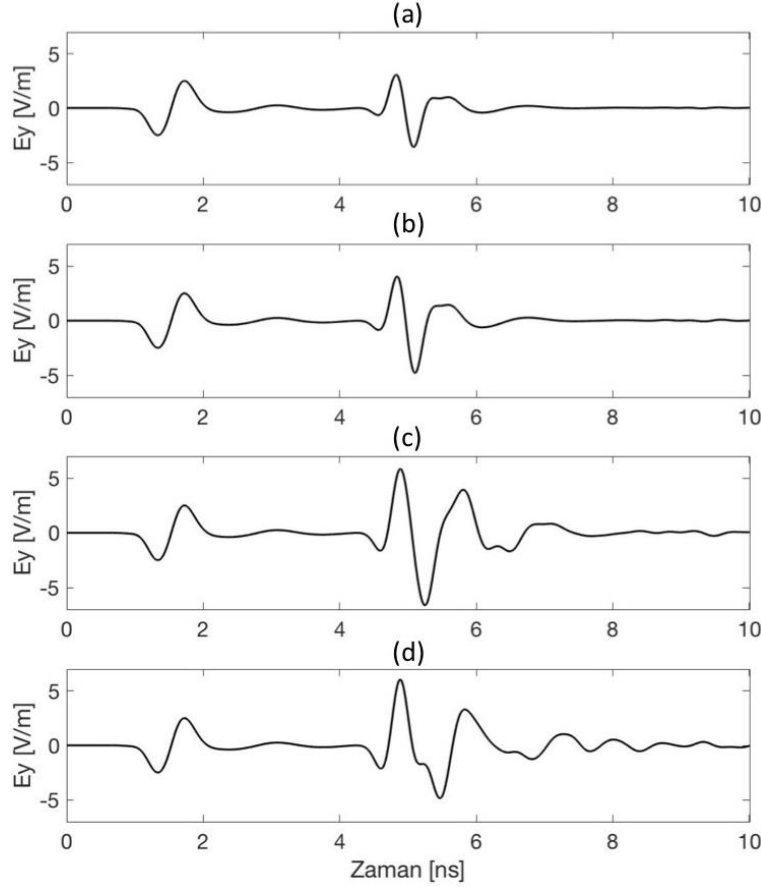
DNAPL kütesinin göreceli manyetik geçirgenlik (μ_d) değerinin kademeli olarak arttırılması sonucu elde edilen sentetik radargramlar Şekil 15'de verilmektedir.



Şekil 15. Test 5, DNAPL kütlesine ait göreceli manyetik geçirgenlik değerinin artırılması ile elde edilen sentetik radargramlar (a) $\mu_d=1$, (b) $\mu_d=2$, (c) $\mu_d=10$, (d) $\mu_d=30$ (Test 5, synthetic radargrams obtained by increasing the relative magnetic permeability value of the DNAPL mass with (a) $\mu_d=1$, (b) $\mu_d=2$, (c) $\mu_d=10$, (d) $\mu_d=30$, respectively)

İncelenen son parametre olan göreceli manyetik geçirgenlik değerinin (μ_d) artışının diğer parametrelerin artışından çok daha belirgin farklar meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

25 numaralı atış baz alınarak, tek iz üzerinden karşılaştırma Test 5 için de yapılmıştır. DNAPL kütlelerinin farklı göreceli manyetik geçirgenlik değerinin (μ_d) için elde edilen izlerin karşılaştırılması Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Test 5, 25 numaralı atışa ait DNAPL kütle için göreceli manyetik geçirgenlik değeri değişimi üzerinden elde edilen izlerin karşılaştırması a) $\mu_d=1$, b) $\mu_d=2$, c) $\mu_d=10$ ve c) $\mu_d=30$ (Test 5, comparison of the traces obtained in media with various relative magnetic permeability for the DNAPL mass at the shot point of 25 with a) $\mu_d=1$, b) $\mu_d=2$, c) $\mu_d=10$ ve c) $\mu_d=30$, respectively)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu araştırma çerçevesinde gerçekleştirilen testler ile ortama ve gömülü kütleye ait fiziksel parametreler değişimlerinin etkileri ayrıntılı bir şekilde ortaya konmuştur. Göreceli dielektrik geçirgenlik, elektriksel iletkenlik ve göreceli manyetik geçirgenlik parametrelerinin kademeli olarak artırılması sonucunda hem ortam hem de DNAPL kütle için meydana gelen değişimler 5 farklı test ile incelenmiştir.

Test 1 ile ortamın göreceli dielektrik geçirgenlik değerinin artışı sonucunda DNAPL kütlelerinden yansıyan dalgaların alıcıya gecikerek ulaştığı görülmüştür. Ortam için göreceli dielektrik geçirgenlik değerinin 15, 21, 27 seçildiği senaryolarda DNAPL kütlelerinden geri dönen yansımaların kayıtlara sırasıyla 3,5ns, 3,9ns ve 4,3ns'de ulaştığı görülmüştür. Bu durum, göreceli dielektrik geçirgenlik değerinin artışı ile ortamdaki elektromanyetik dalga hızlarının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Test 2'de ortam için elektriksel iletkenlik değeri sırasıyla 0,0001, 0,001 ve 1 S/m seçilmiştir. Ortamda elektriksel iletkenlik değerinin artışı ile yer içerisinde doğrudan gelen dalgalar da dahil olmak üzere, DNAPL kütlelerinden yansıyan enerjinin soğrulduğu görülmüştür. Ortam için elektriksel iletkenliğin abartılı bir şekilde 1 S/m seçildiği test sonucunda ise elektromanyetik dalgaların ortamda ilerleyemediği gözlemlenmiştir. Benzer durum saha çalışmalarında yüksek iletkenliğe sahip koşullarda (suya içeriği bulunan killi ortamlar ya da tuzluluk oranı yüksek sahalar) karşılaşılan önemli bir problemdir.

DNAPL kütlelerine ait göreceli dielektrik değerinin arttırıldığı Test 3 çalışmasında dört farklı DNAPL türüne ait özellikler kullanılmıştır. Sentetik radargramlar incelendiğinde en güçlü yansımaların TCE'den en zayıf yansımaların ise Dikoloroetan'ın kullanıldığı senaryolarda elde edildiği görülmüştür. Bunun nedeni ortama ait göreceli dielektrik değeri 27 seçildiği bu testte, göreceli dielektrik geçirgenlik değeri 3,409 olan TCE'nin ortam ile kontrastının diğer kirleticilere göre en yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Dikoloroetan (10,080) için bu kontrast en düşük seviyededir.

Test 4’de DNAPL kütlesine ait elektriksel iletkenlik değerinin artışı sonucunda yansımaların varış zamanlarında kayda değer bir değişiklik olmazken soğurulma etkisi ile özellikle DNAPL kütlesini alt sınırından gelen yansımaların zayıflayarak kayıtlara ulaştığı gözlenmiştir.

Son olarak Test 5’de DNAPL kütlesine ait göreceli manyetik geçirgenlik değerinin artışı ile radagramların incelenen diğer iki parametreden çok daha farklı sonuçlara neden olduğu görülmüştür. Radar dalgalarının DNAPL kütlesine ulaşması ile birlikte yüksek göreceli manyetik geçirgenlik değerleri için (10 ,30) baskın ve tekrarlı yansımalar meydana gelmiştir. Göreceli manyetik geçirgenlik değerinin 1 olarak kabul edildiği testte DNAPL kütlesine ait belirgin yansımalar 6ns’de sonlanırken, bu değer 30 seçildiği senaryoda ise baskın ve tekrarlı yansımaların kayıt süresi olan 10ns boyunca devam ettiği görülmüştür.

Arazi çalışmalarından veya laboratuvar ortamında deneysel amaçlı yapılan yer radarı uygulamalarından önce yapılan sayısal modelleme çalışmaları ile; çalışma için uygun anten frekansı, veri işlem aşamalarında kullanılacak parametreler ve ölçümler esnasında karşılaşılabilecek muhtemel problemleri önceden tespit etme şansı elde edilebilir. Bu çalışma ile laboratuvar ortamında DNAPL tespiti konusunda yapılacak ölçümler öncesinde ön bilgiler elde edilmiş ve yer radarı yöntemi için belirleyici olan fiziksel parametrelerin etkisi ayrıntılarıyla ortaya konmuştur.

Bu çalışma ile gösterilmiş olan modelleme senaryoları benzer şekilde arkeolojik çalışmalar, adli uygulamalar, yapı-donatu araştırmaları, jeolojik incelemeler ve benzeri araştırmalar için gerçekleştirilebilir.

Açıklamalar (Acknowledgement)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB) 2214/A-Yurt dışı Sırası Araştırma Burs Programı Desteği ile İskoçya'nın Edinburgh Üniversitesi'nden gerçekleştirilen araştırma çalışmasının bir kısmını içermektedir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Bu çalışmanın ön sonuçları 7. Yer Elektrik Çalıştay’ında sözlü sunu olarak sunulmuştur.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Ajo-Franklin, J. B., Geller, J. T., Harris, J. M., 2006. A survey of the geophysical properties of chlorinated DNAPLs. *Journal of Applied Geophysics*, 59(3), 177-189.
- Annan, A. P., 1973. Radio interferometry depth sounding: Part I—Theoretical discussion. *Geophysics*, 38(3), 557-580.
- Annan, A. P., 2003. *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications, Sensors and software*, Mississauga, ON, Canada.
- Balkaya Ç., 2010. Karşılıklı Kuyu Yer Radarı Verisinin İki Boyutlu Seyahat Zamanı Tomografisi. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 283667.
- Balkaya, Ç., Kalyoncuoğlu, Ü. Y., Özhanlı M., Merter, G., Çakmak, O., Güven, I. T., 2018. Ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography studies in the biblical Pisidian Antioch city, southwest Anatolia. *Archaeological Prospection*, 25(4), 285-300.
- Bayrak, M. Ç., Tigdemir, M., Kardeşin, M., Çakmak, O., 2020. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 572-581.
- Bianchini C. L., Tosti, F., Economou, N., Benedetto, F., 2019. Signal Processing of GPR Data for Road Surveys. *Geosciences*, 9(2), 96.
- Cai, J., McMechan, G. A., 1995. Ray-based synthesis of bistatic ground-penetrating radar profiles. *Geophysics*, 60(1), 87-96.
- Carcione, J. M., 1996. Ground-radar numerical modeling applied to engineering problems. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 1, 65-81.
- Çiydem M., Koç S., 2014. Zaman-Uzayda Sonlu Farklar Yöntemin Dezavantajları İçin Geometrik Optik Yöntemlerin Kullanımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1).
- Diamanti N., 2008. An efficient ground penetrating radar finite-difference time-domain subgridding scheme and its application to the non-destructive testing of masonry arch bridges. Doktora Tezi. The University of Edinburgh, UK.
- Elsherbeni A. Z., Demir V., 2016. The finite-difference time-domain method for electromagnetics with MATLAB simulations. *ACES Series on Computational Electromagnetics and Engineering*.
- Feng, J., Su, Y., Li, C., Dai, S., Xing, S., Xiao, Y., 2019. An imaging method for Chang’e- 5 Lunar Regolith Penetrating Radar. *Planetary and Space Science*, 167, 9-16.
- Giannakis, I., Giannopoulos, A., Warren, C., 2015. A realistic FDTD numerical modeling framework of ground penetrating radar for landmine detection. *IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 9(1), 37-51.

- Giannopoulos A., 2005. Modelling ground penetrating radar by GprMax, *Construction and Building Materials*, 19(10), 755-762.
- Giannopoulos, A., 2011. Unsplit implementation of higher order PMLs. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(3), 1479-1485.
- Goodman, D., 1994. Ground-penetrating radar simulation in engineering and archaeology. *Geophysics*, 59(2), 224-232.
- Hamran, S. E., Paige, D. A., Amundsen, H. E., Berger, T., Brovoll, S., Carter, L., ...Øyan, M. J., 2020. Radar imager for Mars' subsurface experiment—RIMFAX. *Space Science Reviews*, 216(8), 1-39.
- Irving J., Knight R., 2006. Numerical modeling of ground-penetrating radar in 2-D using MATLAB. *Computers and Geosciences*, 2006, 32(9),1247-1258.
- Kadioglu, S., Ulugergerli, E. U., 2012. Imaging karstic cavities in transparent 3D volume of the GPR data set in Akkopru dam, Mugla, Turkey. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 27(3), 263-271.
- Kaplanvural, İ., Pekşen, E., Özkap, K., 2018. Volumetric water content estimation of C-30 concrete using GPR. *Construction and Building Materials*, 166, 141-146.
- Kurtulmuş T., Drahor M., 2008. Yer radarı modellenmesinde fiziksel ve geometrik parametre etkilerinin araştırılması, *Yerbilimleri*, 29(2), 37-52.
- Orlando, L., Palladini, L., 2019. Time-lapse laboratory tests to monitor multiple phases of DNAPL in a porous medium. *Near Surface Geophysics*, 17(1), 55-68.
- Özkap, K., 2019. Yer radarı yöntemi ile gelişmiş üç boyutlu DNAPL modelleme. Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Türkiye, 599062.
- Özkap, K., Pekşen, E., Kaplanvural, İ., Çaka, D., 2020. 3D scanner technology implementation to numerical modeling of GPR. *Journal of Applied Geophysics*, 179, 104086.
- Roberts, R. L., Daniels, J. J., 1997. Modeling near-field GPR in three dimensions using the FDTD method, 62(4), 114-1126.
- Schotsmans, E. M., Fletcher, J. N., Denton, J., Janaway, R. C., Wilson, A. S., 2014. Long-term effects of hydrated lime and quicklime on the decay of human remains using pig cadavers as human body analogues: field experiments. *Forensic science international*, 238, 141-e1.
- Warren C., Giannopoulos A., 2011. Creating finite-difference time-domain models of commercial ground-penetrating radar antennas using Taguchi's optimization method. *Geophysics*, 76(2), G37-G47.
- Warren C., Giannopoulos A., Giannakis I., 2016. gprMax: Open source software to simulate electromagnetic wave propagation for Ground Penetrating Radar. *Computer Physics Communications*, 209, 163-170.
- Yee, K., 1966. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 14(3), 302-307.
- Zeng, X., McMechan, G. A., Cai, J., Chen, H. W., 1995. Comparison of ray and Fourier methods for modeling monostatic ground-penetrating radar profiles. *Geophysics*, 60(6), 1727-1734.
- Zeng, X., McMechan, G. A., 1997. GPR characterization of buried tanks and pipes. *Geophysics*, 62(3), 797-806.



REGIONALIZATION AND MAPPING OF DISSOLVED OXYGEN CONCENTRATION OF SAKARYA BASIN BY L–MOMENTS METHOD

Hatice CITAKOGLU^{1*}, Betül Tuba GEMICI², Alev DEMİR¹

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

² Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

Keywords

*L–Moments,
Inverse Distance Weighted
Interpolation Method,
Dissolved Oxygen,
Sakarya Basin.*

Abstract

In this study, a regionalization study was conducted with the L–Moments method in order to determine the change of dissolved oxygen (DO) required to sustain the life of aquatic organisms in a given return period and also to consider the effects of all stations. Dissolved oxygen concentration data of 20 meteorological stations for spring months were evaluated between 1995 and 2014 in Sakarya Basin, Turkey. Firstly, Homogeneity Criterion (h_1) statistical results have been determined that the study area is not uniformly homogeneous in Sakarya Basin ($h_1 = 18.01 \gg 1.0$). In order to implement the L–Moments method, the Sakarya Basin is divided into five homogeneous regions considering the topographic characteristics of the basin. In the second phase of the study, L–Moments method; Wakeby distribution proposed by Hosking parameters were estimated. By using the parameter values of the Wakeby distribution, statistical dimensionless DO content values corresponding to the periodic repetition periods were obtained. In the last stage of the study; 50, 100, 200, 500 and 1000 years repetitive thematic DO content maps were created by using Inverse Distance Weighted interpolation method (IDW) with the aim of visually expressing DO content data estimated by L–Moments method.

SAKARYA HAVZASI ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN KONSANTRASYONUNUN L–MOMENTLERİ YÖNTEMİ İLE BÖLGESELLEŞTİRİLMESİ VE HARİTALANMASI

Anahtar Kelimeler

*L–Moments,
Ters Mesafe Ağırlıklı
Enterpolasyon Yöntemi,
Çözünmüş oksijen,
Sakarya Basin.*

Öz

Bu çalışmada, belirli bir dönüş periyodunda suda yaşayan organizmaların yaşamını sürdürmek için gerekli olan çözünmüş oksijen (DO) değişimini belirlemek ve ayrıca tüm istasyonların etkilerini göz önünde bulundurmak için L–Moments yöntemi ile bölgeselleştirme çalışması yapılmıştır. Sakarya Havzası'nda ilkbahar ayları için 20 meteoroloji istasyonunun çözünmüş oksijen konsantrasyonu verileri 1995-2014 yılları arasında değerlendirilmiştir. İlk olarak, Homojenlik Kriteri (h_1) istatistiksel sonuçları, çalışma alanının Sakarya Havzası'nda ($h_1 = 18.01 \gg 1.0$) tekdüze homojen olmadığı belirlenmiştir. L–Momentleri yönteminin uygulanması için Sakarya Havzası, havzanın topografik özellikleri dikkate alınarak beş homojen bölgeye ayrılmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında, L–Momentler yöntemi; Hosking parametreleri tarafından önerilen Wakeby dağılımı tahmin edildi. Wakeby dağılımının parametre değerleri kullanılarak periyodik tekrar periyotlarına karşılık gelen istatistiksel boyutsuz DO içerik değerleri elde edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında; L–Moments yöntemi ile tahmin edilen DO içerik verilerini görsel olarak ifade etmek amacıyla Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW) kullanılarak 50, 100, 200, 500 ve 1000 yıllık tekrarlayan tematik DO içerik haritaları oluşturulmuştur.

Alıntı / Cite

Citakoglu, H., Gemici, B. T., Demir, A., (2021). Regionalization and Mapping of Dissolved Oxygen Concentration of Sakarya Basin by L–Moments Method, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 495-510.

* İlgili yazar / Corresponding author: hcitakoglu@erciyes.edu.tr

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
H. Citakoglu, 0000-0001-7319-6006	Başvuru Tarihi / Submission Date	24.12.2020
B. T. Gemici, 0000-0003-1731-536X	Revizyon Tarihi / Revision Date	10.03.2021
A. Demir, 0000-0002-6636-7425	Kabul Tarihi / Accepted Date	28.03.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

The contamination of water sources due to various reasons limits the use of water. There are many factors that can cause changes in the quantity and quality of water, such as climate change, population, industrial development and changes in land use (Haddeland et al., 2016; Kundzewicz and Krysanova, 2010; Cheng et al., 2018). Freshwater among water sources has always attracted great attention due to its ecological and chemical condition (Diamantini et al., 2018). Especially rivers are the most threatened ecosystems as a receiving environment not only for drinking water supply, but also for water sports, fishing, transport, irrigation of water and tourism in the world (Shanbehzadeh et al., 2014). The rivers are especially polluted by sewage, factory waste, pesticide and fertilizer as a result of agricultural activities. These factors cause changes in the physical, chemical and biological properties of the water quality of river (Granger et al., 2010; Mainali and Chang, 2018).

The concentration of dissolved oxygen (DO) is an important river water quality parameter in terms of providing information about the status of water ecosystems. In other words, DO level is a measure of the health of the water system. DO concentration is frequently used to assess water quality in different reservoirs and watersheds. Therefore, dissolved oxygen modeling and statistical analysis is very important for river water quality analysis (Ay and Kisi, 2012; Kisi et al., 2013).

Monitoring of water quality is significant for determining temporal and spatial changes in aquatic environment, detecting factors affecting water sources, and assessing the effectiveness of preservation of water (Hirsch et al., 2010; Gonzales-Inca et al., 2016). However, the assessment of long-term water quality changes is also a challenging problem. An important issue in the management of water resources is the availability of accurate data (Halbe et al., 2013; Khalil et al., 2016). Additionally, the lack of meteorological, hydrological and water quality data is a major problem in most regions. In some cases, data are not available in essential region and, if data are available, records are either too short or incomplete to obtain adequate hydrological and water quality conditions (Khalil et al., 2016; Alley and Burns, 1983). Many statistical analysis methods are available to address these problems. The L-Moments method is a widely used method for solving various problems related to parameter estimation, regionalization and distribution definition. The L-Moments method was introduced by Hosking (1990) and is the linear combinations of probability-weighted moments. It is easier and more suitable to describe the shape of the distribution by the L-Moments method than the probability-weighted moments method. This method has the ability to summarize statistical distribution in a more meaningful way. Also, this method exhibit relatively small changes. Hosking and Wallis (1993) has developed numerous tests for use in regional studies.

The L-Moments method is commonly used by researchers in regional analysis of flood frequency, annual maximum flow, annual maximum rainfalls and low flows. Citakoglu et al. (2017) carried out regional flood frequency analysis with L-Moments method using the annual maximum flow data observed at 52 current observation stations in the streams into the Black Sea. In this study Generalized Normal Distribution showed the best probability distribution in five of eleven sub-regions. Generalized Extreme Values, Pearson Type 3, Generalized Logistics distributions were found to be the best in three, two and one sub-regions respectively. Chen et al. (2006) conducted a regional low-flow frequency analysis using the L-Moments method with a typical annual 7-day low flow for Dongj iang basin, South China. For these 14 regions, the three-parameter lognormal (LN3) distribution was better matched than generalized logistics (GLO), generalized over-value (GEV), Pearson type III (PIII), and generalized Pareto (GPD) distributions. Kumar and Chatterjee (2005) performed regional flood frequency analysis using the L-moments method for North Brahmaputra Region of India and Extreme Value distribution, Normal distribution and Pearson Type III distributions were found suitable for this region. Seckin et al. (2010) tested the homogeneity of the annual maximum flows of 19 stations in the Ceyhan basin using the L-moments method. They have applied the distributions commonly used in the literature to 2 homogeneous sub-regions and determined that The Generalized Logistic distribution (GLO) is suitable for both sub-regions. Anli et al. (2006) conducted a regional flood frequency analysis for the Göksu Basin by L-moments. The Extreme Value distribution was found to be the most suitable distribution in this analysis. Haktanir et al. (2016) applied the regional index flood method with the L-Moments approach to successive-duration annual maximum rainfall (AMR) series between 5 minutes and 24 hours. However, in the literature, it was observed that L-Moments model studies related to river water quality parameters were limited. Khalil et al. (2016) conducted many methods including the L-Moments to maintain the water quality variable characteristics by using water quality records obtained from the Nile Delta water quality monitoring network in Egypt. In this study, they stated that L-moments

method is better than other methods by producing extended records that maintain variance as well as excess percentages.

The aim of this study was to analyze the dissolved oxygen data between 1995 and 2014 in 20 meteorology stations for Sakarya Basin by using L-Moments method and to obtain a regional DO value for various return periods. Thus, reasonable estimates of monthly DO values can be made in the recurrence periods between 2 years and 1000 years in stream sections without DO measurements. First stage of the study, the homogeneous regions determined according to the homogeneity test L-Moments method was separated in the Sakarya basin for reasonable estimates. In the second stage of the study, dimensionless DO values were obtained with the help of various probability distributions. Third stage of the study, the average DO value given by the regression equation developed for the Sakarya basin is multiplied by any repetitive dimensionless DO value. At the last stage of the study, maps were developed for various repetition periods using the data of all observation stations.

2. Materials and Methods

2.1. L-Moments and L-Coefficients

Since the detailed information about the theory and application of L-Moments method is explained in detail in many studies (Hosking, 1990; Hosking and Wallis, 1997), L-Moments method is given in this subsection in summary. The probability-weighted moments presented by Greenwood et al. (1979) are shown in Eq.(1).

$$\beta = \int_0^1 x(F) \cdot F^j \cdot dF \quad (1)$$

Here $F = F(x)$ of the random variable x the cumulative distribution function (CDF); $x = x(F)$, variable in function is defined as, Inverse of CDF; and β_j , j 's probability-weighted momentum. $j=0$ (1) as can be seen, the probability of 0 is equal to the overall mean of the moment distribution. Similarly, to conventional moments, the parameters are calculated using the analytical relationships between the parameters of the distribution and the β_j 's. Therefore, the first three β_j ($j = 0, 1, 2$) for 3-parameter distributions, first four β_j ($j = 0, 1, 2, 3$) for 4-parameter distributions (for example: for the Kappa distribution), first five β_j ($j = 0, 1, 2, 3, 4$) for the parameter Wake by distribution it is estimated from the current observed series at hand.

Linear Moments (L-Moments) are expressed as linear combinations of probability-weighted moments given in Eq.(1) as follows Eq. (2 a-d) (Hosking and Wallis, 1997),

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (2a)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (2b)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (2c)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (2d)$$

Here, λ_j is the L-moment in j . The L-coefficients of the distribution with the ratio of L-moments are as follows it is defined Eq. (3-5) as (Anli et al., 2007):

$$\tau \equiv L - \text{variation} = \lambda_2/\lambda_1 \quad (3)$$

$$\tau_3 \equiv L - \text{skewness} = \lambda_3/\lambda_2 \quad (4)$$

$$\tau_4 \equiv L - \text{kurtosis} = \lambda_4/\lambda_2 \quad (5)$$

L-variance coefficient $\tau\tau$ is the function of the conventional variance coefficient (standard deviation/ μ), in other words, the probability density function is described by Hosking and Wallis (1997) where the density function is quantifiable. Similarly, the probability density of the L-skew factor τ_3 curvature of function and the L-kurtosis coefficient represents the degree of modality of the probability density function of τ_4 , and quantitatively represent her sharpness. Conventional coefficients are very large take values at intervals, and this is an advantage.

The basis of the L- moments method is based on the L-moments ratios calculated from the series observed at each station. L-variation, L-skewness and L-kurtosis coefficients regional probability distribution parameters are calculated using the weighted averages calculated by proportion of the defined proportions to the series lengths (Hosking and Wallis, 1997). In the L-moments method, since Dalrymple's index-flood model was used in 1960, all elements of each recorded series are divided into their average value, since Dalrymple's index-flood model was used in 1960, all elements of each recorded series are divided into their average value (Dalrymple, 1960a).

Candidate from distributions, test called aptitude test, Z^{DIST} , L- kurtosis coefficients for L-Skewness coefficients of the relationship is chosen as the most appropriate relationship to the region closest to the theoretical distribution. In the homogeneous region, the mean rate of DO is obtained by multiplying the standardized frequency curve, also called the growth curve, or the value given by the standardized variable function defining this curve by the mean rate of DO, which is estimated at that point. For a region where frequency analysis is determined to be homogenous, the following equation is used in the calculation of an average return periods DOQ for a region that is determined to be homogenized in terms of frequency analysis are given by Eq. (6):

$$Q_T = x(F) \times \mu \quad (6)$$

In this equation; μ , is the amount of dissolved oxygen in the geographic point at which the average return period is T year. F is the probability of a small-residual (non-transcendence) of the dissolved T-year mean dissolved oxygen amount associated with the expression of the mean return periods $F = 1 - 1/T$ [or, $T = 1/(1-F)$]. $x(F)$, the average of the cumulative function for the homogeneous region to the standard DO value ($\mu = 1$) which is equal to the one ($\mu = 1$). μ is the average of DO at that geographic point. Regional index- the origin of flood method (Eq. 6), which is common in Dalrymple and Hossing-Wallis methods (Hosking and Wallis, 1997; Dalrymple, 1960b).

2.2. Nonconformity Criteria According to L-Moments Method

The nonconformity criterion is used to determine the L-coefficients in a homogenous region, where the L-coefficients may be too far away from the average of the L-coefficients of the compatible stations. The measure of nonconformity depends on the number of stations in the region. A mismatched station is extracted from the L-Moments-based regionalization analyses in the homogenous region in question. The nonconformity criterion is calculated by the L-coefficients of Station data and expressed in the following formula by Eq. (7):

$$D_i = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot N \cdot (u_i - \bar{u})^T A_H^{-1} \cdot (u_i - \bar{u}) \quad (7)$$

u_i : L-variation, L-skewness, L- kurtosis matrix of coefficients

T: Transpose of Matrix

\bar{u} : weightless group average

A_H : the matrix of the sum of the squares and the cross product

D_i : measure of mismatch for i station

If the number of stations in the homogeneous region is greater than 15, the calculated value of D_i is considered to be incompatible with the station (discordant) greater than 3 (Hosking and Wallis, 1997).

2.3. Homogenization Test According to L-Moments Method

In order to determine whether the series recorded at point stations conforms to the general homogeneity criterion in the homogeneous region, the L-Moments based homogeneity test is developed by Hosking and Wallis, 1997 and symbolized by the H_k statistics are given by Eq. (8).

$$H_k = (V_k - \mu_v) / \tau_v \quad (8)$$

In this equation, $k = 1, 2, 3$ and three different h_k are defined, h_1 is more deterministic because it depends on the L-variability coefficient according to their Hosking, 1990 experience and h_1 is more important.

V_k is the weighted standard deviation of the L-coefficient in k, μ_v and σ_v is the mean and standard deviation of V_k values from 500 synthetic series. If the value of homogeneity statistic is less than 1 ($h_k < 1$), the region is definite homogeneous, $1 < h_k < 2$ the region can be assumed to be homogeneous, in $h_k > 2$, the region is definitely considered heterogeneous (Hosking and Wallis, 1997).

2.4. Choosing the Optimal Distribution According to L-Moments Method

In order to determine the optimal probability distribution to represent the homogenous region, 500 synthetic series are produced with parameters calculated from the L-coefficients of the region and their lengths equal to the average length of the recorded series. This series is calculated from the L-Skewness corresponding to the marked coefficient of L-Kurtosis coefficients of the points of the candidate theoretical distributions in the L-coefficient of Skewness for the corresponding L-Kurtosis coefficient homogeneous distribution within a certain confidence interval the curves of the quantitative differences that could represent the region as the potential distributions are considered. The standard normal distribution is a random variable whose default is Z^{DIST} , and the numerical value

of this statistic is calculated by using the following expressions, distributions with 90 % confidence interval limits of $-1.64 < Z^{DIST} < +1.64$ inequality are distributions that represent the regional distribution of the DOQ in the homogeneous region. The Z^{DIST} , value from the remainder of this range to zero the distribution can be regarded as the most appropriate distribution for the region near. From the rest in this range, the value of Z^{DIST} , which is closest to zero can be regarded as the most appropriate distribution for the region scatter. Z^{DIST} statistics are calculated by Eq. (9–11) comparing the following equations:

$$\beta_4 = N_{SIM}^{-1} \cdot \sum_{m=1}^{N_{SIM}} \tau_4^m - \tau_4^R \quad (9)$$

$$\sigma_4 = \left\{ (N_{SIM} - 1)^{-1} \cdot \left[\sum_{m=1}^{N_{SIM}} (\tau_4^m - \tau_4^R)^2 - N_{SIM} \cdot \beta_4^2 \right] \right\}^{0.5} \quad (10)$$

$$Z^{DIST} = (\tau_4^{DIST} - \tau_4^R + \beta_4) / \sigma_4 \quad (11)$$

In these equations, τ_4^R and τ_4^m are regional L-Basque coefficients calculated from the recorded series and the simulation in m; β_4 is the correction term for the bias in the estimation of the regional mean L-squared coefficient; σ_4 is the standard deviation of the Regional mean L-Basque coefficient calculated from the recorded series; τ_4^{DIST} is the theoretical L-squared coefficient of the candidate probability distribution. N_{sim} is the number of simulation (synthetic series) performed by Kappa distribution. As recommended by Hosking and Wallis (1997) N_{sim} 500 was taken in this study.

In this study, the computer program developed by Hosking was used. This program is available on the website, URL, 2020.

In addition to the Z^{DIST} test, a visual test is also available to select the appropriate distribution for the DOQ data in a homogeneous region. Here, the theoretical relationships between L-Squared (τ_4) and L-Squared (τ_3) coefficients of all potential distributions are drawn and the L-Squared (t_4) and L-Squared (t_3) coefficients of the observed series in the stations within the homogenous region are indicated in the same graph. The distribution of points that are marked closest to the theoretical curves of distributions is generally compatible with the Z^{DIST} test result.

Estimation of DO Series Mean by Regression Analysis

It is possible to define regression analysis as the change of a dependent variable depending on one or more independent variables. The difference of multiple linear regression analysis from simple regression analysis used in this study is that it is related to more than one independent variable (number of independent variables m) rather than a single independent variable (Helsel et al., 2002; Heperkan and Kesgin, 2003; Montgomery and Peck, 2001). In simple linear regression analysis, individual analysis is performed for each of the independent variables. In this case, since the number of variables is more than one, the analysis cannot be expressed graphically (Heperkan and Kesgin, 2003).

For multiple linear regression analysis, we can express y dependent variable according to m independent variables as given in the following equation:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x_1 + \alpha_2 \cdot x_2 + \dots + \alpha_i \cdot x_i + \dots + \alpha_m \cdot x_m + \varepsilon \quad (12)$$

In regression analysis, it is possible to establish a relationship between the coefficients of the independent variables and the dependent variable. Such that the coefficients of the arguments ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$) between the dependent variable values based on whether it receives positive or negative increases–increases as decreasing, or increasing, it can be said there is a relationship. In this equation ε is the margin of error when trying to estimate the dependent variable y.

A hypothesis is a proposition put forward about a situation. In regression analysis, hypothesis tests are performed to determine whether the relationship between variables is strong. The hypothesis is that a pre-determined mass parameter is compared and tested with the parameter of the resulting sample mass. When making decisions about the parameters of the main mass, decisions that are likely to be true or false are acted upon. The hypothesis is considered correct if the sample statistic is close to the parametric value tested. However, if the sample statistic is very different from the parametric value tested, the hypothesis is not considered correct, the hypothesis is rejected.

• **If $H_0: \mathbf{B} = \mathbf{0}$** , the 1-unit change in X at the main mass does not affect y, so there is no relationship between the two variables. (Null hypothesis) the hypothesis that the population parameter does not have a significant difference

between the default real value and the estimated value prior to the investigation and that the difference is due to chance is called the “zero hypothesis”. The situation we believe is in the H_0 hypothesis. The H_0 hypothesis is considered correct unless it can be proved otherwise. Therefore, when creating a zero hypothesis, it is considered to be statistically complete and clear. The zero hypothesis, in the sense that there is no difference, is formulated with equality and is established for the purpose of rejection.

• **If $H_1: B \neq 0$** , the 1-unit change in X at the main mass affects y , so the relationship between the two variables is important. (Alternative hypothesis) the alleged case is addressed in the H_1 hypothesis. The hypothesis that contains a judgment opposite to the one stated in the zero hypothesis is called the alternative hypothesis (H_1). The obligation to prove itself belongs to the H_1 hypothesis. The H_1 hypothesis is always expressed as the inverse of the H_0 hypothesis. The hypothesis that will be accepted if the zero hypothesis is rejected is called the “alternative hypothesis”.

The steps of hypothesis testing are: determination of H_0 , determination of H_1 , determination of severity (α), selection of sample volume (n), selection of test statistics, calculation of critical value, data collection, and calculation of test statistics, statistical decision making and interpretation.

In hypothesis testing, when determining the test statistic, if standard deviation is known for mean or two mean differences; Z^{DIST} test if standard deviation is not known; Z^{DIST} test if $n \geq 30$, t statistic if $N < 30$ is applied. In the test of variances, the F statistic is used for the ratio of two variances.

The t test is used to determine whether the coefficients of the independent variables obtained as a result of regression analysis are statistically significant. For this reason, the t value of the coefficient of each independent variable is calculated. See if the calculated t stays within the % 99 confidence interval limits. The critical value t , which determines the limits of this confidence interval, is taken from the student's t distribution, depending on the degree of freedom and half of the complement of the confidence interval probability selected (%0.5, %2.5 or %5).

If the calculated t value provides the $-t_{kr} < t < t_{kr}$ inequality, it means that the x_j argument is meaningless and must be excluded from the regression model. If $t < -t_{kr}$ or $t > t_{kr}$, the x_j argument used to estimate y is meaningful and must be present in the regression expression (Haktanir, et al. 2013, Citakoglu, 2015, Yağbasan et al. 2020).

In addition to determining whether the candidate arguments are meaningful with the help of the t test, the case that any candidate independent variable is dependent on the other independent variables should also be tested. This is referred to in the literature as ‘Variance Inflation Factor (VIF)’ analysis.

If m is one of the independent variables, for example j' (x_j) is dependent on other $m - 1$ independent variable with a high coefficient of determination, such as a dependent variable, this does not make a concrete contribution to the healthy prediction of x_j . The coefficient of determination is deceptively high. In this case, it is said that there is multi-collinearity among some candidate independent variables.

* $VIF_j < 5$ arguments can be used in the model or in regression.

* $VIF_j > 5$ arguments must be removed from the model or regression (Haktanir, et al. 2013, Citakoglu, 2015).

The coefficient of determination is a measure of how close the regression analysis is to the real situation. When looking at the significance of the coefficient of determination in the regression analysis, if $F \geq F_{kr}$ the significance condition is provided.

In this study, it is tried to make estimation in order to find the average value of the existing DO series and the regions where there are no stations in the Sakarya Basin. A suitable regression model was sought; t test, f test, VIF values were taken into consideration. Minitab package program was used for this stage. The results of the regression analysis were shared and explained in the findings and discussion section.

Inverse Distance Weighted Interpolation Method (IDW)

Inverse distance weighted interpolation method (IDW); It can be said that it is the most commonly used method in non-geostatistics Geographic Information Systems (GIS). Geostatistics is a statistical calculation method that takes into account the relationship between samples and the coordinates from which the samples are taken. However, the IDW method is a regional intermediate value estimation method, as it can only generate estimates from neighboring points. This method makes the estimation of unknown points by using the distance between the points in the weight calculation. It can be said that the IDW method is based on the fact that the nearby points have a higher weight on the surface to be interpolated than the distant points. It is mainly based on the mathematical

function known as the Shepard's Method. In equation 13, the data used in the estimation are expressed as any exponent of the distance inversely proportional to the distance. In other words, spatial analysis is performed for an unknown point by giving higher values to close distances than distant distances (Dogan et al., 2013).

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (13)$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (14)$$

In this interpolation process the value "p" shows the exponent. The sum of these values must be 1 when showing the weights "w_i". h_i is the spatial distance between the sample points and the points to be interpolated (Dogan et al., 2013).

In this study, the function given in equation 13 was run with ArcGIS 10.5, a GIS software, and thematic maps of each homogeneous region were obtained with available DO data. IDW is an intermediate value generating mechanism within the GIS system and the maps prepared by this method are presented in the findings and discussion section.

3. Results and Discussion

In this study, dissolved oxygen data of the spring months (March, April and May) obtained from 20 meteorological stations between 1995 and 2014 were examined. The locations of 20 meteorological stations used in this study are shown in Fig. 1. In the first part of the study, L-Moments ratios with L-Skewness, L-Kurtosis, L-Variation coefficients were calculated for all stations using DO data. Table 1 shows L-Skewness, L-Kurtosis, L-Variation coefficients of 20 stations. In addition to the regionalization study, these ratios were used to measure nonconformity and homogeneity tests for all meteorological stations. Before starting the regionalization study, nonconformity test and homogeneity test were performed among 20 stations. As can be seen in table 1; since Di value is less than 3 of all stations, none of the stations used in the study were found to be incompatible. Therefore, the study was continued with all the stations in the region. Besides this, the h₁ value obtained as a result of homogeneity test shows that this region covering the whole Sakarya Basin was not homogeneous but heterogeneous (h₁= 18.01 >> 1). Considering the geographical conditions and homogeneity test of the Sakarya Basin, the basin should be divided into homogeneous sub-regions according to H₁ criteria. When the study area was divided into homogenous sub-regions, the physiographic and hydrological characteristics of the basin were utilized. At this stage, ArcMap program and Google Earth were used. Sakarya Basin is divided into 5 homogeneous sub-regions such that H₁ values, which are homogeneity criteria, are less than 2. Observation stations for 5 homogeneous regions and H test statistics are shown in Table 2. While the basin was divided into regions, the non-conformity criterion test was repeated and according to this criterion, all stations in 5 regions were found to be compatible. 5 homogeneous regions and stations belonging to these regions are shown in Fig. 2.

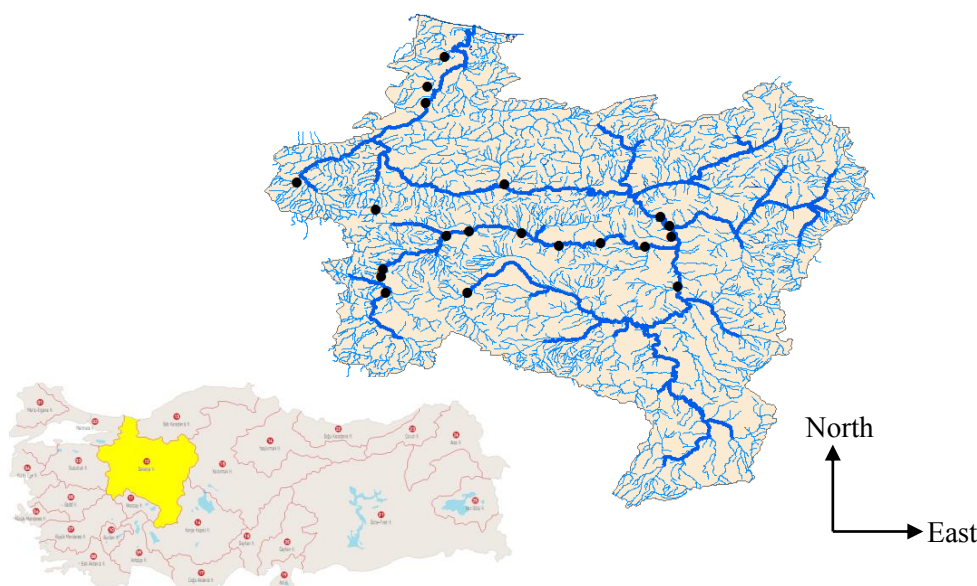


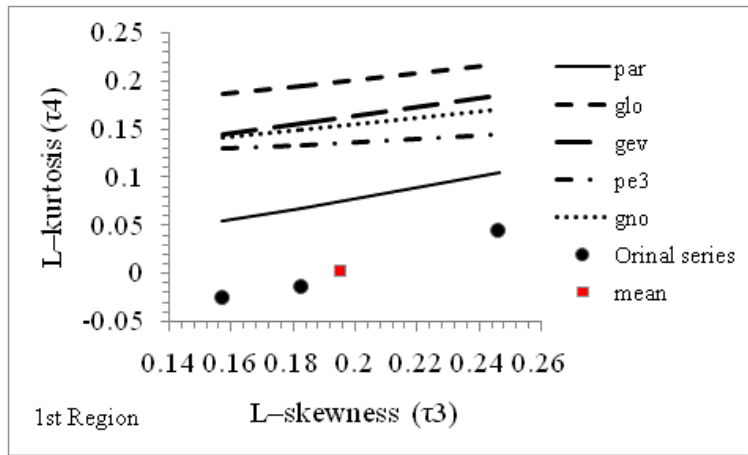
Figure 1. Settlement map of 20 stations belonging to Sakarya Basin

Table 1. L-variation, L-skewness, and L-kurtosis coefficients and Discordance Measure of 20 stations in the Sakarya Basin.

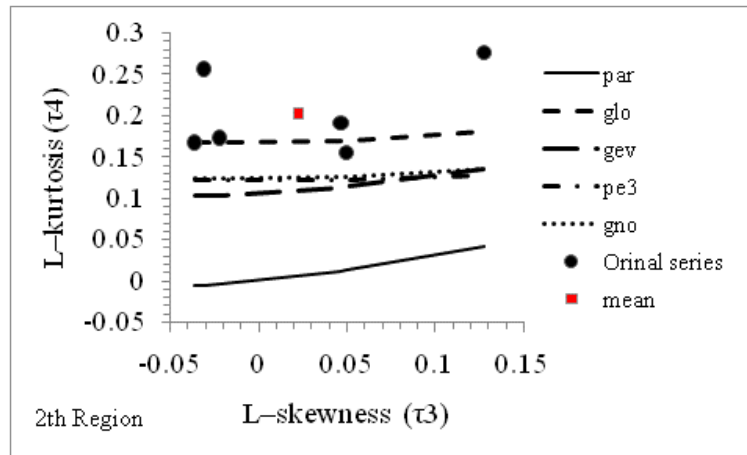
Stations Name	Sample Size (years)	L-variation (τ_2)	L-skewness (τ_3)	L-kurtosis (τ_4)	Discordance Measure D(i)
1	20	0.0943	0.0497	0.1553	0.82
2	20	0.0706	0.0487	0.2601	1.00
3	44	0.0829	-0.0219	0.1732	0.77
4	20	0.166	-0.0372	0.1176	1.28
5	20	0.188	-0.0333	0.0455	0.88
6	20	0.0662	0.1273	0.2758	1.44
7	20	0.389	0.1571	-0.0257	1.00
8	20	0.41	0.2463	0.0443	1.00
9	20	0.272	0.2183	0.1297	1.22
10	20	0.149	0.121	0.2761	1.00
11	20	0.0757	0.0415	0.2350	1.00
12	20	0.134	0.061	0.1697	1.00
13	20	0.127	-0.0979	0.22	1.00
14	20	0.1150	0.0463	0.1905	1.31
15	21	0.0783	-0.0308	0.2563	1.21
16	43	0.1040	-0.0362	0.1672	0.45
17	20	0.239	0.0812	0.0704	0.33
18	20	0.268	0.0964	0.1041	1.28
19	19	0.434	0.1825	-0.0139	1.00
20	20	0.0591	-0.0035	0.3761	1.00

Table 2. Stations of homogeneous regions and H test statistics

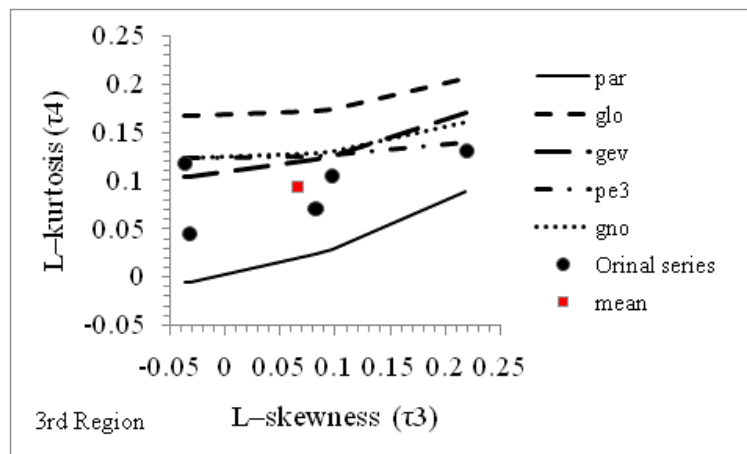
Basin Areas	Station Numbers	H_1 statistics	H_2 statistics	H_3 statistics
Region 1	7-8-19	-0.91 << 1	-1.09	-1.27
Region 2	1-3-6-14-15-16	0.54 << 1	-1.14	-1.67
Region 3	4-5-9-17-18	1 << 1.17 * << 2	0.48	-0.47
Region 4	10-12-13	-0.94 << 1	-0.05	-0.36
Region 5	2-11-20	-0.45 << 1	-1.45	-1.24



(a)

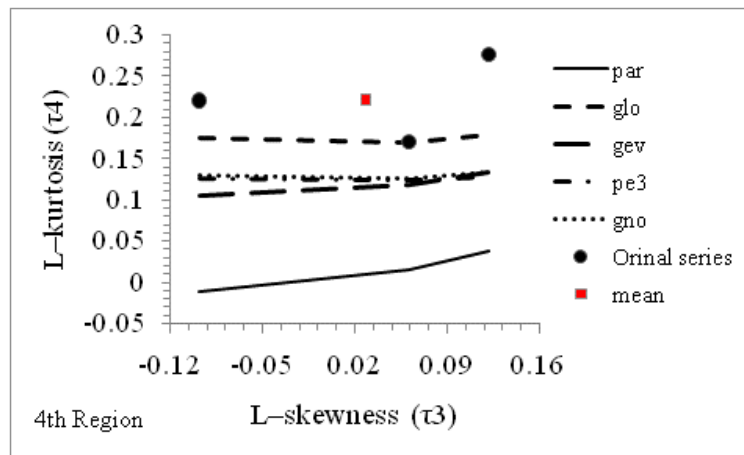


(b)

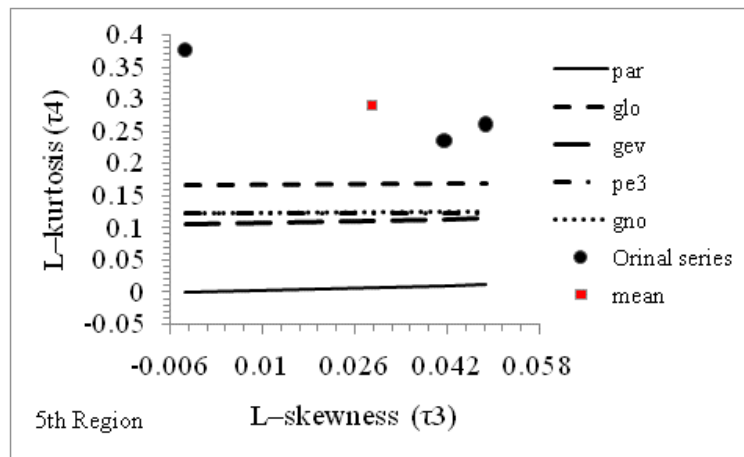


(c)

Figure 2. $\tau_4 \leftrightarrow \tau_3$ curves of the distributions for D0 data and the $t_4 \leftrightarrow t_3$ theoretical values of the series (a) in the first (b) second and (c) third homogeneous regions



(a)



(b)

Figure 3. $\tau_4 \leftrightarrow \tau_3$ curves of distributions and $t_4 \leftrightarrow t_3$ theoretical values of series for many data (a) in the fourth and (b) fifth homogeneous region

After the discordance and homogeneity test, regional L-Skewness, L-Kurtosis and L-Variation coefficients were calculated separately for each region. During the calculation, the average values of the weight coefficients determined according to a point were used. These values were found by the ratio of the length of a series to the total length of a series. Z^{DIST} values from synthetic series were obtained for all candidate distributions with equation 9 by regional L-coefficients and using 4-parameter - Kappa distribution. Z^{DIST} test statistic values of GLO, GEV, PE III, GNO and GPA distributions are presented in Table 3. The result of the Z^{DIST} test statistic should be in the range (-1.64, +1.64) for the probability distributions to reflect a region. For homogeneous regions, the distribution with the smallest Z^{DIST} value can be said to be the optimal distribution among the distribution and distributions that remain within the appropriate range of the Z^{DIST} statistic. In other words, a homogeneous region can represent more than one distribution and the distribution with the smallest Z^{DIST} value is the optimal distribution. According to the results in table 3, obtained Z^{DIST} statistic in the 3rd homogeneous region was 0.89 in the GEV distribution; 1.1 in the GNO distribution and 1.07 in the PE III distribution are the most suitable distributions for this region. Among these three distributions, the Z^{DIST} value closest to zero value was found in the GEV distribution and it was found to be the most appropriate distribution. However, the Z^{DIST} values of GEV, GNO, GLO, PE III, GPA distributions for the four other regions outside the region were not within the appropriate range and these five distributions were not found to be appropriate. Therefore, the regionalization study of Sakarya Basin DO data was continued by using the Wakeby distribution proposed by Hosking.

In addition, besides the Z^{DIST} statistic, the appropriate distribution can be determined visually by showing the L-Kurtosis values corresponding to the L-Skewness values on a graph. On the graph, we can say that if the average of the series is above or very close to the $\tau_4 \leftrightarrow \tau_3$ curve, that distribution is a suitable distribution. L-Skewness/L-Kurtosis curves of distributions are given for the most data of homogeneous regions from 1 to 5 in Fig. 2-3. L-Skewness/L-Kurtosis values calculated from the data of the stations in the region and the average points of these point values are also shown in the graphs. According to Fig. 2, the average of L-Skewness/L-Kurtosis values in the third homogeneous region is seen from the graph that GEV distribution is the most appropriate distribution because the GEV distribution is closer to the L-Skewness/ L-Kurtosis curve.

According to Fig. 2–3, the average of L–Skewness /L–Kurtosis values in the second and fourth homogeneous region is seen from the graph that GEV distribution is the most appropriate distribution. The distribution of GNO, GLO, GEV, GPA and PE III in other homogeneous sub–regions (regions 1 and 5) did not match the regions. Although close distribution is chosen in the visual method, the Z_{DIST} statistic is more realistic. The average of L–Skewness/L–Kurtosis values were always desired to be right above the scatter line.

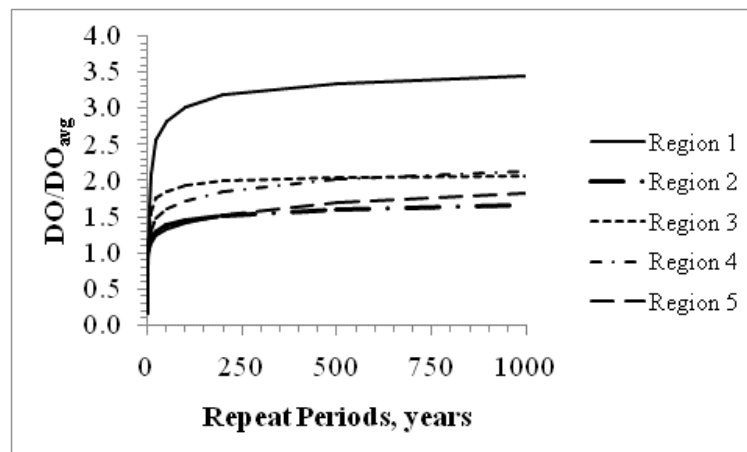


Figure 4. Repetition function graph for the repeat periods of 1.1, 1.25, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 years

Table 3. Z_{DIST} compliance test results of the regions

Basin Areas	Results of Z_{DIST} Statistics for Potential Distributions				
	GLO	GEV	GNO	PE III	GPA
Region 1	4.47	3.65	3.47	3.10	1.78
Region 2	-1.80	-3.71	-3.23	-3.24	-7.17
Region 3	2.48	0.89*	1.14*	1.07*	-2.17
Region 4	-2.13	-3.20	-2.96	-2.98	-5.18
Region 5	-4.72	-5.80	-5.56	-5.57	-7.78

*: Values of optimal distribution (values closest to 0)

Table 4. Wakeby distribution parameters at 90% significance level

Basin Areas	Location Parameter (ζ)	Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)	Delta (δ)
Region 1	0.037	1.296	0.346	0.000	0.000
Region 2	0.592	2.424	0.346	0.138	-0.072
Region 3	0.220	2.894	8.811	0.696	-0.435
Region 4	0.348	4.725	9.321	0.199	-0.022
Region 5	0.628	3.269	10.315	0.070	0.160

Considering the results of Z_{DIST} and visual conformity test, the study was continued by selecting the Wakeby distribution. Table 4 shows the statistical parameter values of the Wakeby distribution obtained with L–Coefficients calculated for all 5 homogeneous regions. According to Table 4, Wakeby distribution parameters were found for each region. Also, Wakeby distribution parameters are in different structures. The DO structure of each region is determined to be different with different parameters. According to the parameters calculated by Wakeby distribution, the repetition function of the common regional probability distribution, which is adapted to dimensionless DO data corresponding to the repetition periods of 1.1, 1.25, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 years, is calculated and the repetition function is presented in Table 5. The DO value of any station in the homogeneous regions will be calculated by using repeat function values in Table 5. In Fig. 4, the repetition function values are shown graphically. According to Fig. 4, the repetition function values were intersecting. The intersection of their values is quite normal.

Table 5. Repeat function values of the common regional Wakeby distribution adapted to the dimensionless DO data corresponding to the Periodic Repeat Periods

F (Non-Exceeding Chance)	T (Recurrence Period)	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5
0.1	1.11111	0.171	0.782	0.490	0.686	0.846
0.2	1.25	0.315	0.881	0.650	0.835	0.929
0.5	2	0.836	0.999	0.964	0.991	0.996
0.8	5	1.637	1.117	1.354	1.169	1.073
0.9	10	2.095	1.200	1.561	1.301	1.139
0.96	25	2.554	1.304	1.755	1.472	1.238
0.98	50	2.816	1.378	1.857	1.600	1.324
0.99	100	3.023	1.448	1.933	1.725	1.419
0.995	200	3.185	1.515	1.990	1.849	1.526
0.998	500	3.348	1.599	2.042	2.010	1.686
0.999	1000	3.441	1.658	2.070	2.129	1.824

In other parts of this study, regression equations were used to incorporate the relationship of all stations with other factors into regionalization. Regionalization by L-Moments method is performed using the average values of each station. As a result of the regionalization study, results are obtained according to the probability distributions determined and the mean values corresponding to repetition periods. Therefore, in order to estimate the average; DO data, the regression equation was developed using the average of the other factors. According to the results of the regression equation obtained, DO_{avg} values are multiplied by DO/DO_{avg} repeat function (growth curve) in table 4 of the Wakeby probability distribution of the regions. Thus, the DO value of the actual scale corresponding to the return periods of each station was calculated.

In the estimation of DO_{avg} , regression equation covering all homogeneous regions was obtained and t-test, variance inflation factor (VIF) and f test were used. For regression equality, Fe, M-Al, Na and pV variables of 20 stations belonging to Sakarya Basin were used. According to Table 6, the regression analysis summary for DO data averages is given. In a regression equation, the independent variables that can affect the dependent variable must supply the condition $t \geq t_{kr}$. As can be seen in table 6, the arguments used in this study provided the $t \geq t_{kr}$ requirement and were used to estimate the DO value.

VIF statistics, which determine multiple interactions between independent variables, are used as input in the regression analysis. According to Table 6, the VIF values of all independent variables vary about 1.5. According to VIF analysis, it was found that Fe, Al, Na and organic material (pV) variables were used as input in the regression equation.

The determination coefficient is a measure of how close regression analysis approaches the actual situation. In the regression analysis, the criterion for determining the coefficient of determination is $F \geq F_{kr}$. As can be seen in Table 6, the F value was calculated as 31.04 and the critical F value in the 90% confidence interval was greater than 5.17, which provided the condition of significance. As can be seen in Table 6 and Fig. 5, the coefficient of determination was found to be 0.8922 and it was found to be significant.

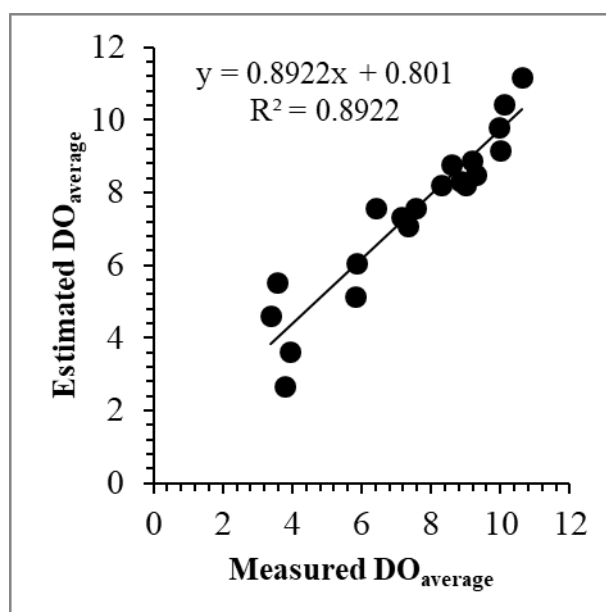


Figure 5. Estimated DO measured by regression analysis

Table 6. Summary values of regression analysis for DO estimation of mean DO data in 5 homogeneous regions in Sakarya Basin

% 90 Significance level tkr = 1.753, Degree of freedom =15			
Descriptive Variable	Coefficient Size	The t Value of The Coefficient	Descriptive Variable VIF Value
Sabit	11.228	20.33	
Fe	-0.0008761	-2.18	1.373
M-Al	-0.007984	-3.20	1.606
Na	0.018415	3.28	1.264
pV	-0.27197	-6.35	1.551
R ² = 0.8922	Fvalue=31.04	Fkr = 5.17	

In the continuation of the study, DO estimation maps were created by using GIS for the points where data could not be measured. For maps, IDW analysis was performed by using ArcGIS 10.5 package program. In this section real size DO data were used. The estimation maps of the real size DO data for 50–100–200–500–1000 year return periods obtained by the IDW method are given in Fig. 6–8. As shown in Fig. 6–8 excluding the 1000-year return period, all maps are similar. There are high DO values in the central region of the basin in maps of 50–100–200–500 year return periods (Fig. 6–9). Low DO values are observed in the small part of the western part of the basin in maps of 50–100–200–500 year return periods (Fig. 6–8). According to Fig. 8, The DO value in the maps of the 1000-year return period has gradually decreased and increased. The DO values in the maps of the 1000-year return period in the upstream section are quite low. The DO values in the maps of the 1000-year return period in the downstream section are higher than other maps. The number of stations used in the study is insufficient according to the size of the basin to create more sensitive maps. Particularly, the number of stations in the upstream section and should be increased.

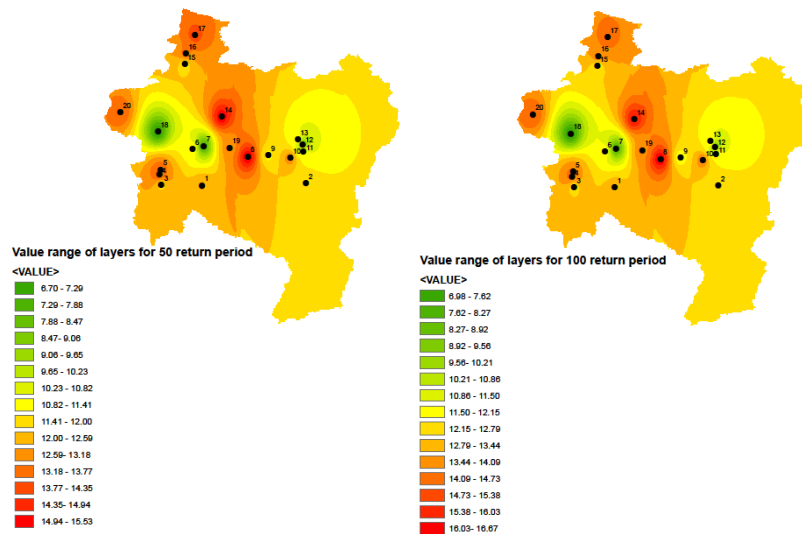


Figure 6. Derived IDW forecast map with a 50 and 100–year return period

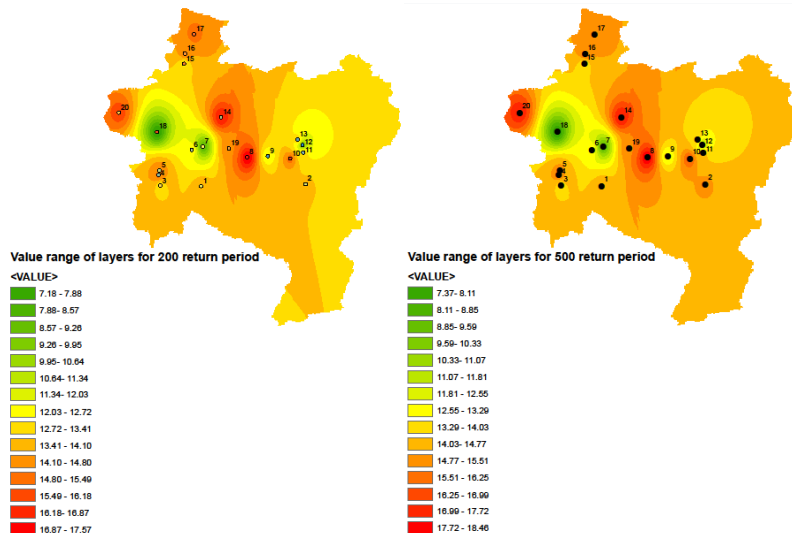


Figure 7. Derived IDW forecast map with a 200 and 500–year return period

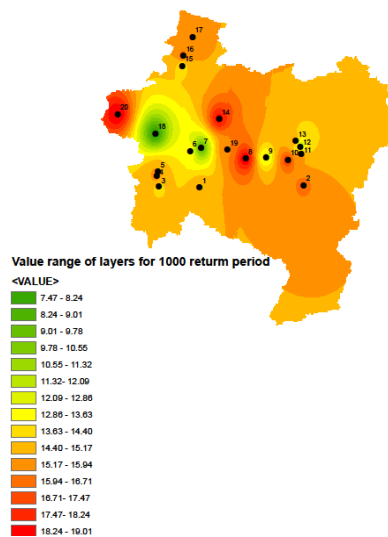


Figure 8. Derived IDW forecast map with a 1000–year return period

4. Conclusion

The L-Moments Method was applied to 20 meteorological stations in the Sakarya Basin using recorded Dissolved Oxygen data observed for 20 years or more, including 2015. The results obtained from this study are as follows:

- ❖ All of the dissolved oxygen series were tested for Incompatibility, none of the 20 observation stations were found to be incompatible. (Discordance Test)
- ❖ The homogeneity test of the L-Moments method was applied to the dissolved oxygen series of 20 stations. According to this test, Sakarya Basin is not a single homogeneous region.
- ❖ According to homogeneity test, Sakarya Basin is divided into 5 sub-homogeneous regions.
- ❖ The theoretical parameter values of suitable candidate probability distributions of dissolved oxygen data were calculated and given by using L-Moments method. By using these parameter values, Z^{DIST} statistic was calculated by considering the conformity test of L-Moments method for dissolved oxygen data. When the results of Z^{DIST} statistics were evaluated, GEV distribution was found to be the most appropriate distribution for only the third homogeneous sub-region.
- ❖ According to the Z^{DIST} statistics in the other four regions, homogenous regions did not comply with GNO, GEV, GLO, GPA and PE III distributions.
- ❖ The regionalization study was continued with the Wakeby distribution.
- ❖ Geographically, in any location in the Sakarya Basin, the estimation of the mean of dissolved oxygen values (Fe), (Na), (M-Al) and (pV) were used as independent variables and a coefficient of determination: $R^2 = 0.892$ was developed.
- ❖ The DO maps of the Sakarya Basin were obtained by GIS for 50–100–200–500–1000 year return periods obtained by Wakeby probability distribution.

5. Suggestions

According to the L-moments method, the functions that can be performed in order to give the desired DO results for the predicted DO values for certain periods of return periods are as follows:

- ❖ L-Moments should be developed for further distributions in the literature.
- ❖ In order to provide better results for thematic DO estimation maps derived by IDW method, the stations of Sakarya Basin need to be increased.
- ❖ Water quality monitoring activities should be increased throughout the country, data should be monitored and necessary measures should be taken for resource management.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Alley, W. M., and Burns, A. W., 1983. Mixed-station extension of monthly streamflow records. *Journal of Hydraulic Engineering* 109, 1272–1284. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1983\)109:10\(1272\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:10(1272)).
- Anlı, A.S., Apaydın H., Öztürk F., 2007. Regional Flood Frequency Estimation for the Göksu River Basin Through L-Moment, International River Basin Management Conference. State Hydraulic Works, pp 424–438, Gloria Golf Resort Hotel, Belek, Antalya, Turkey, 2007.
- Ay, M., and Kisi, O., 2012. Modeling of dissolved oxygen concentration using different neural network techniques in Foundation Creek, El Paso County, Colorado. *J. Environ. Eng.*, 138(6). [https://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000511](https://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000511).
- Chen, Y.D., Huang, G., Shao, Q., Xu, C.Y., 2006. Regional analysis of low flow using L-moments for Dongjiang basin, South China. *Hydrological Sciences Journal* 61(6), 1051–1064. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.6.1051>.
- Cheng, P., Li, X., Su, J., Hao, S., 2018. Recent water quality trends in a typical semi-arid river with a sharp streamflow decrease and sewage treatment plants construction. *Environmental Research Letters*, 13, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9df2>.
- Haktanir, T., Citakoglu, H., & Acanal, N. 2013. Fifteen-stage operation of gated spillways for flood routing management through artificial reservoirs. *Hydrological sciences journal*, 58(5), 1013-1031.
- Citakoglu, H. 2015. Comparison of artificial intelligence techniques via empirical equations for prediction of solar radiation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 28-37.
- Citakoglu, H., Demir, V., Haktanir, T., 2017. Regional Frequency Analysis of Annual Flood Peaks of Natural Streams Discharging To The Black Sea By The L-Moments Method. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences* 6(2), 571–580.
- Dalrymple, T., 1960a. Flood Frequency Analysis, first ed. Geological Survey Water-Supply Paper 1543-A, Washington, D.C., USA.
- Dalrymple, T., 1960b. Flood Frequency Analysis, Water Supply Paper, 1543-A, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
- Diamantini, E., Lutz, S. R., Mallucci, S., Majone, B., Merz, R., and Bellin, A., 2018. Driver detection of water quality trends in three large European river basins. *Science of the Total Environment* 612, 49–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.172>.

- Doğan, H.M., Yılmaz, D.S., Kılıç, O.M., 2013. Orta Kelkit Havzası'nın Bazı Toprak Özelliklerinin Ters Mesafe Ağırlık Yöntemi (IDW) ile Haritalanması ve Yorumlanması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. 6, 46-54.
- Gonzales-Inca, C. A., Lepistö, A. and Huttula, T., 2016. Trend detection in water-quality and load time-series from agricultural catchments of Yläneenjoki and Pyhäjoki, SW Finland. *Boreal Environment Research* 21, 166–80.
- Granger, S.J., Bol, R., Anthony, S., Owens, P.N., White, S.M., Haygarth, P.M., 2010. Chapter 3 – Towards a holistic classification of diffuse agricultural water pollution from intensively managed grasslands on heavy soils. In: *Agronomy BT-A* in, editor. *Advances in Agronomy*. vol. 105. Academic Press, pp. 83–115.
- Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C., Wallis, J.R., 1979. Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distribution Expressible in Inverse Form. *Water Resources Research* 15(5), 1049–1054. <https://doi.org/10.1029/WR015i005p01049>.
- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Konzmann, M., Ludwig, F., Masaki, Y., Schewe, J., Stacke, T., Tessler, Z. D., Wada, Y., and Wisser, D., 2016. Global water resources affected by human interventions and climate change. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 111, 3251–3256. doi: 10.1073/pnas.1222475110.
- Haktanir, T., Citakoglu, H., Seçkin, N., 2016. Regional frequency analyses of successive-duration annual maximum rainfalls by L-moments method. *Hydrological Sciences Journal* 61(4), 647–668. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.966722>.
- Halbe, J., Pahl-Wostl, C., Sendzimir, J., and Adamowski, J., 2013. Towards adaptive and integrated management paradigms to meet the challenges of water governance, *Water Science and Technology* 67(11), 2651–2660. DOI:10.2166/wst.2013.146.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., 2002. Statistical methods in water resources. techniques of water-resources investigations of the united states geological survey, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation, Chapter A3, 524 pp.
- Heperkan H., Kesgin U., 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, 919–923. In: *Numerical Methods For Engineers* (Eds. Chapra, S.C., Canale, R.P.). Literatür Yayınevi Number: 82, İstanbul.
- Hirsch, R.M., Douglas, L.M. and Stacey A.A., 2010. Weighted regressions on time, discharge, and season (WRTDS), with an application to Chesapeake bay river inputs. *JAWRA* 46, 857–880. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00482.x>.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resour. Res.* 29(2): 271–281. <https://doi.org/10.1029/92WR01980>.
- Hosking, J. R. M., 1990. L-Moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B: Statistical Methodology*, 52, 105–124. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x>.
- Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., 1997. *Regional Frequency Analysis An Approach Based on L-Moments*, first ed. Cambridge University Press, London, UK.
- Khalil, B., Awadallah, A.G., Adamowski J., Elsayed, A., 2016. A Novel Record-Extension Technique for Water Quality Variables Based on L-Moments. *Water Air Soil Pollution* 227(179), 1–20. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-016-2852-9>.
- Kisi, O., Akbari, N., Sanatipour, M., Hashemi, A., Teimourzadeh, K., Shiri, J., 2013. Modeling of dissolved oxygen in river water using artificial intelligence techniques, *Journal of Environmental Informatics* 22, 92–101. doi:10.3808/jei.201300248.
- Kumar, R., Chatterjee, C., 2005. Regional Flood Frequency Analysis Using L-Moments for North Brahmaputra Region of India. *Journal of Hydrologic Engineering* 10(1), 1–7. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:1(1).
- Kundzewicz, Z W. and Krysanova, V., 2010. Climate change and stream water quality in the multi-factor context, *Clim. Change*, 103(3–4), 353–362. DOI:10.1007/s10584-010-9822-9.
- Mainali, J., Chang, H., 2018. Landscape and Anthropogenic Factors Affecting Spatial Patterns of Water Quality Trends in a Large River basin, South Korea. *Journal of Hydrology* 564, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.074>.
- Montgomery, D., Peck, E. A., Vining, G., 2001. *Introduction to Linear Regression Analysis*, 3rd edition. John Wiley, New York, 134 pp.
- Seçkin, N., Yurtal, R., Haktanır, T., Topaloğlu, F., 2010. Regional Flood Frequency Analysis of Ceyhan River Basin in Turkey Using L-Moments Method. *Fresenius Environmental Bulletin* 19(11a), 2616–2624.
- Shanbehzadeh, S., Vahid Dastjerdi, M., Hassanzadeh, A., Kiyanzadeh, T., 2014. Heavy metals in water and sediment: a case study of Tembi River. *J. Environ. Public Health*, 28–34. doi: 10.1155/2014/858720. URL: <http://lib.stat.cmu.edu/general/lmoments> (accessed 29 February 2020).
- Yağbasan Özlem, Demir Vahdettin, Yazıcıgil Hasan (2020). Trend Analyses of Meteorological Variables and Lake Levels for Two Shallow Lakes in Central Turkey. *Water*, 12(414), 1-16., Doi: 10.3390/w12020414.



MİYASTENİ GRAVİS HASTA KAYITLARINDA JİTTER ÖLÇÜMÜNDE KARŞILAŞILAN BLOKLARI VE DAVRANIŞINI ORTAYA KOYAN YENİ BİR METODOLOJİ

N. Tuğrul ARTUĞ*

İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Elektromiyografi,
Biyomedikal,
İşaret İşleme,
Jitter,
Bloklar.*

Öz

Bu çalışmada miyasteni gravis hastalarından alınan kayıtlarda, artan jitter ile karşılaşılan blokların davranışını gösteren bir algoritma geliştirilmiştir. Nöromüsküler kavşakta iletim, sinir hücresinin aksonundan kas lifine doğru olur. Miyasteni hastalığı, iletimi aksatan post-sinaptik bir hastalıktır. Kas lifi tarafında bulunan asetilkolin alıcılarına zarar verir. Vücudun çeşitli yerlerinde güçsüzlüğe sebep olabilir. Hastalığın tanısında 'tek lif elektrodu veya konsantrik elektrot' kullanılarak jitter ölçümü yapılır. Bu ölçüm için kayıtlar, istemli kası altında veya uyartım metoduyla yapılır. Beş miyasteni hastasından istemli kası altında her seferinde 100'er adet kayıt alınmıştır. EMG cihazından alınan kayıtlar öncelikle işlenebilir hale getirilebilmek için bazı işlemlere tabi tutulmuştur. Jitter ölçümünde hesap için kullanılan iki pikten birincisi sabit tutulurken, değişinti gösteren ikinci pikin bir önceki konumuna göre değişiklik miktarı gözlemlenir. Bloğa uğrayan sinyaller, geliştirilen algoritma ile elektrofizyoloji uzmanına sunulabilmektedir. Algoritma aynı zamanda ardışık blokları da tespit etmek, jitter değerini ve potansiyeller arası değişimin menzilini hesaplamak gibi hünerlere sahiptir. Hastalardan alınan kayıtlarda, genellikle blok sonrası ikinci pikin birinci pikten uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu yeni algoritmanın farklı nöromüsküler hastalıkların jitter ölçümlerinde bir davranış modeli ortaya koyacağı öngörülmüştür.

A NEW METHODOLOGY THAT PRESENTS BLOCKS AND THEIR BEHAVIOR WHICH ARE OBSERVED IN JITTER MEASUREMENT OF MYASTHENIA GRAVIS PATIENT RECORDS

Keywords

*Electromyography,
Biomedical,
Signal Processing,
Jitter,
Blocks.*

Abstract

In this study, an algorithm that demonstrates the behavior of blocks which can be seen with increasing jitter in myasthenia gravis patient recordings was developed. The transmission in neuromuscular junction occurs from nerve axon towards muscle fiber. Myasthenia is a post-synaptic disease that disturbs transmission. It damages the acetylcholine receptors at muscle fiber side. It may cause weakness in several body parts. Jitter measurement is done by using 'single fiber or concentric electrode' for diagnosis of disease. Recordings are done under voluntarily contraction or with stimulated method. From 5 myasthenia patients 100 signals were recorded under voluntarily contraction. Recordings are subjected to some operations at first for making them processable. In jitter measurement, the first peak is hold and the amount of variability of the second peak from its previous location is observed. The blocked signals can be shown to electrophysiology expert with developed algorithm. The algorithm has abilities like detecting consecutive blocks, calculating jitter value and the range of the variance between potentials. In patient recordings, it is detected that second peak usually becomes distant from first peak after block. It is foreseen that this new algorithm will reveal a behavior model in jitter measurement of different neuromuscular diseases.

* İlgili yazar / Corresponding author: tugrulartug@arel.edu.tr, +90-850-850-2735

Alıntı / Cite

Artuğ, N. T., (2021). Miyasteni Gravis Hasta Kayıtlarında Jitter Ölçümünde Karşılaşılan Blokları ve Davranışını Ortaya Koyan Yeni Bir Metodoloji, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 511-519.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. T. Artuğ, 0000-0002-9259-2458

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	15.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	12.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	01.02.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Nöromusküler kavşakta sinir hücrelerinin aksonu, kas liflerine dallanarak bağlanmıştır. Bu bağlantıda mutlak temas mevcut değildir. Aralarında sinaptik yarık adı verilen bir boşluk bulunmaktadır. Sinirsel iletim, aksondan kas lifine doğru olacak şekildedir. Bir uyarım ile kas lifi uyarılacağı zaman sinaptik yarığa akson uçlarından nörotransmitter madde olan asetilkolin salgılanır. Kas membranında nörotransmitter maddeyi yakalayacak alıcılar bulunur. Uyarı alıcılar tarafından alındığında sinaptik yarıktaki fazla asetilkolin onu yıkacak enzim olan asetilkolinesteraz tarafından parçalanır. Aksiyon potansiyelinin oluşması için hücre içinin hücre dışına göre 70mV kadar daha pozitif olması yeterlidir (Kandel ve Siegelbaum, 2012; Engel vd., 2015).

Sağlıklı bir bireyde sinirsel iletim sorunsuz olurken nöromusküler hastalıklarda bu iletim sekteye uğrayabilmektedir. Sorunun kaynağı 3 konumda olabilmektedir. Bunlar pre-sinaptik, sinaptik veya post-sinaptiktir (Engel vd., 2015; Engel, 2018; Shieh ve Oh, 2018).

En bilinen post-sinaptik hastalıklardan biri olan Miyasteni Gravis'te (MG) kas tarafındaki asetilkolin alıcıları etkilenir. Alıcıların sayısı azalır veya asetilkolinin alıcılarıyla olan etkileşimi engellenir. Bunun sonucunda bazı kaslarda güçsüzlük meydana gelir. Güçsüzlük bir günde olabileceği gibi zamana yayılarak da artabilir. MG hastalığı kişiye kalıtsal olarak doğuştan da gelebilir. Azalan asetilkolin alıcılarının eksikliği, asetilkolinesteraz enziminin aktivitesi ilaçlarla kısıtlanarak bastırılabilir. Böylece asetilkolinin aktivitesi daha uzun sürerek hastalığın etkisi belli bir ölçüde azaltılmış olur (Brown vd. 2012; Ciafaloni, 2019; Gilhus vd., 2019).

Jitter ölçümü MG teşhisinde en hassas elektrofizyolojik test olarak kabul edilmiştir (Sanders ve Stålberg, 1996; Benatar vd., 2006). Jitter ölçümünde tek lif elektromiyografi (TLEMG) elektrodu en sık kullanılan elektrot tipi olsa da dezenfekte edilip tekrar kullanılabilmesi sebebiyle bazı ülkeler kullanımına yasak getirmişlerdir (Sarrigiannis vd., 2006). Buna alternatif olarak konsantrik iğne elektrodu bazı ayarlamalar yapıp, kayıt sırasında bazı kriterlere uyarak TLEMG elektrodu yerine kullanılmaktadır (Ertuş vd., 2000).

Jitter ölçümü için inceleme altındaki kasa uyarı verilir ya da kişiden istemli kası yapması istenir. Jitter hesabı yapılabilmesi için EMG cihazı monitöründe her uyarıda benzer konumda görünen iki pik aranır. Bu piklerden biri tetik olarak seçilerek EMG cihazının belirlenen bir konumuna sabitlenir. Böylece ikinci pikin oynaklığı gözlemlenebilir (Sanders ve Stålberg, 1996). Jitter analizi için bir seferde 50 ile 100 arası sinyal kaydı alınması önerilmektedir (Kouyoumdjian ve Stålberg, 2008).

Jitter ardışık farkların ortalaması (MCD) ya da sıralanmış farkların ortalaması (MSD) olarak iki farklı şekilde hesaplanabilir. MCD hesabında her sinyalde kaydedilen iki pik arasındaki mesafe μ s cinsinden hesaplanır. Daha sonra her sinyalde elde edilen bu fark değerlerinin, kayıt satırı numarasına göre ardışık olarak farkı alınır. Son olarak elde edilen bu ardışık farkların ortalaması hesaplanır (Sanders ve Howard, 1986; Gilchrist, 1992; Sanders ve Stålberg, 1996). MSD hesabında ise yine öncelikle her sinyalde kaydedilen iki pik arasındaki mesafe μ s cinsinden hesaplanır. Elde edilen bu zaman cinsinden mesafe değerleri, küçükten büyüğe doğru sıralanır. Ardından bu sıralanmış değerlerin ardışık olarak farkları hesaplanır. En sonunda da bu değerlerin ortalaması alınarak MSD değeri bulunur. Bu metodun avantajı istemli kası sırasında deneğin kası şiddetini sabit tutamaması sebebiyle değişen ateşleme oranının yarattığı farkı engellemektir (Sanders ve Howard, 1986; Gilchrist, 1992; Sanders ve Stålberg, 1996).

Jitter analizi için alınan kayıtlarda, bazen tetik olarak seçilen pik ile birlikte kaydedilen ikinci pik ardışık sinyallerin bazılarında görülmez. Bu durum sadece hastalık modellerinde ortaya çıkabilir ve blok olarak isimlendirilmiştir. Bloklar tek bir sinyal kaydında çok düşük bir ihtimalle gözlemlenebilir, ama ardışık alınan sinyal kayıtlarında görülebilmeleri daha olasıdır (Sanders ve Stålberg, 1996).

Makalenin akışı literatürdeki diğer çalışmalar ile devam etmektedir. Kaydedilen sinyallerin özellikleri ve geliştirilen algoritma üçüncü bölüm olan Materyal ve Yöntem kısmında verilmiştir. Dördüncü bölümde sonuçlar

ve tablolar sunulmuştur. Çalışma son bölüm olan beşinci bölümde sonuçların yorumlanması ve tartışma ile tamamlanmıştır.

Bu çalışma Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bakırköy Prof. Dr. Mazhar Osman Ruh Sağlığı ve Sinir Hastalıkları Eğitim ve Araştırma Hastanesi etik kurul komitesi tarafından onaylanmıştır (2019/348).

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Normal bireylerde veya miyasteni gravis hastalarında Jitter analizi yapan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu analiz için kullanılan yazılımın hünere EMG cihazının yetenekleri ile sınırlıdır.

Sarrigiannis ve diğerlerinin çalışması (Sarrigiannis vd., 2006) TLEMG elektrodu yerine konsantrik iğne elektrodunun da kullanılabilceğini göstermek amacıyla yapılmıştır. Konsantrik iğne kullanarak 20 normal bireyin ve 56 miyasteni gravis hastasının orbicularis oculi (OOc) ve extensor digitorum communis (EDC) kasları üzerinden istemli kasıda kayıt alınmıştır. TLEMG elektrodu yerine daha yüksek alma bölgesi olan konsantrik iğne elektrodunu kullanabilmek için 2 KHz'lik alçak geçiren filtre kullanılmıştır. Böylece düşük frekanslı bileşenler bastırılarak hızlı yükselme zamanlı bileşenler ortaya çıkarılmıştır. Normal birey kayıtlarında bloğa rastlanmamıştır.

2008 yılında Kouyoumdjian ve Stålberg 67 normal bireyin EDC kasından ve 50 normal bireyin OOc kasından istemli kası altında sinyaller kayıt etmiştir (Kouyoumdjian ve Stålberg, 2008). Kayıt elektrodu olarak konsantrik iğne elektrodu tercih etmişlerdir. Yükselme zamanı 300µs den düşük ve belirgin biçimli potansiyelleri analiz için kabul etmişlerdir. Jitter analizi için 50-100 arası ardışık sinyal kaydı yapmışlardır. Jitter değerini hem MCD hem de MSD olarak ifade etmişlerdir. Piklerin belirlenmesi ve analiz için EMG cihazının dahili yazılımını kullanmışlardır. Kayıtlarda hiç bloklu sinyal gözlemlenmemiştir.

Kouyoumdjian ve diğerleri 2011'de 20 adet miyasteni gravis hastasından ve yine aynı adette normal bireyden konsantrik iğne ile kayıt almışlardır (Kouyoumdjian vd., 2011). Kayıtlar EDC ve frontalis kaslarının uyartılması ile yapılmıştır. Jitter ölçümleri için belirlenmesi gereken iki pikin algılanmasında EMG cihazının pik algılama algoritmasından faydalanmışlardır. Diğer analizler de yine aynı cihazın yazılımı ile yapılmıştır. Sinyallerin analizde kullanılabilmesi için diğer çalışmalara benzer kriterler uygulanmıştır. Sağlıklı bireylerin kayıtlarında bloklu sinyaller görülmezken hasta kayıtlarında blok yüzdesi EDC kasında %31 ve frontalis kasında ise %38,3 olarak rapor edilmiştir. Frontalis kasında bloklanmanın daha fazla olduğunu gösterirken ayrıca jitter ölçümünün anılan kasta daha kolay olduğunu vurgulamışlardır.

Kouyoumdjian ve Stålberg 2012 yılında bu kez 20 sağlıklı bireyin frontalis kasından referans değerleri belirleme konusunda bir çalışma yapmışlardır (Kouyoumdjian ve Stålberg, 2012). Konsantrik iğne elektrodu ile kayıtları uyartım tekniği vasıtasıyla almışlar ve jitter parametresini MCD olarak hesaplamışlardır. Analiz için Keypoint elektromiyografi cihazının yazılımından faydalanmışlardır. Analize kabul edilen sinyallerin çentiğinin ve omuzlarının olmamasına, hızlı yükselme zamanı olmasına ve iyi tanımlanabilen bir şekli olmasına dikkat etmişlerdir. Bir hasta için ortalama MCD üst limitini frontalis kası için 22 µs olarak belirlemişlerdir.

2017 yılında yapılmış olan Machado ve diğerlerine ait çalışma (Machado vd., 2017) 20 sağlıklı kontrol ve 33 miyasteni hastası içermektedir. Jitter analizi için kaydedilen veriler konsantrik iğne elektrodu kullanarak OOc kasından istemli kası sırasında alınmıştır. Analize kabul edilecek sinyallerde diğer çalışmalara benzer kriterler uygulanmışlardır. Jitter parametrelerinin çıkartılması için gerekli olan piklerin algılanmasında Keypoint EMG cihazının yazılımını kullanmışlardır. Oküler miyasteni gravis hastalarında nöromusküler eklem bozuklarının algılanmasında OOc kasının frontalisten daha hassas olduğunu belirtmişlerdir. Bu kas için ortalama MCD üst limitini 33,1 µs olarak bulmuşlardır.

Bu çalışmada, jitter analizi yapan geleneksel EMG yazılımlarına iyileştirme olarak hasta gruplarından kaydedilen sinyallerde karşılaşılan blokların ertesinde jitter değerini belirleyen ikinci pikin değişimini gösterebilen bir algoritma geliştirilmiştir. Böylece farklı nöromusküler hastalıkların blok sonrası jitter değişiminden bir davranış modeli çıkartmanın mümkün olacağı öngörülmektedir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Veri seti sekiz aylık bir süre zarfında çalışmaya katılmayı kabul eden 5 miyasteni gravis hastasının kayıtlarından oluşmaktadır. Çalışmaya katılmayı kabul eden her hastadan 'gönüllü olur formu' alınmıştır. Kayıtlarda konsantrik iğne elektrodu kullanılmıştır ve sinyaller istemli kası sırasında kaydedilmiştir. Tetik olarak her zaman iki pikten en yüksek genliğe sahip olan seçilmiştir. Her hastadan bir oturumda 100'er adet sinyal kaydı alınmıştır. İğnenin

batırıldığı her konumda bloğa rastlanamayabilir. Bu sebepten alınan kayıtlardan bloklu olanlar çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmada geliştirilen algoritma rutin jitter analizlerini yapabilmesinin yanında hasta kayıtlarında rastlanabilen blokları belirleyip işaretleyebilmektedir. Bu sayede hastalık türlerine göre blok sonrası jitter değişimini gözlemlemek mümkün olmaktadır.

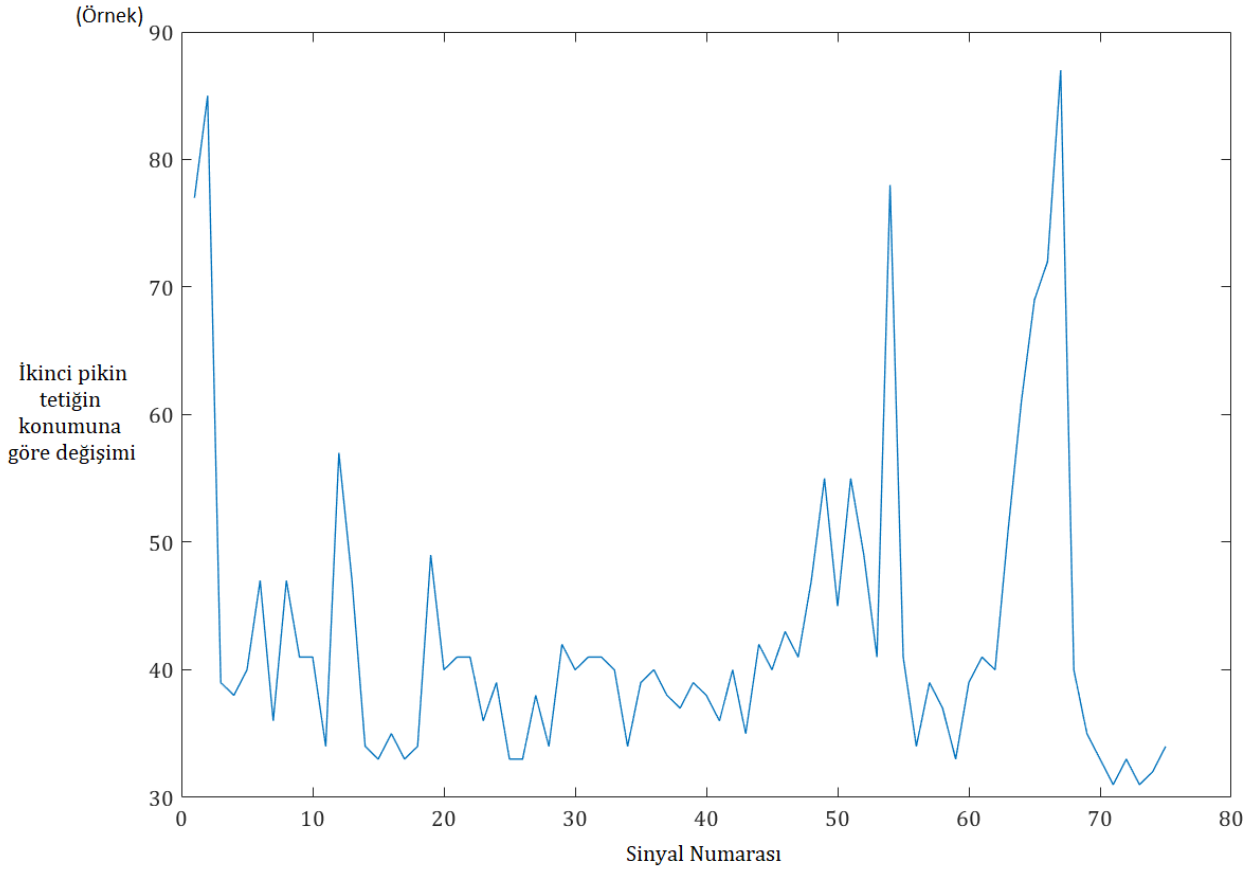
Kaydedilen sinyaller yazarın daha önce doktora tezi zamanında geliştirmiş olduğu bir yazılım (Artuğ, 2015) ile EMG cihazından alınarak, gereksiz bilgilerden arındırılıp işaret işlemeye hazır hale getirilmektedir.

İşlenecek sinyal önce algoritmaya okutulur. Arka arkaya alınan 100 sinyal kaydında zaman zaman hareket kaynaklı sinyal bozuklukları olabilmektedir. Daha önceden belirlenen bu bozuk sinyaller algoritmanın başlangıcında kullanıcıya sorularak silinir.

Her kaydedilen sinyal bir satıra yerleştirilir ve her satırda iki en yüksek genlikli pik çifti aranır. Bu piklerin yerleri ve genlik değerleri ayrı ayrı kaydedilir.

İkinci pik içermeyen sinyaller belirlenir ve blok olarak markalanır. Blokların sayısının belirlenmesiyle birlikte bir diğer önemli parametre olan ardışık blok grupları tespit edilir. Ardışık blokların adedi ve her grupta arka arkaya kaç kez blok olduğunun sayısı da bir diğer parametre olarak kullanıcıya gösterilmektedir.

Jitter değeri μ s biriminde hem MCD hem de MSD olarak hesaplanarak sunulur. Bu işlemlerin ertesinde her sinyal satırı için jitter değişiminin grafiği Şekil 1'deki gibi çizilir.

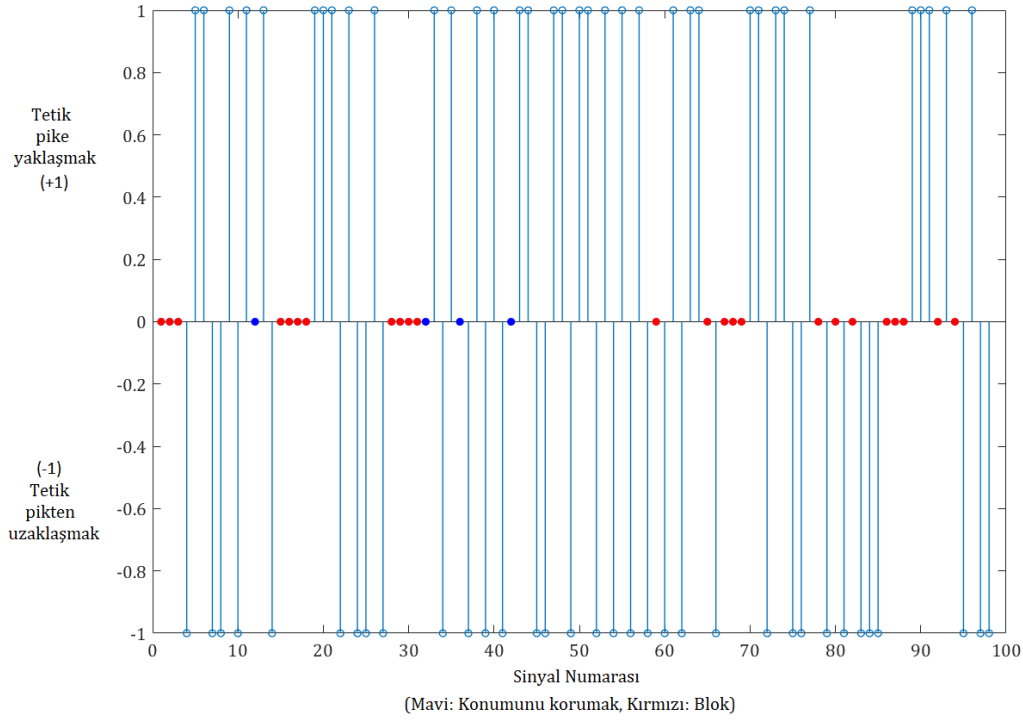


Şekil 1. Bir MG hastasına ait jitter değişimi grafiği (The change of jitter graphic which belongs to an MG patient)

Elde edilen verilerden bloklar 0 olarak işaretlenir ve ikinci pikin bir önceki konumuna göre, tetik olarak seçilen pike yaklaşışıp uzaklaşmasını gösteren grafik oluşturulur.

Eğer ki ikinci pik bir sonraki sinyalde yine aynı konumda kalırsa değişim miktarı 0 çıkacağından blok ile karıştırılma ihtimali vardır. Bu sebepten aynı konumda kalma durumu mavi renk ile blok olma durumu ise kırmızı renk ile gösterilmiştir.

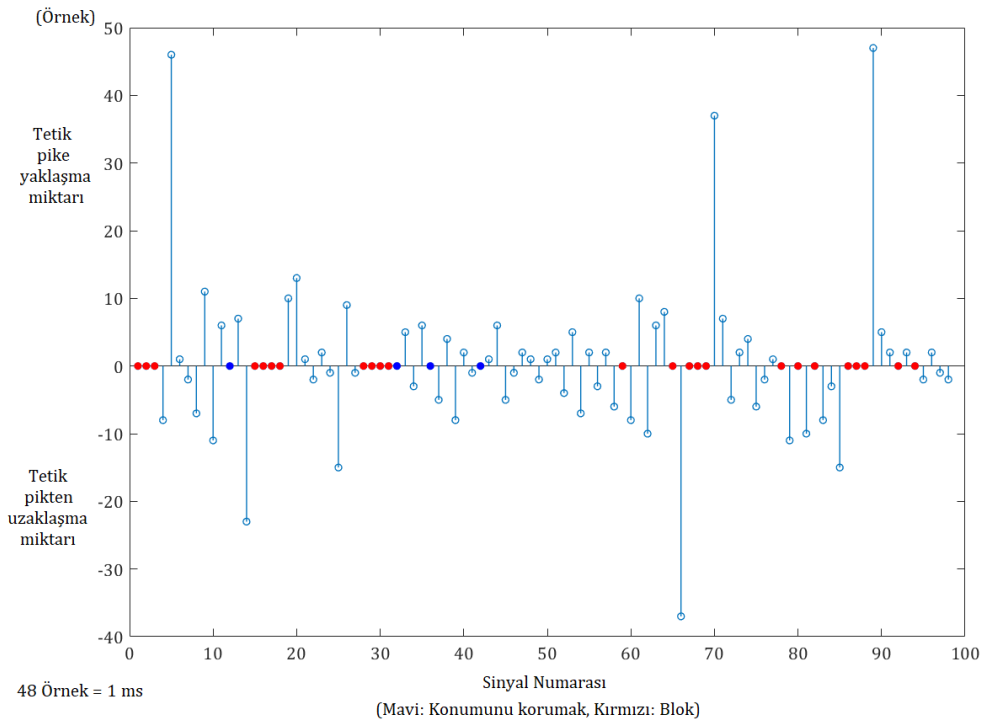
Şekil 2'de ikinci pikin değışimi gösterilmiştir. Yukarı doğru olan pikler (+1) ikinci pikin tetik pike yakınlaştığını, aşağı doğru olan pikler (-1) ise ikinci pikin tetik pikten uzaklaştığını sembolize etmektedir.



Şekil 2. İkinci pikin tetik pike göre yön değışimi grafiği (Mavi: Konumunu korumak, Kırmızı: Blok)
(Direction change graphic of second peak according to trigger peak (Blue: Keeping location, Red: Blok))

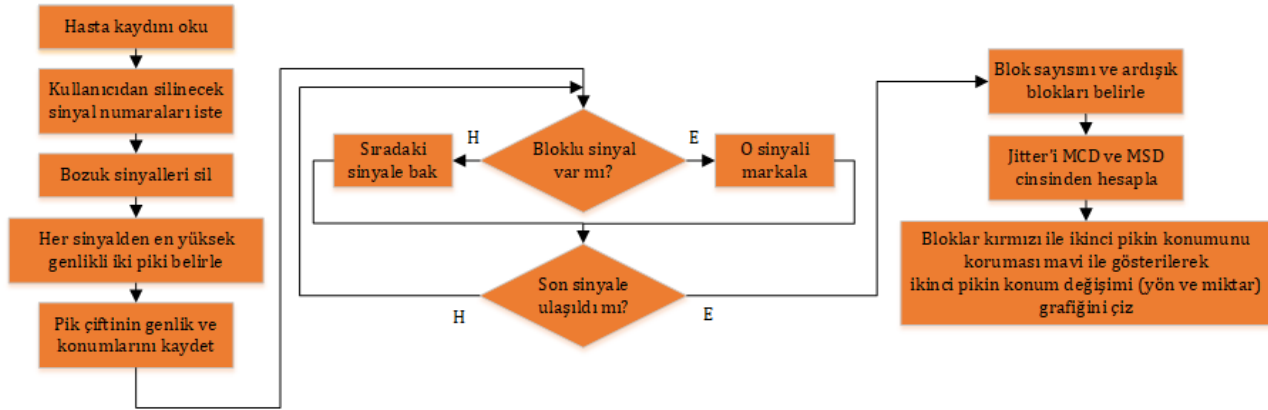
Son olarak ikinci pikin tetik pike yaklaşma ve uzaklaşma derecelerini gösteren grafik çizilir. Bloklar yine kırmızı renk ile ikinci pikin konumunu koruması da mavi renk ile gösterilmiştir. Yukarı yönde pikler tetik pike yaklaşmak, aşağı yönde pikler ise tetik pikten uzaklaşmak anlamına gelmektedir.

Şekil 3'te ikinci pikin tetik pike göre yön değışimi miktarı verilmiştir.



Şekil 3. İkinci pikin tetik pike göre yön değışimi miktarı grafiği (Mavi: Konumunu korumak, Kırmızı: Blok)
(Direction change amount graphic of second peak according to trigger peak (Blue: Keeping location, Red: Blok))

Algoritmanın akış şeması Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Jitter değişimi algoritmasının akış şeması (The flow chart of jitter change algorithm)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Hastalardan elde edilen blok içeren sinyallere ait sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Kayıtlardan hareket kaynaklı bozuk sinyaller atıldığında 90 ile 99 adet arası değişen düzgün kaydedilmiş sinyal kalmaktadır. Geliştirilen algoritma hem MCD hem de MSD değerini hesaplama hünerine sahip olsa da MCD/MSD oranı 1,25 değerini aşmadığından (Sanders ve Stålberg, 1996), jitter değeri sadece MCD olarak tabloda yer almaktadır.

Tablo 1. MG hastalarının hesaplanan parametreleri (The calculated parameters of MG patients)

	Kişi No #				
	1	2	3	4	5
Sinyal Sayısı	98	98	92	90	99
Jitter (μ s) (MCD)	145	174	157	136	144
Blok Sayısı	11	40	8	29	24
Ardışık Blok Grubu Sayısı	2	9	0	5	5
Blok Sonrası Ort. Uzk. Miktarı (μ s)	205	150	175	167	264
Tekli Blok Sonrası Eğilim	Uzk.	Dengeli	Uzk.	Dengeli	Uzk.
Ardışık Blok Sonrası Ort. Uzk. Miktarı (μ s)	135	229	-	599	167
Ardışık Blok Sonrası Eğilim	Uzk.	Uzk.	-	Uzk.	Yak.

#Uzk = Uzaklaşma; Yak = Yakınlaşma; Ort = Ortalama.

Miyasteni gravis hastalarından alınan kayıtlarda jitter değeri MCD olarak minimum 136 μ s ve maksimum 174 μ s olarak hesaplanmıştır. Gözlemlenen blok sayısı ise 8 ile 40 arasındadır. Jitter değeri ile blok sayısı beraber incelendiğinde lineer bir bağlantı görülmemektedir. Hasta kayıtlarının bir tanesinde hiç art arda blok görülmemiştir. Ardışık blok grubu sayısı 2 ile 9 arası olarak belirlenmiştir.

Tekli blok sonrası ikinci pikin bir önceki konumuna göre tetik olan pikten uzaklaşma miktarı ortalama 150 ile 264 μ s arasında hesaplanmıştır. Art arda bloklar sonrasında ise ikinci pikin bir önceki konumuna göre tetik olan pikten uzaklaşma miktarı ortalama olarak minimum 135 μ s, maksimum olarak ise 599 μ s olarak hesaplanmıştır.

İlk hastada jitter analizinde incelenen ikinci pik hem tekli bloklar sonrası hem de ardışık bloklar sonrası tetik pikten daha uzakta çıkma eğilimindedir.

İkinci hasta kaydında tekli blok ertesinde ikinci pik tetik pike zaman zaman yakınlaşma zaman zaman da uzaklaşma eğiliminde olduğundan, dengeli bir davranış göstermektedir. Bu hasta için yakınlaşma miktarı ortalama 222 μ s olarak bulunmuştur. Ardışık bloklar sonrasında ise uzaklaşma eğilimindedir.

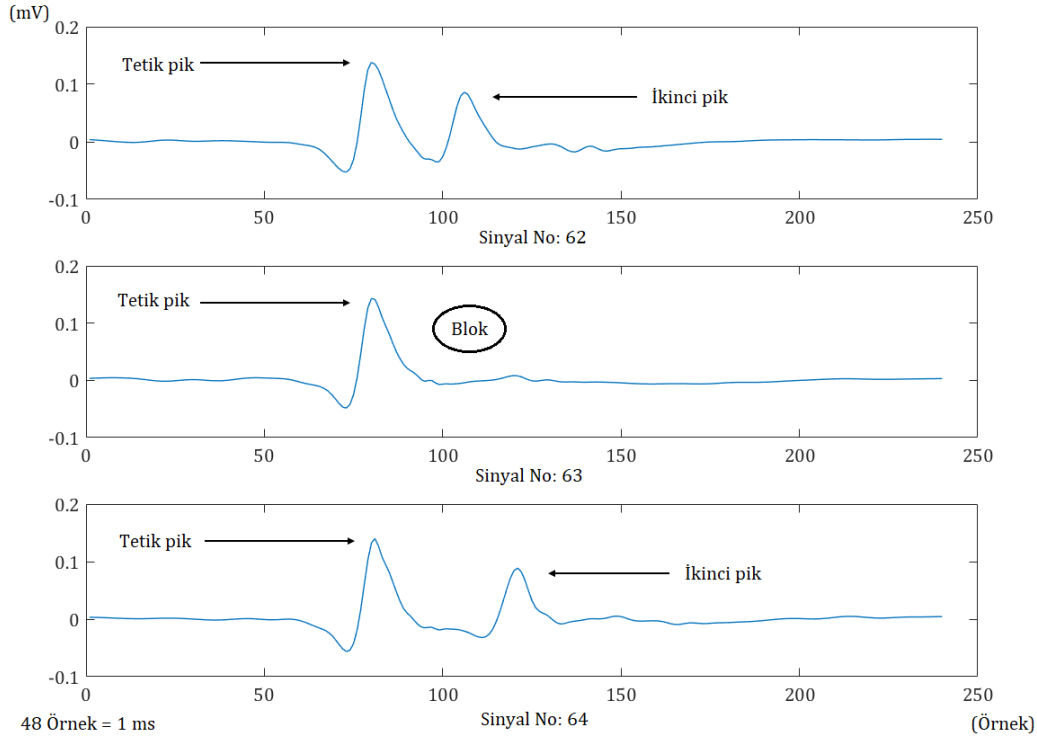
Üçüncü hasta için ardışık blok grubu gözlenmediğinden, davranışından söz etmek mümkün değildir. Tekli bloklar sonrasında ise ikinci pik bir önceki konumuna göre tetik olan pikten uzaklaşma eğilimindedir.

Dördüncü hastaya ait kayıtlarda, tekli bloklar sonrası ikinci hastadakine benzer şekilde dengeli bir davranış gözlemlenmiştir. İkinci pikin bir önceki konumundan blok sonrası tetik pike yakınlaşma miktarı ortalama 400 μ s hesaplanmıştır. Art arda gelen blokların oluşturduğu grupların ertesinde ise ikinci pik bir önceki konumuna göre

tetik pikten uzaklaşma eğilimindedir.

Son hastanın kayıtlarında ise tekli blok sonrası ikinci pik uzaklaşma eğilimindeyken, ardışık bloklar sonrası yaklaşma eğilimindedir. Alınan kayıtlarda blok sonrası yaklaşma eğiliminde olan tek hasta kaydı bu kayıttır. Bu parametre için hesaplanan yaklaşma değeri ortalama 653 μ s'dir.

Miyasteni gravis hastalarından alınan kayıtlarda jitter analizi sırasında ikinci pikin bir önceki konumuna göre tetik olan pikten uzaklaşma durumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Jitter ölçümünde art arda kaydedilen sinyallerde ikinci pikin bir önceki konumunun blok ertesinde tetik pike göre değişiminin grafiği (The graphic for the change of the previous location of second peak according to trigger peak after block at consecutive recordings in jitter measurement)

Şeklin üst satırındaki 62 numaralı sinyal incelendiğinde en yüksek genliğe sahip olan tetik pikin sol tarafa konumlandığı görülmektedir. İkinci pik ise tetik pikin sağ tarafında çıkmaktadır. Orta satırdaki 63 numaralı sinyalde ise ikinci pikin çıkmayıp bloğa uğradığı görülmektedir. Alt satırdaki 64 numaralı sinyalde ise ikinci pikin tekrar ortaya çıktığı fakat bu kez tetik pikten daha uzakta olduğu gözükmektedir.

Kaynak olarak incelenen çalışmaların sonuçları ile bu çalışmanın hesaplanan değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Referans çalışmaların hesaplanmış parametreleri (The calculated parameters of reference studies)

Referans	Grup	Kas	Aktivasyon	Jitter (μ s)	Blok (%)
Sarrigiannis vd., 2006	20 Normal	Ooc	İstemli	29,1	0
		EDC		30,7	0
	56 MG	Ooc		72,6	10
		EDC		65,7	8
Kouyoumdjian ve Stålberg, 2008	50 Normal	Ooc	İstemli	23,5	0
	67 Normal	EDC		24,7	0
Kouyoumdjian vd., 2011	20 MG	EDC	Uyartım	61,5	31
	20 MG	Frontalis		63,3	38,3
Kouyoumdjian ve Stålberg, 2012	20 Normal	Frotalis	Uyartım	16,05	0
Machado vd., 2017	20 Normal	Ooc	İstemli	19	0
	33 MG	Ooc		60,3	13
Artuğ, 2021	5 MG	Frontalis	İstemli	151,2	23,48

İncelenen çalışmalar içinde aktivasyon yöntemi, çalışılan kas ve incelenen grup bakımından bu çalışma ile birebir örtüşen bir çalışma olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Miyasteni gravis, kas sinir iletiminin bozulduğu ve dolayısıyla kişide kas güçsüzlüğüne sebep olan bir hastalıktır. Çalışmada elde edilen kayıtlarda her oturumda 100'er adet sinyal kaydı alınmıştır. Her ne kadar 100 adet sinyal kaydedilse de bazen hiç bir sinyalde blok görülemeyebilir. Bunun sebebi iğnenin batırıldığı konuma denk gelen motor son plağın sağlıklı olmasıdır. Bu sebepten hastalık şüphesi olan bir kişiden bir oturumda birden fazla kayıt alınmaktadır.

Geliştirilen algoritma, EMG cihazlarında bulunan yazılımın hünelerine ilave olarak her sinyaldeki bloğu belirleyerek markalamaktadır. İkinci pikin tetik pike göre konum değişiminin yönünü ve miktarını grafik halinde elektrofizyoloji uzmanına sunabilmektedir.

Kouyoumdjian ve Stålberg'in 2008 ve 2012 yılındaki çalışmalarında (Kouyoumdjian ve Stålberg, 2008; Kouyoumdjian ve Stålberg, 2012) normal bireylerin farklı kaslarından kayıtlar incelenmiştir. Yaptıkları çalışma ile frontalis kası için hastalığa yönelik jitter değeri üst limitini ortaya koymuşlardır. Kullanılan kayıt elektrodu ve kayıtlardaki sinyal sayısı yapılan çalışma ile örtüşse de bu çalışmada incelenen bireyler miyasteni gravis hastalarıdır. Ayrıca bu çalışmada geliştirilen algoritma blok sayımı ve grafiksel gösterimi gibi ek özellikleriyle EMG cihazlarının dahili yazılımlarından daha avantajlıdır.

Kouyoumdjian ve diğerlerinin yapmış olduğu bir başka çalışma (Kouyoumdjian vd., 2011) hem elektrot tipi açısından hem de veri seti bakımından bu çalışma ile kısmen uyumaktadır. Rapor ettikleri %38,3 blok oranına karşılık bu çalışmada ortalama blok aynı kas için %23,48 olarak hesaplanmıştır. Kayıtlar tek olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmada da %40,82'lik bir blok oranı gözükmemektedir. Ortalama blok değerinin bu çalışmada daha az çıkması onların 20 hastasına karşılık bu çalışmanın veri setin havuzunun daha küçük olması olabilir. Ayrıca bu çalışmada kayıtlar istemli kası altında alınmışken Kouyoumdjian vd. çalışmalarında kayıtlarını uyarım tekniği ile almışlardır. Bu kayıt tekniği farkı da yine blok yüzde değerlerinin örtüşmemesinin sebebi olabilir. Bu çalışmanın diğer çalışmaya göre avantajı geliştirilen algoritmanın sunduğu ardışık blokların da gösterilmesi ve grafiksel sunumudur.

Çalışmanın veri setinde bulunan hastaların jitter değerleri (MCD) en az 136 μ s hesaplanmıştır ve bu değer normal değer olan 50 μ s'nin (Stålberg ve Trontelj, 1979) çok üzerindedir. Elde edilen en yüksek jitter (MCD) değeri olan 174 μ s'yi veren hasta kaydı, aynı zamanda en fazla sayıda bloğu ve ardışık blok grubunu göstermiştir. Hastalardan birinde ise blok görülmesine karşın ardışık bloğa rastlanmamıştır.

Jitter değerinin artmasının blok sayısını veya ardışık blok gruplarının sayısını artıracakını söylemek mümkün değildir.

Miyasteni hastası kayıtlarında blok sonrasında ikinci pikin genellikle tetik pikten uzaklaştığı görülmektedir. Hasta sinyalleri istemli kası sırasında kaydedilmiştir. İstemli kası sırasında jitter değeri ölçülüyorsa görülen iki pik aynı motor üniteye ait iki farklı motor son plaktan gelmektedir (Sanders, 2013). İkinci pikin tetik pikten daha uzakta çıkmasının sebebi şu olasılıklara dayanabilir. Motor son plaklardan birinde problem olabilir ya da ikisinde birden de problem olabilir. Bu da iletimde aksamalara ve ikinci pikin daha uzakta çıkmasına sebep olabilir.

Kas sinir iletimini sekteye uğratan çok fazla hastalık bulunmaktadır. Bunlar pre-sinaptik, sinaptik veya post-sinaptik noktaları hedef alabilir. Geliştirilen algoritma farklı hastalık türlerinin davranışını veya bir hastalığın farklı evrelerinin seyrini ortaya koyabilir.

Gelecek çalışma olarak algoritmanın analiz repertuarına yeni kabiliyetler eklenecek ve algoritmaya bir grafik ara yüz tasarlanacaktır. Ayrıca algoritma derleyiciden bağımsız şekilde çalışabileceği daha kullanıcı dostu bir hale getirilecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar hasta kayıtlarının alınması ve temini hususunda Dr. Sezin Alpaydın Baslo'ya ve değerli fikirleri ile yardımlarından dolayı Prof. Dr. M. Barış Baslo'ya teşekkür eder.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Artuğ, N. T., 2015. Taramalı EMG ile Nöromusküler Parametrelerin Belirlenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Benatar, M., Hammad, M., Doss-Riney, H., 2006. Concentric-needle single-fiber electromyography for the diagnosis of myasthenia gravis. *Muscle Nerve*, 34, 163-168.
- Brown, R. H., Cannon, S. C., Rowland, L. P., 2012. Diseases of the Nerve and Motor Unit. E. R. Kandel, J. H. Schwatz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth (Edt.), *Principles of Neural Science*, 5. Basım, içinde (s. 314-318). New York: McGraw-Hill
- Ciafaloni, E., 2019. Myasthenia Gravis and Congenital Myasthenic Syndromes. *Continuum (Minneap Minn)*, 25, 1767-1784.
- Engel, A. G., Shen, X. M., Selcen, D., Sine, S. M., 2015. Congenital myasthenic syndromes: pathogenesis, diagnosis, and treatment. *The Lancet Neurology*, 14, 420-434.
- Engel, A. G., 2018. Congenital Myasthenic Syndromes in 2018. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 18(8):46, 1-11.
- Ertuş, M., Baslo, M. B., Yildiz, N., Yazici, J., Oge, A. E., 2000. Concentric Needle Electrode for Neuromuscular Jitter Analysis. *Muscle Nerve*, 23, 715-719.
- Gilchrist, J. M., 1992. Single Fiber EMG Reference Values: A Collaborative Effort. *Muscle Nerve*, 15, 151-161.
- Gilhus, N. E., Tzartos, S., Evoli, A., Palace, J., Burns, T. M., Verschuuren, J. J. G. M., 2019. Myasthenia gravis. *Nature Reviews Disease Primers*, 5, 1-30.
- Kandel, E. R., Siegelbaum, S. A., 2012. Signaling at the Nerve-Muscle Synapse: Directly Gated Transmission. E. R. Kandel, J. H. Schwatz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth (Edt.), *Principles of Neural Science*, 5. Basım, içinde (s. 189-209). New York: McGraw-Hill
- Kouyoumdjian, J. A., Fanini, A. C., Stålberg, E., 2011. Concentric Needle Jitter on Stimulated Frontalis and Extensor Digitorum in 20 Myasthenia Gravis Patients. *Muscle Nerve*, 44, 912-918.
- Kouyoumdjian, J. A., Stålberg, E., 2008. Reference Jitter Values for Concentric Needle Electrodes in Voluntarily Activated Extensor Digitorum Communis and Orbicularis Oculi Muscles. *Muscle Nerve*, 37, 694-699.
- Kouyoumdjian, J. A., Stålberg, E., 2012. Concentric Needle Jitter in Stimulated Frontalis in 20 Healthy Subjects. *Muscle Nerve*, 45, 276-278.
- Machado, F. C. N., Kouyoumdjian, J. A. Marchiori, P. E., 2017. Diagnostic accuracy of concentric needle jitter in myasthenia: Prospective study. *Muscle Nerve*, 55, 190-194.
- Sanders, D. B., 2013. Measuring Jitter with Concentric Needle Electrodes. *Muscle Nerve*, 47, 317-318.
- Sanders, D. B., Howard, J. F., 1986. AAEE Minimonograph #25: Single-Fiber Electromyography in Myasthenia Gravis. *Muscle Nerve*, 9, 809-819.
- Sanders, D. B., Stålberg, E., 1996. AAEM Minimonograph #25: Single-Fiber Electromyography. *Muscle Nerve*, 19, 1069-1083.
- Sarrigiannis, P. G., Kennett, R. P., Read, S., Farrugia, M. E., 2006. Single-Fiber EMG with a Concentric Needle Electrode: Validation in Myasthenia Gravis. *Muscle Nerve*, 33, 61-65.
- Shieh, P. B., Oh, S. J., 2018. Congenital Myasthenic Syndromes. *Neurologic Clinics*, 36, 367-378.
- Stålberg, E., Trontelj, J. V., 1979. *Single Fibre Electromyography*. Old Woking, UK: Mirvalle Press.



EGZOS GAZLARINI KULLANAN TERMAL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİNDE RT35 PARAFİN MUMUNUN ERİME VE KATILAŞMA SÜREÇLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

Habib GÜRBÜZ^{1*}, Durukan ATEŞ²

¹Department of Automotive Engineering, Faculty of Engineering, Süleyman Demirel University, ISPARTA

²Graduate School of Natural and Applied Sciences, Süleyman Demirel University, ISPARTA

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Termal Enerji Depolama, Egzoz Atık Isı Geri Dönüşümü, Parafin Mumu, Buji Ateşlemeli Motor.</i>	<p>Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorunun egzoz atık ısı enerjisinin geri kazanımı için tasarlanan termal enerji depolama (TED) sisteminin erime ve katılaşma süreçlerinin sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. TED sisteminde termal enerjiyi gizli ısı olarak depolayan ve ticari olarak RT35 koduyla tanımlanan parafin mumu faz değişim malzemesi (FDM) olarak kullanılmıştır. TED sistemi için iki ısı eşanjöründen oluşan iki kapalı devre sıvı sirkülasyon sistemi tasarlanmıştır. Isı eşanjörlerinden ilki, atık ısı geri kazanımı için buji ateşlemeli motorunun egzoz yoluna, diğeri ise FDM kabında atık ısı enerjisinin şarjı ve boşaltılması için kullanıldı. FDM kabı içerisinde, RT35'in erime ve katılaşma süreçlerinde kullanılmak üzere serpantin tipi iki adet ısı eşanjörü iç içe konumlandırılmış. Sayısal analizlerde, tek silindirli ve buji ateşlemeli bir motorda gerçekleştirilen deneysel çalışmadan elde edilen egzoz gazının sıcaklık ve debi değeri kullanılmıştır. Sayısal analizler sonucunda, tasarlanan gizli ısı TED sistemi ve kabul edilen sınır şartları altında RT35'in erime işlemi 13375.sn'de %98 sıvı oranına ulaşarak 1136 kJ'ün gizli ısı enerjisi olarak depolanabildiği, katılaşma işlemi ise 49775.sn'de %18 sıvı oranı ile 945 kJ'lük enerjisinin geri salınabildiği tespit edilmiştir.</p>

NUMERICAL ANALYSIS OF MELTING AND SOLIDIFICATION PROCESSES OF RT35 PARAFIN WAX IN THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM USING EXHAUST GASES

Keywords	Abstract
<i>Thermal Energy Storage, Exhaust Waste Heat Recovery, Paraffin Wax, Spark Ignition Engine.</i>	<p>In this paper, a numerical analysis of the melting and solidification processes of the thermal energy storage (TES) system designed for the exhaust waste heat recovery of a spark-ignition engine was performed. Paraffin wax, which stores thermal energy as latent heat and is commercially identified with the code RT35, is used as phase change material in the thermal energy storage (TES) system. Two closed-loop fluid circulation system was designed consisting, two heat exchangers for the TES system. The first of the heat exchangers were used to the exhaust path of the SI engine for waste heat recovery, and the other was used for charging and discharging waste heat energy in the PCM container. In the PCM container, two serpentine type heat exchangers are positioned one inside the other to be used in the melting and solidification processes of the RT35. In the numerical analyses, the experimental exhaust gas temperature and flow rate values of a single-cylinder SI engine were used. As a result of the numerical analysis, it has been determined that 1136 kJ energy can be stored as latent heat energy in the PCM container at 13375 sec by 98% liquid fraction, while in the heat discharge process, 945 kJ of energy can be released at 49775 sec by 18% liquid fraction.</p>

Alıntı / Cite

Gürbüz, H., Ateş, D., (2021). Egzoz Gazlarını Kullanan Termal Enerji Depolama Sisteminde RT35 Parafin Mumunun Erime ve Katılaşma Süreçlerinin Sayısal Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,9(2), 520-534.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Gürbüz, 0000-0001-5157-6227
D. Ateş, 0000-0002-6604-7384

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.01.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	15.02.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar/Corresponding author: habibgurbuz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1867

1. Giriş (Introduction)

Konvansiyonel fosil kökenli yakıtlar ile çalışan içten yanmalı motorlarda (İYM) yakıtın ısı enerjisinin, buji ateşlemeli motorlarda \approx %25-28'lik kısmı çıkış milinde mekanik enerjiye dönüştürülürken \approx %17-26'lik kısmı soğutma sisteminde, \approx %36-50'lik kısmı egzoz gazlarıyla ve \approx %3-10'lik kısmı radyasyon, mekanik sürtünme ve yardımcı sistemlere harcanan güç olarak kaybedilmektedir. Sıkıştırma ile ateşlemeli dizel motorlarda ise, yakıtın ısı enerjisinin %34-38'lik kısmı çıkış milinde mekanik enerjiye dönüştürülürken, \approx %16-35'lik kısmı soğutma sisteminde, \approx %23-37'lik kısmı egzoz gazlarıyla ve \approx %2-6'lik kısmı radyasyon, mekanik sürtünme ve yardımcı sistemlere harcanan güç olarak kaybedilmektedir (Moran vd., 2010). İYM'larda egzoz ve soğutma sistemi ile kaybedilen atık ısı enerjisinin geri kazanılarak motorun veya taşıtın ihtiyacında kullanılabilmesi için günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, termoelektrik, piezoelektrik, termioyonik ve termo fotovoltaiik jeneratörler gibi sistemler kullanılarak atık ısı enerjisinin direk olarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi mümkün olduğu gibi, Rankine ve Stirling çevrimlerini kullanılarak dolaylı olarak güç üreten sistemler kullanılmaktadır (Rahman vd., 2015; Hoseini vd., 2017, Topalci vd., 2020). Bunların dışında, egzoz gazlarının atık ısı enerjisini depolanarak taşıt kabini, katalitik konvertör, taşıt ya da İYM'a ait diğer donanımlarının ısıtılması ile sistem verimliliğinin artırıldığı termal ısı depolama (TED) sistemlerinin kullanılması üzerine araştırmalar yapılmaktadır (Mollenhauer vd., 2018; Gürbüz ve Ateş, 2020). TED sistemlerinde, yüksek gizli ısı entalpisine sahip faz dönüşüm malzemeleri (FDM) kullanılarak atık ısı enerjisinin depolanması ve gerektiğinde faz dönüşümü ile depolanan ısı enerjisinin yeniden kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir (Karasu ve Dincer, 2018; Wu vd., 2018). TED sistemlerinde, dış ortamdan alınan ısı enerjisi FDM'nin katı fazdan sıvı faza dönüşümü sırasında artan iç enerjisi yarımıyla depolanmaktadır. Sıvı faza geçen FDM, katılaşma sırasında iç enerjinde depoladığı ısı enerjisini dış ortama bırakarak tekrardan katı faza geçmektedir (Fleischer, 2015; Liu vd., 2020). TED sistemlerinde parafin mumları, hidratlanmış tuzlar, organik ve inorganik bileşikler gibi çeşitli erime sıcaklıklarına sahip çok çeşitli FDM malzemeleri kullanılmaktadır (Ebadi vd., 2018). TED sistemlerinde FDM olarak parafinler yaygın olarak kullanılmaktadır. C_nH_{2n+2} genel kimyasal formülüne sahip parafinler, düz zincirli hidrokarbon yapısına sahiptir ve karbon sayılarının artışına bağlı olarak erime-katılaşma sıcaklıkları ve gizli ısı entalpileri artmaktadır. Yüksek gizli ısı entalpisine sahip olan parafinler, iyi ısı ve kimyasal kararlılığa sahip olmalarının yanında zehirli veya aşındırıcı olamamaları gibi avantajlara sahiptir (Sharma vd., 2009). Parafinler, yüksek gizli ısı entalpileri nedeniyle ısı enerjisinin uzun süre depolanmasına olanak sağlarlar. Ancak, düşük ısı iletim katsayısına sahip olmaları nedeniyle ısı transferi açısından dezavantajlıdır (Tiari vd., 2015). Bu nedenle, FDM olarak parafinlerin kullanıldığı TED sistemlerinde, ısı iletim katsayısının iyileştirilmesi için farklı kanat geometrisi, yapısı ve sayılarına sahip eşanjörler kullanılarak ısı tutma kapasitesi ve faz dönüşüm süresinin kısaltılması mümkündür. Ayrıca, parafinlere farklı metallerin, elementlerin ve nano partiküllerin katılması ile ısı iletim katsayısını artırmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Mahdi vd., 2018; Mahdi vd., 2019). Bu konuda, yürütülen teorik çalışmalarda genellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal analizleri yapılmaktadır. HAD analizleri sayısal olarak tanımlanan sıvı ve gaz akışkan yapıdaki malzemelerin katı yüzeyler ile etkileşimleri, ısı transferi, kütle transferi, kimyasal reaksiyon gibi durumların bilgisayar yardımıyla sayısal olarak çözülmesine olanak sağlamaktadır (Scupi, 2016). John ve Subramanian (2019) sıkıştırma ile ateşlemeli bir sabit tesis dizel motorun 1500 d/d motor devrinde, egzoz gazlarının ısı enerjisinin kullanıldığı 8417 kJ ısı enerjisi depolama kapasitesine sahip TED sistemi ile gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda, motorun tam yükünde 1,55 kW, %75 motor yükünde 1,07 kW, %50 motor yükünde 0,77 kW ve %25 motor yükünde 0,56 kW'lık ısı enerjisini depolayabildikleri. Kauranene vd. (2010), sıkıştırma ile ateşlemeli bir dizel motorun 0 °C'ın altındaki soğuk iklim koşullarında ortaya çıkan yüksek egzoz emisyonları ve düşük motor performansını iyileştirmek için egzoz atık ısı enerjisinin FDM ile depolandığı TED sistemini kullanılarak motora ön ısıtma uygulamışlardır. Gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda, FDM ile 2500 kJ'lük ısı enerjinin 45 dakika içerisinde depolandığını ve 15 dakika içerisinde deşarj edilerek motorun soğuk havalarda ısıtılabilmesini tespit etmişlerdir. Pandiyarajan vd. (2011), İYM'un egzoz yoluna bağlanan kabuk ve kanatlı boru tip eşanjörler ile egzoz atık ısı enerjisinin depolandığı TED sistemi üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, gizli ısı ve hissedilir ısı depolarını birleştiren silindirik FDM kapsüllerini kullanan bir TED sistemi tasarlamışlardır. Sonuç olarak, birleştirilmiş TED sistemi ile motora alınan yakıtın ısı enerjisinin yaklaşık %10-15'nin FDM'de depolanabildiğini tespit etmişlerdir. Oró vd. (2016), tipik bir aracın tavanına yerleştirilen FDM'nin kullanıldığı TED sistemi ile soğuk iklim şartlarında araç kabinin ısıtılmasını amaçlayan bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, FDM'de ısı depolama için güneş ve ortam ısısını kullanan bir TED sistemi tasarlamışlardır. Gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar sonucunda, aracın toplam kabin hacminin yalnızca %0,22'lik kısmına FDM kullanan TED sistemini yerleştirerek yolcuların yaz ve kış şartlarında konforunun artırabileceğini tespit etmişlerdir. Kant vd. (2018) dögüsel olarak ısıtılan FDM'nin erime ve katılaşma davranışlarını HAD yöntemini kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. HAD analizlerinde, FDM'nin erime ve katılaşma süreci boyunca hız dağılımı, sıvı oranı, sıcaklık dağılımı ve ısı enerjisi değişimini gözlemlemişlerdir. HAD sayısal analizler sonucunda, erime süresinin değişken ısı akışı ile azaldığı, erime süresinin katılaşma süresine göre daha kısa sürdüğünü tespit etmişlerdir. Bouhal vd. (2018), silindirik geometrideki kabin içerisine doldurulan FDM'nin erime işleminin 2 boyutlu HAD modeli ile sayısal analizlerini yapmışlardır. Yapılan HAD analizleri sonucunda, ısı kaynağı geometrisine eklenen kanatlar ile ısı transferi

özelliğinin iyileştirilerek erime süresinin 18,35 dakikadan 13,55 dakikaya düşürülebileceğini tespit etmişlerdir. İncelenen çalışmalar, atık ısı enerjisinin bir kısmının PCM kullanan TED sistemlerinde depolanarak faydalı enerjiye dönüştürülebildiği görülmektedir. Ancak, şarj/deşarj süresi, faz değişim kabiliyeti ve ısı iletkenlik gibi parametrelerin optimizasyonu açısından uygun FDM'nin seçimi ve TED sisteminin tasarımı üzerinde ek deneysel ve sayısal çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, buji ateşlemeli bir motorunun egzoz atık ısı enerjisini depolamak ve yeniden kullanmak için FDM olarak ticari olarak RT35 koduyla tanımlanan parafin mumu kullanan bir TED sistemi tasarlanmıştır. TED sisteminde erime ve katılaşma süreçleri için zamana bağlı HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. HAD analizlerinde RT35'in erime ve katılaşma kabiliyeti; ısı akışı, sıcaklık, sıvı oranı ve ısı enerjisi değişiminin zamana bağlı sayısal veriler ve kontur görüntüleri ile incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

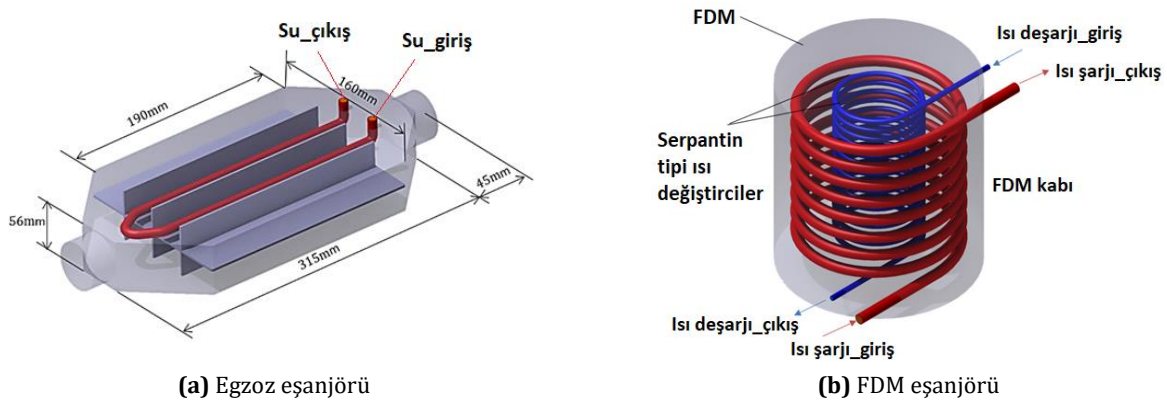
Bu çalışmada buji ateşlemeli bir motorunun egzoz atık ısı enerjisinin geri kazanmak için bir TED sistemi tasarlanmıştır. TED sisteminde, FDM'nin katı-sıvı faz dönüşümü ve sıvı-katı faz dönüşümü işlemleri ile gerçekleşen gizli ısı termal enerji depolama ve salınımının proseslerinin zamana bağlı sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, gizli ısı termal enerji depolama ve salınım işlemlerinde, FDM olarak piyasada RT35 koduyla tanımlanan parafin mumu kullanılmıştır. RT35'in termo-fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo1. RT35'in termo-fiziksel özellikleri (Thermophysical properties of RT 35) [Yang vd., 2016; Sunku vd., 2020; Shamsavar vd., 2020]

Termo-fiziksel özellik	Katı /Sıvı
Yoğunluk (kg/m ³)	880/770
Dinamik viskozite (Pa.s)	0.023
Spesifik ısı (c _p) - (kJ/kgK)	1,8 /2,4
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0,2/0.1
Gizli füzyon ısı (kJ/kg)	157
Isıl genleşme katsayısı (K ⁻¹)	0,0006
Sıcaklık (K) Katılaşma/Erime	302/309

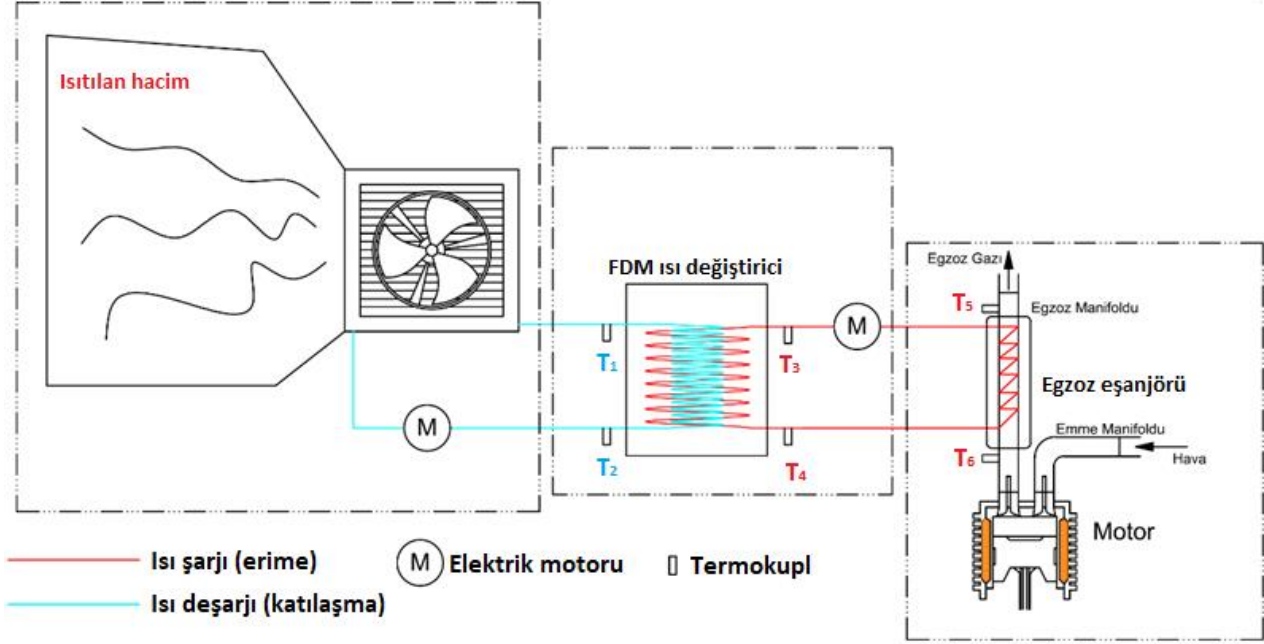
2.1. TED sisteminin tasarımı

FDM'nin ısı şarj ve ısıdeşarj proseslerinin sayısal olarak analiz edilebilmesi için 2 ısı eşanjöründen oluşan bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Isı eşanjörlerinden birincisi, motorun egzoz atık ısı enerjisinin bir kısmının aracı akışkana aktarılabilmesi için içerisinden egzoz gazlarının geçtiği 190x160x56 mm dikdörtgen prizma yapıya sahip egzoz susturucusundan oluşmaktadır. Dikdörtgen prizma egzoz susturucusu, giriş ve çıkışında 62,5 mm uzunluklara sahip bir yayıcı ve lüle yardımıyla motorun egzoz hattına 45 mm dış çapa sahip giriş-çıkış boruları ile bağlanmaktadır. Susturucu içerisine U şeklinde bükülmüş 7 mm dış çapa sahip bakır boru egzoz akışı boyunca konumlandırılarak "egzoz eşanjörü" oluşturulmuştur. İkinci ısı eşanjörü, içerisinden FDM'nin depolandığı 230 mm çapa, 210 mm yüksekliğe ve 8395 cm³ iç hacmine sahip silindirik bir kaptan (FDM kabı) oluşmaktadır. FDM kabı içerisinden, RT35'in erime ve katılaşma proseslerinin gerçekleştirilebilmesi için iç içe geçmiş 2 adet serpantin tipi ısı eşanjörü yerleştirilmiştir. 150 mm helis uzunluğu ve çapına sahip, 8 adet helezon halkasından oluşan dış serpantin tipi ısı eşanjörü, 10 mm dış çapa sahip bakır borudan tasarlanarak FDM'nin eritme prosesinde kullanılmıştır. 150 mm helis uzunluğu, 75 mm helis çapı ve 16 adet helezon halkasından oluşan iç serpantin tipi ısı eşanjörü, 7 mm dış çapa sahip bakır borulardan tasarlanarak FDM'nin katılaşma prosesinde kullanılmıştır. Böylece, "FDM eşanjörü" oluşturulmuştur. Egzoz ve FDM eşanjörlerinin katı model resimleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Egzoz ve FDM eşanjörlerinin katı model resmi (Solid model drawing of exhaust and FDM heat exchangers)

Egzoz atık ısı enerjisinin FDM kabında depolanması ve depolanan ısı enerjisinin ısıtılacak ortama aktarılabilmesi için 2 adet kapalı devre sıvı dolaşım sistemi tasarlanmıştır. Egzoz eşanjörü içerisinde konumlandırılan U şeklindeki bakır boru ile FDM kabı içerisindeki dış serpantin tipi ısı eşanjörü arasında oluşturulan kapalı devre sıvı dolaşım sistemi ile egzoz atık ısı enerjisinin bir kısmı RT35'in erime sürecinde kullanılarak gizli ısı enerjisi olarak depolanmıştır. FDM kabı içerisindeki iç serpantin tipi ısı değiştirici ile RT35'de gizli ısı olarak depolanan termal enerjinin ısıtılacak ortama aktarılabilmesi için ikinci kapalı devre sıvı dolaşım sistemi oluşturulmuştur. Her iki sıvı dolaşım sisteminde ısı taşıyıcı aracı akışkan olarak su kullanılmış ve suyun bir elektrikli pompa yardımıyla dolaştırılması sağlanmıştır. Tasarlanan TED sisteminin şematik yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan TED sisteminin şematik yapısı (Schematic structure of the designed TED system)

Sayısal analizlerde, kapalı devre sıvı sirkülasyon sisteminde su sıcaklığını döngüsel olarak hesaplayabilmek için "Kullanıcı Tanımlı Fonksiyon (UDF) kodu geliştirilmiştir. Bu kodda, ilk adım başlangıç sınır değerleri kullanılarak hesaplanarak ilk adımın sonunda $Su_{\text{çıkış}}$ ve $Isı\ şarjı_{\text{çıkış}}$ 'larındaki ortalama sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Bir sonraki zaman adımının başlangıcında, " $Su_{\text{çıkış}}$ " yüzeyinden alınan sıcaklık değeri " $Isı\ şarjı_{\text{giriş}}$ " yüzeyine ve " $Isı\ şarjı_{\text{çıkış}}$ " yüzeyinden alınan sıcaklık değeri " $Su_{\text{giriş}}$ " yüzeyine taşınır. Bu döngüsel hesaplama sayısal analiz tamamlanana kadar adım adım devam etmektedir.

2.2. Yönetim Denklemleri (Government Equations)

Sayısal analizler, üç boyutlu zamana bağlı türbülanslı akış modeli kullanılarak gerçekleştirildi. Sunulan yönetim denklemleri, ANSYS-Fluent 14.5 yazılımı ile hesaplamalı akışkanla mekaniği (HAD) kullanılarak zamana bağlı olarak çözüldü. Ayrıca ANSYS-Fluent 14.5 yazılımının "Kullanım Kılavuzu" Denklem 1-12 ve açıklamalarında kullanılmıştır (ANSYS FLUENT, 2014). Zamana bağlı sayısal çözümlemede, film zamanını aynı fiziksel akış süresine iletirmek için film alt-zaman adımlarının sayısı kullanıldı ve film alt-zaman adımı Denk.1'de belirtilen "Transient equation" ile hesaplandı.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{flow}}{N_{film}} \quad (1)$$

Burada, Δt_{flow} akış zamanı adımlarıdır ve N_{film} film zaman adımlarının sayısıdır. Sıkıştırılmayan akışların yanı sıra sıkıştırılabilir akışlar için kütle korunumunu yansıtan genel "Süreklilik denklemi" Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2)$$

Burada S_m kullanıcı tarafından tanımlanmış kaynaklardan veya 2. farklı fazın olduğu durumda bir fazdan diğer faza (sıvı fazdan gaz fazına geçiş gibi) eklenen kütle, ρ yoğunluk ve \vec{v} hız vektörüdür.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

Burada, \vec{v} hız vektörü, p statik basıncı, $\bar{\tau}$ gerilme tensörünü, $\rho \vec{g}$ yerçekimi vücut kuvvetini ve \vec{F} dış gövde kuvvetlerini belirtir. Gerilme tensörü ($\bar{\tau}$) HAD analizlerinde Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (4)$$

Burada, μ moleküler viskoziteyi, I birim tensörünü ve sağdan ikinci terim (2/3) hacim genişlemesinin etkisini gösterir. Katılma ve sıvılaştırma analizlerinde, peltemsi bölgenin azalmış gözenekli yapısını hesaba katmak için Eşitlik 5'te tanımlanan modifiye "Momentum denklemi" kullanılmıştır.

$$S = \frac{(1-\beta)^2}{(\beta^3 + \varepsilon)} A_{mush} (\vec{v} - \vec{v}_p) \quad (5)$$

Burada, β sıvı oranıdır. ε sıfır ile bölünmeyi önleyen çok küçük bir sayıdır. A_{mush} peltemsi bölge sabitidir ve 10^{-5} olarak tanımlanmıştır (Yang and Wang, 2012). \vec{v} ve \vec{v}_p katılma malzemenin alan dışına çekilmesinden dolayı değişen katı hızlarıdır ve ayrıca çekme hızı olarak ta adlandırılır. Enerji denklemi Eşitlik 6 ile tanımlanabilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \quad (6)$$

Burada, ρ yoğunluktur, E toplam enerjidir, \vec{v} hız vektörüdür, $\bar{\tau}_{eff}$ gerilme tensörüdür, k_{eff} efektif ısı iletim katsayısıdır, \vec{J}_j , j türlerinin difüzyon akısıdır ve h_j , j türünün entalpisidir. S_h , kimyasal reaksiyon ve/veya tanımlanan başka bir ısı kaynağı tarafından üretilen ısıdır. Malzemenin toplam ısı içeriği veya malzemenin entalpi (H), hissedilebilir ısı (ΔH) ve gizli ısı (h) toplamı ($H = h + \Delta H$) olarak hesaplanır. Gizli ısı (h) Eşitlik 7 ile tanımlanır.

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T c_p dT \quad (7)$$

Burada, h_{ref} referans entalpisini, T_{ref} referans sıcaklığını, c_p sabit basınçtaki özgül ısıyı tanımlamaktadır. Eşitlik 7'de kullanılan katılma ($T_{solidus}$) ve sıvılaşma ($T_{liquidus}$) sıcaklığına bağlı olarak belirlenen sıvı oranı HAD analizlerinde malzemenin sıvı/katı oranını belirten sıvı oranı β ile tanımlanırsa;

$$\begin{aligned} \beta &= 0 \text{ ise } T < T_{solidus}, \\ \beta &= 1 \text{ ise } T < T_{liquidus} \\ \beta &= \frac{T - T_{solidus}}{T_{liquidus} - T_{solidus}} \text{ ise } T_{solidus} < T < T_{liquidus} \end{aligned} \quad (8)$$

Burada, β sıvı oranıdır, $T_{solidus}$ katılma sıcaklığını ve $T_{liquidus}$ sıvılaşma sıcaklığının tanımlamaktadır. Gizli ısı içeriği (ΔH), bir L tipinde malzemenin gizli ısı değerine göre $\Delta H = \beta L$ olarak formüle edilebilir. ΔH , sıfır (katı için) ve L (sıvı için) arasında bir değer alabilir. Böylece, faz değişiminin meydana geldiği FDM analizleri için Eşitlik 6'nın modifiye edilmiş bir formu olan Eşitlik 9 elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S \quad (9)$$

Burada, H entalpi, ρ yoğunluk, \vec{v} sıvı hızı, S kullanıcı tarafından girilen kaynak terimi ve k ısı iletim katsayısını tanımlamaktadır. Erime ve katılma sırasında gerçekleşen sıvı oranı değişimi ile oluşan çökelmeler, katılma malzeme ve peltemsi bölgede türbülansın hesaplanabilmesi için türbülans denkleminde eklenir. Çökme terimi Eşitlik 10'daki momentum çökmesine ile oldukça benzerdir.

$$S = \frac{(1-\beta)^2}{(\beta^3 + \varepsilon)} A_{mush} \quad (10)$$

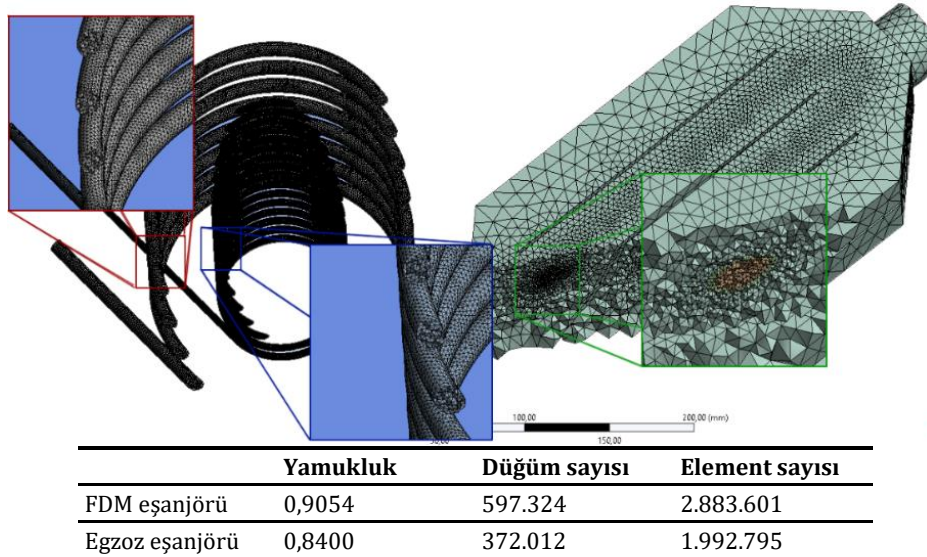
Burada, S malzemenin hızındaki azalmayı tanımlayan kaynak terimidir, \emptyset çözülün türbülans miktarını (k, ε, ω) temsil eder. Sayısal analizde kullanılan RNG k- ε modeli, renormalizasyon grubu teorisi adı verilen istatistiksel teknikler kullanılarak türetilir. Genel formdaki RNG k- ε modeli için taşıma denklemleri aşağıdaki gibidir (Eşitlik 11 ve 12),

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (12)$$

Burada, k kütle başına düşen kinetik enerjiyi, ε türbülans dağılım oranını, μ_{eff} efektif dinamik viskoziteyi, u hız vektörünü, R_ε gaz sabitini tanımlamaktadır. G_k , $k - \varepsilon$ modülünün türbülans üretim modelinde tanımlanan ortalama hız gradientlerinden dolayı türbülans kinetik enerjisinin üretimini temsil eder. G_b , $k - \varepsilon$ modülünde türbülansın Buoyancy'nin etkisinden dolayı oluşan türbülans kinetik enerjisidir. Y_M , kararsız genişleyen sıkıştırılabilir türbülansın toplam dağılım oranına katkısını temsil etmektedir. α_k ve α_ε sırasıyla k ve ε için ters etkili Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε kullanıcı tarafından tanımlanan kaynaklardır. $C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ model sabitleridir ve sırasıyla 1,44 ve 1,68 değerlerini alırlar.

TED sisteminin HAD analizlerinde basınç ve hız arasındaki ilişkiyi çözmek için "SIMPLE" algoritması kullanılmıştır. Basınç doğrulama denklemini çözmek için "PRESTO" diyagramı kullanılırken, momentum ve enerji denklemlerini çözmek için "Second Order Up Wind" şeması kullanıldı. Ayrıca Geçici Formülasyon için "First Order Implicit" şeması kullanılmıştır. Sayısal modelleme için tasarlanmış egzoz ve FDM ısı eşanjörlerinin ağ oluşturma adımları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Sayısal modelleme için tasarlanmış ısı eşanjörlerinin mesh yapısı (Mesh structure of heat exchangers designed for numerical modeling)

Sayısal analizlerde, 1600 rpm motor devri, stokiometrik hava-yakıt karışımı ve 1/2 gaz kelebeği konumunda yakıt olarak benzin ile çalışan tek silindri, hava soğutmalı buji ateşlemeli bir motorun egzoz gazının sıcaklığı ve kütle akış hızı değerleri kullanılmıştır. Buji ateşlemeli motor, 476,5 cm³ strok hacmine, maksimum 13 HP çıkış gücüne ve 25 Nm tork değerine sahiptir. Egzoz gazlarının atık ısının FDM kabına ve FDM kabında depolanan gizli ısınının ısıtılacak ortama aktarılmasında ısı taşıyıcı akışkan olarak su kullanılmıştır. Egzoz gazı ve suyun termo-fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Isı şarjı (erime) ve ısı deşarjı (katılaşma) süreçlerinin analizlerinde egzoz gazı, PCM ve su için kabul edilen başlangıç sınır koşulları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Su ve egzoz gazının termofiziksel özellikleri (Thermophysical properties of water and exhaust gas) [Perry, 1984]

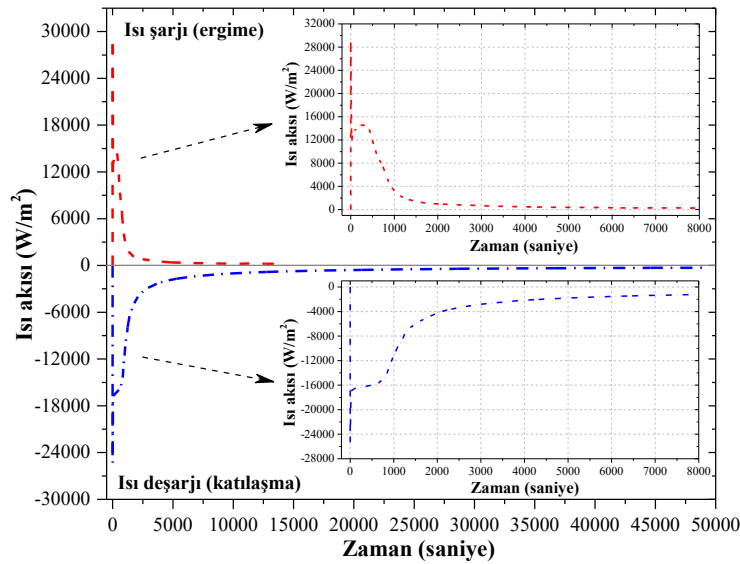
Termofiziksel özellik	Egzoz gazı (400-600K)		Su (283 K)
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	0,871	0,58	999,75
Spesifik ısı, c_p (kj/kgK)	1,014	1,051	4,1997
Isı iletim katsayısı, k (W/Mk)	0,0336	0,0466	0,5797
Dinamik viskozite, μ (Pa.s)	0,0000320	0,0000306	0,001375

Tablo 3. Egzoz gazı, su ve RT35 için başlangıç ve sınır şartları (Initial and boundary conditions for exhaust gas, water and RT35)

FDM ısı eşanjörü	Serpantin tipi ısı eşanjörü yüzey sıcaklığı (K)		FDM (RT35)'in sıcaklığı (K)
	Isı şarjı	363,15	-
Isı deşarjı	-	273,15	363,15
Egzoz ısı eşanjörü	Su giriş	Sıcaklık (K)	Kütlesel debi (kg/s)
		283,15	0,008
Egzoz gaz giriş	Sıcaklık (K)	Kütlesel debi (kg/s)	
	500	0,004	

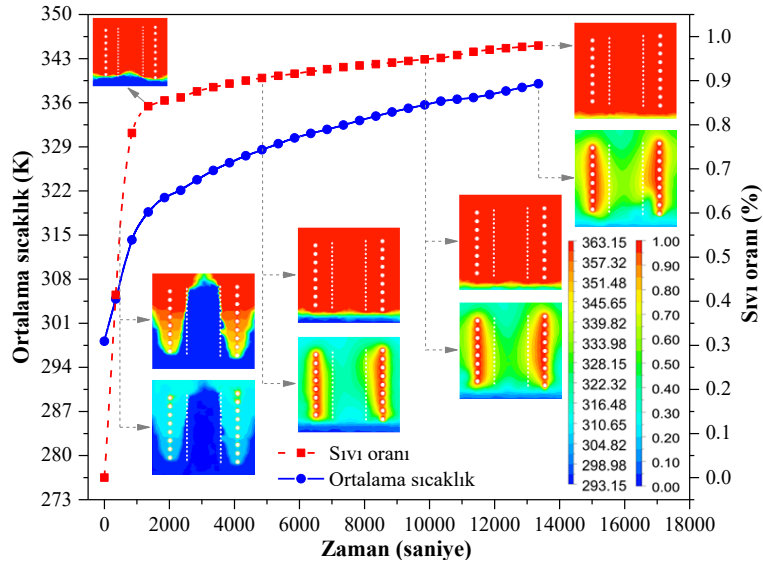
3. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Research Findings and Discussion)

RT35'in ısı şarjı (erime) ve ısı deşarjı (katılaşma) süreçlerinde ısı akısının zamana karşı değişimini Şekil 4'de verilmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, RT35'in ısı şarjı sürecinde ≈ 3250 .sn'de maksimum ısı akısına ulaşmış ve ardından ısı akısı ≈ 1500 .sn'e kadar hızla azalmaktadır. Eritme işleminin ilk aşamaları, iletim baskın ısı transfer modudur. Bu aşamada, sıvı nano-FDM katmanlarının darlığı viskoz kuvvetin kaldırma kuvvetine hâkim olmasına izin verdiği için, neredeyse hareketsiz bir sıvı nano-FDM yapısı hakimdir (Cui vd., 2011). Bu nedenle, RT35'in eritme işleminin başlangıcında ısı akısı daha yüksek bir değere sahiptir. ≈ 4000 .sn'de ısı akısı çok düşük bir değere azalmış ve analizin sonuna kadar (13375.sn) neredeyse sabit kalmıştır. Isı deşarjı işleminin başlangıcında, sıcak serpantin tipi ısı değiştirici (STID) duvarı ile daha soğuk RT35 arasındaki yüksek sıcaklık farkı nedeniyle ısı akışı hızla arttı. Isı akışı daha sonra ≈ 2500 .sn'e kadar hızla azaldı ve 2500-15000.sn arasında daha yavaş bir hızla azalan ısı akısı ≈ 15000 .sn'den analizin sonuna kadar neredeyse sabit kaldı.



Şekil 4. RT35'in erime ve katılaşma süreçlerinde ısı akısının zamana karşı değişimi (Variation of heat flux over time in the melting and solidification processes of RT35)

RT35'in ısı şarjı sürecinde ortalama sıcaklık ve sıvı oranının zamana karşı değişimi Şekil 5'te verilmiştir. RT35 ile doldurulmuş FDM kabındaki ortalama sıcaklık, ≈ 1300 .sn'de yaklaşık 318 K'ye ulaşmıştır. Isı şarjı işleminin ilk aşamalarında (0-900.sn), iletim baskın ısı transferi modu ile artan ısı akısı, STID'dan geçen sıcak sudan FDM kabındaki daha soğuk RT35'e olan ısı aktarım hızını artırdı ve ortalama sıcaklığın daha hızlı yükselmesine neden oldu. ≈ 1300 .sn'den sonra, RT35'in daha yavaş artan ortalama sıcaklığı, analizin sonunda (13375.sn) 339 K'ye ulaştı. RT35, ≈ 1300 .sn'den sonra STID'a yakın bölgelerde peltamsi kıvamda olduğundan, bu safhada baskın olan doğal konveksiyonun etkisi ile azalan ısı akısı ısı transfer hızını düşürmüştü ve bu da ortalama sıcaklık artış hızının azalmasına neden olmuştur. FDM kabındaki peltamsi kıvamdaki RT35 miktarının artması ile ısı şarjı işleminin ilerleyen safhalarında ısı transfer hızı ve buna bağlı olarak ortalama sıcaklıktaki artış hızı daha da yavaşlamıştır. Şekil 5'de görüldüğü gibi, eritme işleminin başlangıcında (0-900.sn), sıcak STID duvarı ile daha soğuk RT35 arasındaki yüksek sıcaklık farkı nedeniyle, erime hızı ve dolayısıyla sıvı oranındaki artış hızı daha yüksektir. PCM kabındaki RT35'nin sıvı oranı ≈ 900 .sn'nin sonunda $\approx 80\%$ 'e ulaşmıştır. Bu sürenin ardından, sıvı oranındaki artış çok yavaş ilerledi ve 13375.sn'de 98% 'e ulaşmıştır.

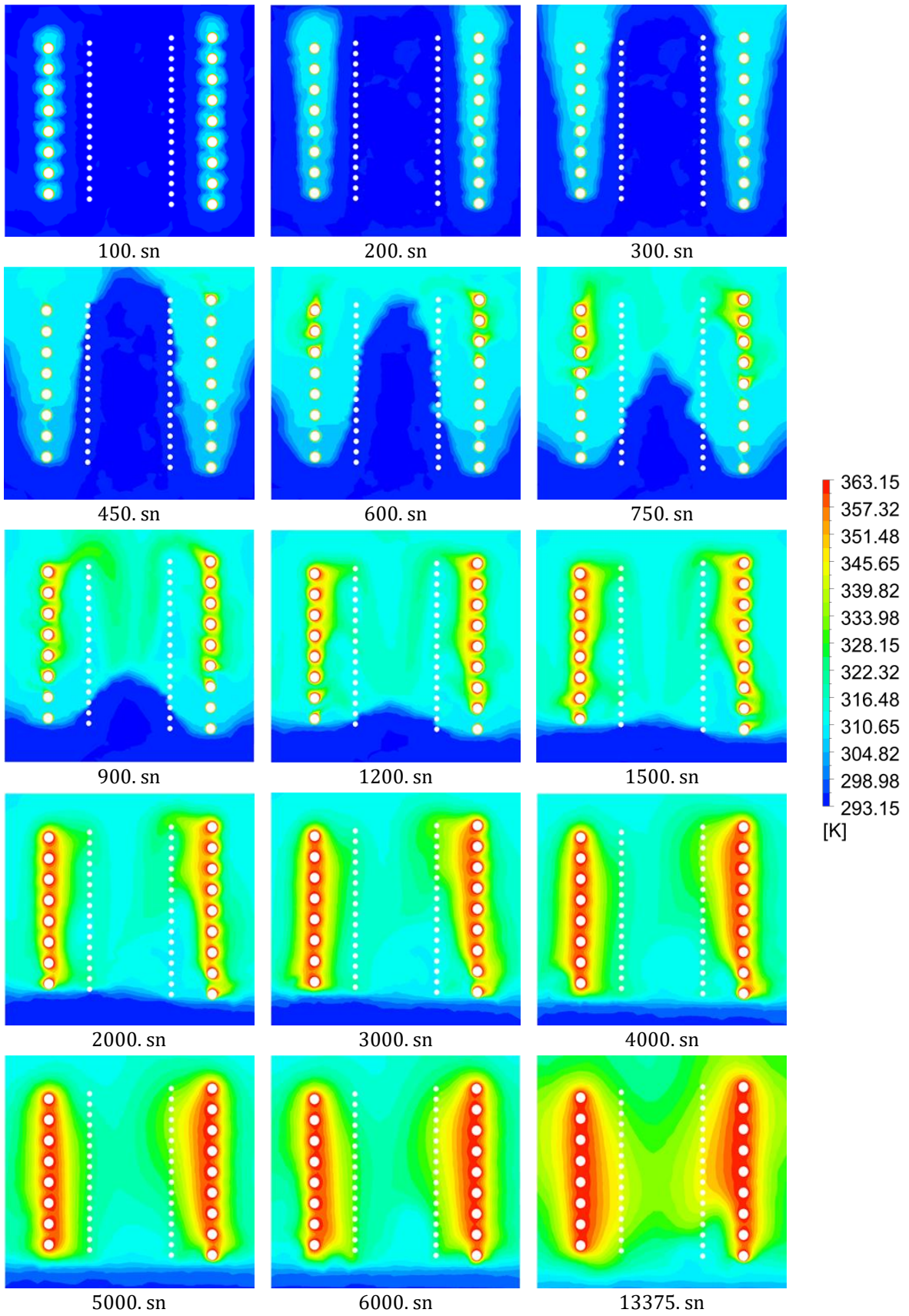


Şekil 5. Erime sürecinde ortalama sıcaklık ve sıvı oranının zamana karşı değişimi (Variation of average temperature and liquid ratio versus time during the melting process)

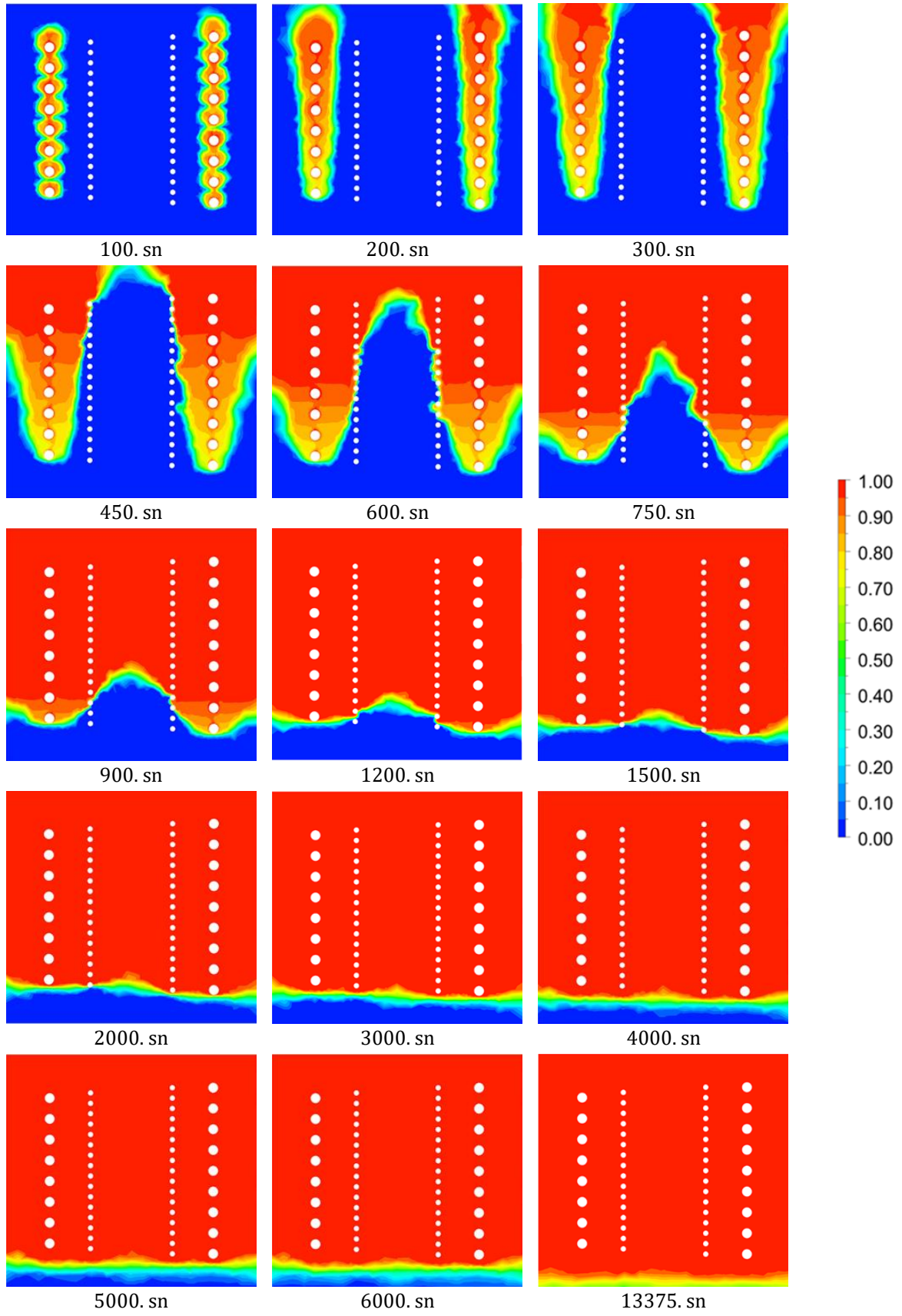
Şekil 6'da verilen RT35'in ısı şarjı (erime) sürecinde sıcaklık konturlarının zamana karşı değişimi incelendiğinde; başlangıçta sıcaklık gardiyanlarının STID'in halkalarından FDM kabının üst bölgelerine doğru, ardından üst merkezden dikey olarak aşağıya olarak dağıldığı görülmektedir. ~600. saniyeden sonra, sıcaklık gardiyanlarının STID çevresinde daha yüksek bir sıcaklık değerinde yoğunlaştı ve sonraki aşamalarda STID çevresinden FDM kabının merkezine doğru sıcaklık gardiyanlarının dağıldığı görülmektedir.

RT35'in ısı şarjı sürecinde sıvı oranı konturlarının zamana karşı değişim Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 7'de görülebileceği gibi 0-900 saniye aralığında sıvı oranı hızla artmıştır. Başlangıçta, STID çevresinde erime ile başlayan sıvı oranındaki artış, FDM kabının iç ve kenar bölgelerine yayılmıştır. ~900.sn'den sonra önemli ölçüde yavaşlayan sıvı oranındaki artış hızı, analizin sona kadar çok düşük artış hızına sahip olmuştur. 13375.sn'de FDM kabının tabanında halen sıvı faza geçmeyen bir miktar RT35'in olduğu görülmektedir. FDM kabının tabanında katı ve/veya peltemsi kıvamdaki RT 35 miktarı yaklaşık %2'dir.

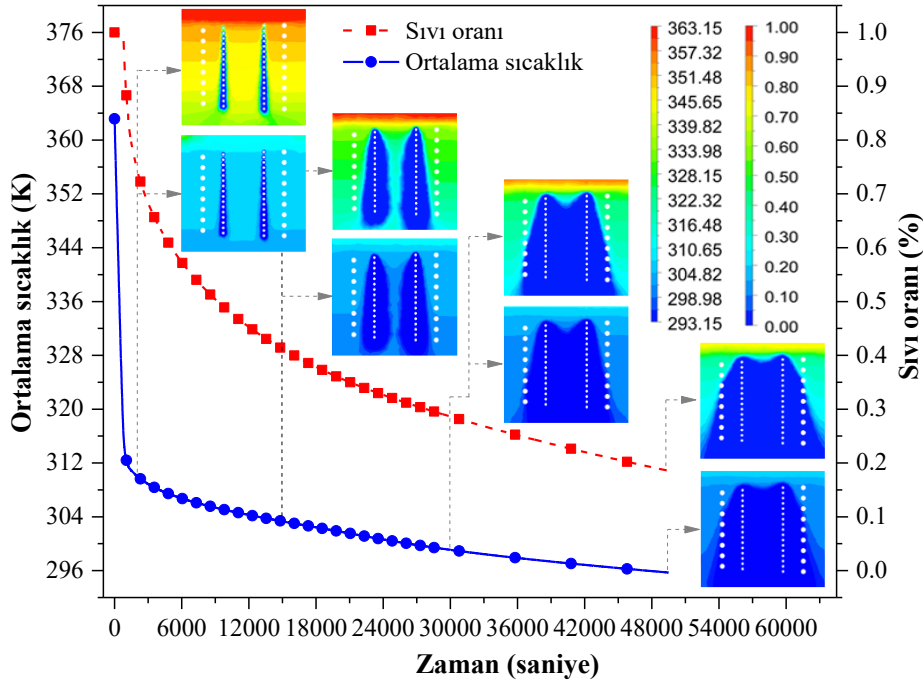
Isı deşarj (katılaşma) sürecinde ortalama sıcaklık ve sıvı oranının zamana bağlı değişimi Şekil 8'de verilmiştir. RT35 ile doldurulmuş FDM kabındaki ortalama sıcaklık, ~1000.sn'de 363 K başlangıç değerinden ~312 K'e azalmıştır. Katılaşma sürecinin başlangıcında (0-1000.sn), soğuk STID duvarı ile daha sıcak RT35 arasındaki yüksek sıcaklık farkı altında ortaya çıkan yüksek ısı akısı, FDM kabındaki RT35'in ortalama sıcaklığını hızla azalmıştır. ~1000.sn'den sonra ortalama sıcaklıktaki azalma hızı önemli ölçüde yavaşladı ve analizlerin sonlandırıldığı 49475.sn'de ancak 294 K'e ulaşılabilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi, ısı deşarj sürecinin başlangıcından ~600.sn'ye kadar sıvı oranının neredeyse azalmadığı bir periyot meydana gelmiştir. Bu süreçte (0-600.sn), katılaşma sadece STID çevresindeki çok küçük bir alanda meydana geldi. FDM kabındaki ortalama sıcaklık RT35'in katılaşma sıcaklığı olan 302 K'e yaklaştıkça RT35'in sıvı oranı azalmış, ortalama sıcaklığın 302 K'e ulaştığı 20000.sn'den sonra FDM kabı içerisindeki katılaşma işlemi oldukça hızlanmıştır. Ancak, analizlerin tamamlandığı 49472.sn'de FDM kabı içerisindeki RT35'in %18'i halen sıvı fazda kalmıştır.



Şekil 6. Erime sürecinde sıcaklık konturlarının zamana karşı değişimi (Variation of temperature contours versus time during the melting process)



Şekil 7. Erime sürecinde sıvı oranı konturlarının zamana karşı değişim (Variation of fluid fraction contours versus time during the melting process)

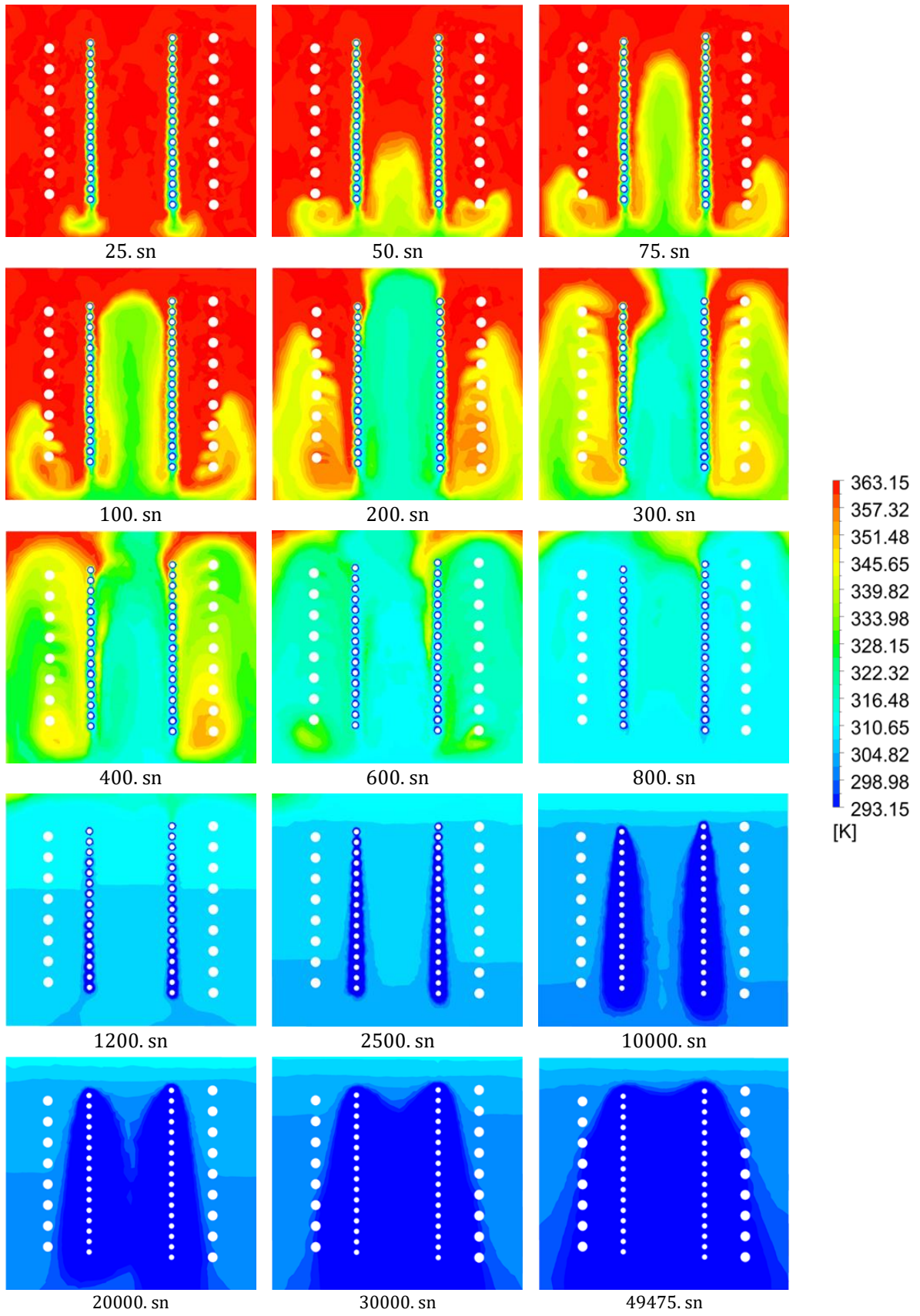


Şekil 8. Katılaşma sürecinde ortalama sıcaklık ve sıvı oranının zamana karşı değişimi (Variation of average temperature and liquid fraction versus time during the solidification process)

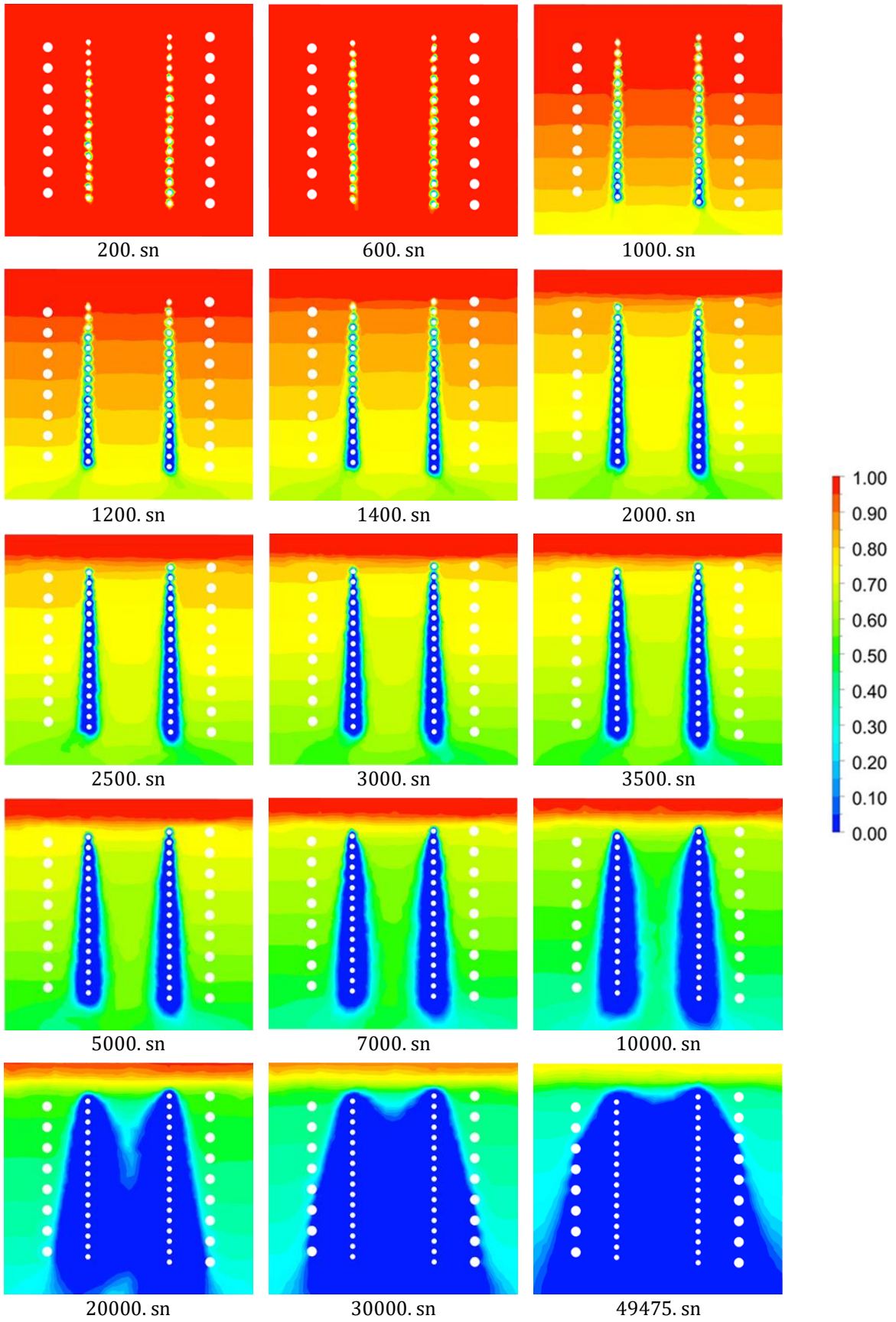
Şekil 9'da RT25'in ısı deşarjı (katılaşma) sürecinde sıcaklık konturlarının zamana karşı değişimi görülmektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, başlangıçta sıcaklık gardiyanları yatay olarak STID'in giriş halkalarından FDM kabının merkezine ve yanlarına, ardından dikey olarak FDM kabının üst bölgelerine dağılmıştır. Sıcaklık gardiyanlarının dağılımı, başlangıçta çok yüksek hızda iken ≈ 1000 .sn'den sonra oldukça yavaşlayarak analizlerin tamamlandığı 49475.sn'ye kadar yavaş bir hızla devam etmiştir. Analizlerin tamamlandığı 49475.sn'de FDM kabının yan duvarlarına yakın bölgeler ve üst kısmında RT35'in bir kısmının halen katılaşmamış halde olduğu görülmektedir.

Şekil 10'da RT35'in ısı deşarjı (katılaşma) sürecinde sıvı oranı konturlarının zamana karşı değişimi görülmektedir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, sıvı oranındaki önemli azalma ilk 600.sn'den sonra başlamıştır. Sıvı oranı konturlarından görüldüğü gibi, RT35'in katılaşması başlangıçta FDM kabının alt kısmından başlayıp yukarı doğru ilerledi. Analizlerin sonunda FDM kabının kenarlarına yakın üst kısmında tamamen katılaşmamış bir miktar RT35 kalmıştır.

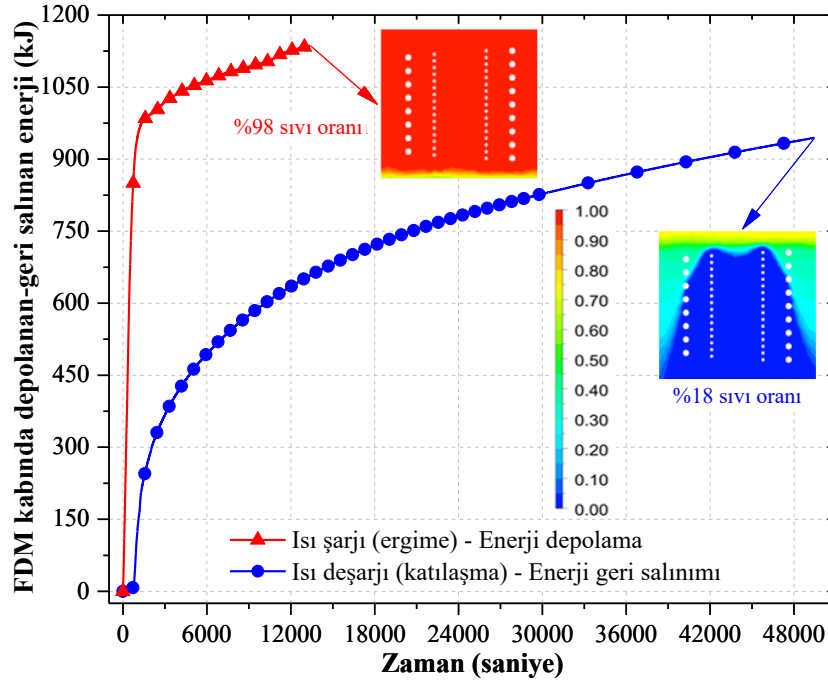
RT35'in ısı şarj ve deşarj süreçlerinde FDM kabında depolanan ve geri salınan enerji miktarının zamana karşı değişimi Şekil 11'de verilmektedir. Isı şarj sürecinde, FDM kabı içerisindeki RT35'in katı-sıvı faz dönüşümü ile açığa çıkan gizli ısı enerjisi, ilk 900 saniye içerisinde oldukça hızlı bir şekilde artarak 920 kJ değerine ulaşmıştır. 900.sn'den sayısal analizlerin tamamlandığı 13375.sn (%98 sıvı oranı) aralığında FDM kabı içerisinde depolanan enerji miktarı 216 kJ ve RT35'in ısı şarjı (erime) sürecinde (13375.sn) depolanan enerji miktarı 1136 kJ olmuştur. Görüldüğü gibi, erime sürecinin başlangıcında iletim baskın ısı transferi modunun baskın olduğu ilk 0-900.sn aralığında FDM kabında depolan toplam enerjinin ≈ 81 'inin toplam erime süresine göre oldukça kısa bir sürede depolandığı görülmektedir. Buna karşın, katı-sıvı faz dönüşümünün baskın olarak ortaya çıkması ile oluşan peltemsi kıvama ulaşan RT35'de, doğal konveksiyonun etkin olduğu 900-13375.sn aralığında toplam enerjinin yalnızca %19'luk kısmı depolanabilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü gibi ısı deşarj (katılaşma) sürecinde, 0-600.sn aralığında ortalama sıcaklığının henüz RT35'in katılaşma sıcaklığı olan 302 K'den çok yüksek olması nedeniyle katılaşma ve dolayısıyla kayda değer miktarda enerji geri salınımının ortaya çıkmadığı görülmektedir. 600-49472.sn aralığında RT35'den ısı salınımının parabolik bir eğri ile artarak sayısal analizlerin sonlandırıldığı 49472.sn'de toplam 945 kJ enerji geri salınabilmiştir. Sayısal analiz sonuçlarından görülebileceği gibi, ısı deşarjı (erime) sürecine göre oldukça uzun bir sürede gerçekleşen ısı deşarjı (katılaşma) sürecinin sonunda (49472.sn) FDM kabındaki RT35'de faz dönüşümü ile depolanan 1136 kJ'lük gizli ısı enerjisinin yaklaşık %83'lük kısmı geri salınabilmiştir. RT35'in erime ve katılaşma süreçlerinde katı-sıvı ve sıvı-katı faz dönüşümü ile açığa çıkan gizli ısı enerjisi miktarının bir karşılaştırması olarak; erime sürecinde %98 sıvı oranının elde edildiği 13375.sn'de FDM kabında depolanan toplam enerji miktarı 1136 kJ iken, aynı sürede (13375.sn) katılaşma sürecinde %18 sıvı oranı ile geri salınan enerji miktarı 658 kJ olmuştur.



Şekil 9. Katılaşma sürecinde sıcaklık konturlarının zamana karşı değişimi (Variation of temperature contours versus time during the solidification process)



Şekil 10. Katılaşma sürecinde sıvı oranı konturlarının zamana karşı değişimi (Variation of fluid fraction contours versus time during the solidification process)



Şekil 11. Erime ve katılaşma süreçlerinde FDM’de depolanan ve geri salınan ısı enerjisinin zamana karşı değişimi (Variation of heat energy stored and released in FDM versus time during melting and solidification processes)

4. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Recommendations)

Tipik bir buji ateşlemeli motorunun egzoz atık ısı geri kazanımı için tasarlanan TED sisteminde RT35 parafin mumu kullanılarak ısı şarjı (erime) ve ısı deşarjı (katılaşma) süreçlerinin sayısal analizlerinde elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- RT35’in ısı şarjı (erime) sürecinin başlangıcında, iletim baskın ısı transferi modu nedeniyle ısı akısı dolayısıyla ısı aktarım hızı yüksek değerler almıştır. Bu nedenle RT35’in ortalama sıcaklığı ve sıvı oranı da bu süreçte hızla artmıştır. Erime sürecinin ilerleyen aşamalarda, katı-sıvı faz dönüşümü esnasında ortaya çıkan peltensı kıvam ile birlikte baskın olan doğal konveksiyonun etkisi ile ısı akısı ve dolayısıyla ısı transfer hızı azaldı. Bu nedenle hem ortalama sıcaklık hem de RT35’in sıvı oranındaki artış eğilimi yavaşlamıştır. Çalışmada sayısal analizler RT35’in erime sürecinin oldukça yavaşladığı, sayısal analizlerin sona erdirildiği 13375.sn’de FDM kabındaki RT35’in ortalama sıcaklığı 333 K’e ve sıvı oranı %98’e ulaşmıştır.
- RT35’in ısı deşarjı (katılaşma) sürecinin başlangıcında soğuk STID duvarı ile daha sıcak RT35 arasındaki yüksek sıcaklık farkı nedeniyle oluşan yüksek ısı akısı FDM kabındaki RT35’in ortalama sıcaklığının hızla düşmesine neden olmuştur. Buna karşın, ortalama sıcaklığın RT35’in katılaşma sıcaklığı olan 302 K’e henüz ulaşmadığı 600.sn’ye kadar katılaşma işlemi STID etrafındaki oldukça küçük bir alanda gerçekleşmiştir. 600.sn’den sonra sıvı oranı parabolik olarak azalmış ve sayısal analizlerin sonunda (49472.sn) FDM kabındaki RT35’in ortalama sıcaklığı 296 K’e ve sıvı oranı %18’e azalmıştır.
- Sonuç olarak; geliştirilen TED sistemi ile RT35’in ısı şarjı (erime) sürecinin sonunda (13375.sn) FDM kabından %98 sıvı oranı ile 1136 kJ enerji depolanabilmiş ve ısı deşarjı (katılaşma) sürecinin sonunda (49472.sn) %18 sıvı oranı ile 945 kJ enerji geri alınabilmiştir. Sayısal analizlerin sonunda, FDM kabında katı-sıvı faz dönüşümü (erime) ile gizli ısı olarak depolanan enerjinin yaklaşık olarak %83’lük kısmı sıvı-katı faz dönüşümü sürecinde (katılaşma) geri alınabilmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Doç. Dr. Habib Gürbüz danışmanlığında yürütülen ve Durukan ATEŞ tarafından hazırlanan "İçten yanmalı bir motorda egzoz atık ısı enerjisinin FDM tarafından depolanması ve yeniden kullanımının HAD analizi" (Durukan, 2019) başlıklı Yüksek Lisans Tezi kapsamında gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır. No conflict of interest was declared by the authors.

Referanslar (References)

- ANSYS FLUENT, 14.5, 2014. User's and theory guide. Canonsburg, Pennsylvania, USA: ANSYS, Inc.
- Ateş, D., 2019. İçten Yanmalı Motorun Egzoz Atık Isı Enerjisinin FDM Yardımıyla Depolanması ve Yeniden Kullanımının HAD Analizi. Süleyman Demirel University, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 253s, Isparta.
- Bouhal, T., Fertahi, S.D., Kousksou, T., Jamil, A. 2018. CFD thermal energy storage enhancement of PCM filling a cylindrical cavity equipped with submerged heating sources. *Journal of Energy Storage*, 18 (2018) 360–370.
- Cui, Y., Xie, J., Liu, J., Wang, J., Chen, S. 2011. A review on phase change material application in building. *Advanced in Mechanical Engineering*, 9(6), 1-15.
- Ebadi, S., Tasnim, S.H., Aliabadi, A.A. and Mahmud, S., 2018. Melting of nano-PCM inside a cylindrical thermal energy storage system: Numerical study with experimental verification, *Energy Conversion and Management*, 166, 241-259.
- Fleischer, A.S., 2015. *Thermal energy storage using phase change materials: fundamentals and applications*. Springer, London, 93p.
- Gürbüz, H, Ateş, D., 2020. A numerical study on processes of charge and discharge of latent heat energy storage system using RT27 paraffin wax for exhaust waste heat recovery in a SI engine, *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4 (4), 314-327.
- Hoseini, S.S., Najafi, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Sidik, N.A.C., Azmi, W H., 2017. The effect of combustion management on diesel engine emissions fueled with biodiesel-diesel blends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 307-331.
- John, M.R.W., Subramanian, L.R.G., 2019. Performance Analysis of Custom-Designed Heat Exchanger and Latent Heat Thermal Energy Storage System for Diesel Engine Exhaust Waste, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 43 (1), 679-S694.
- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Biwole, P.H. 2018. Melting and solidification behaviour of phase change materials with cyclic heating and cooling. *Journal of Energy Storage*, 15, 274-282.
- Karasu, H., Dincer, I., 2018. Analysis and Efficiency Assessment of Direct Conversion of Wind Energy into Heat Using Electromagnetic Induction and Thermal Energy Storage, *Journal of Energy Resources Technology*, 140 (7): 071201
- Kauranen, P., Elonen, T., Wikström, L., Heikkinen, J., Laurikko, J. 2010. Temperature optimisation of a diesel engine using exhaust gas heat recovery and thermal energy storage (diesel engine with thermal energy storage). *Applied Thermal Engineering*, 30(6-7), 631-638.
- Liu, M., Y. Sun, and F. Bruno., 2020. A Review of Numerical Modelling of High-Temperature Phase Change Material Composites for Solar Thermal Energy Storage, *Journal of Energy Storage*, 29, 101378.
- Mahdi, J.M., Lohrasbi, S., Ganji, D.D., Nsofor, E.C. 2018. Accelerated melting of PCM in energy storage systems via novel configuration of fins in the triplex-tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 663-676.
- Mahdi, J.M., Lohrasbi, S., Ganji, D.D., Nsofor, E.C. 2019. Simultaneous energy storage and recovery in the triplex-tube heat exchanger with PCM, copper fins and Al₂O₃ nanoparticles. *Energy conversion and management*, 180, 949-961.
- Mollenhauer, E., Christidis, A., Tsatsaronis, G., 2018. Increasing the Flexibility of Combined Heat and Power Plants with Heat Pumps and Thermal Energy Storage, *Journal of Energy Resources Technology*, 140(2): 020907.
- Moran, M.J., Shapiro, H.N., Boettner, D.D., Bailey, M.B. 2010. *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley&Sons, USA, 825s.
- Oró, E., Jong, E.d., Cabeza, L.F. 2015. Experimental analysis of a car incorporating phase change material. *Journal of Energy Storage*, 7, 131-135.
- Pandiyarajan, V., Pandian, M.C., Malan, E., Velraj, R., Seeniraj, R.V. 2011. Experimental investigation on heat recovery from diesel engine exhaust using finned shell and tube heat exchanger and thermal storage system. *Applied Energy*, 88(1), 77-87.
- Perry, R.H. 1984. *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 6th edition, McGraw-Hill, New York, 2640.
- Rahman, A., Razzak, F., Afroz, R., Mohiuddin, A.K.M., Hawlader, M.N.A. 2015. Power generation from waste of IC engines. *Renewable and sustainable energy reviews*, 51, 382-395.
- Sarı, A., Karaipekli, A., 2007. Thermal conductivity and latent heat thermal energy storage characteristics of paraffin/expanded graphite composite as phase change material. *Applied Thermal Engineering*, 27(8-9), 1271-1277.
- Scupi, A.A. 2016. The use of numerical programs in research and academic institutions. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 145(8), 082002.
- Shahsavari, A., Ali, H.M., Mahani, R., Talebizadehsardari, P., 2020. Numerical study of melting and solidification in a wavy double-pipe latent heat thermal energy storage system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141, 1785-1799.
- Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 13(2), 318-345.
- Sunku Prasad, J., Anandalakshmi, R., Muthukumar, P. 2020. Numerical investigation on conventional and PCM heat sinks under constant and variable heat flux conditions. *Clean Techn Environ Policy* <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01829-8>.
- Tiari, S., Qiu, S. and Mahdavi, M., 2015. Numerical study of finned heat pipe-assisted thermal energy storage system with high temperature phase change material, *Energy Conversion and Management*, 89, 833-842.
- Topalçı, Ü, Gürbüz, H, Akçay, H, Demirtürk, S., 2020. Buji ateşlemeli bir motorda egzoz atık ısı geri kazanımı için termoelektrik jeneratör modelinin geliştirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (2), 582-596.
- Wu, J., Feng, Y., Liu, C., Li, H., 2018. Heat transfer characteristics of an expanded graphite/paraffin PCM-heat exchanger used in an instantaneous heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*, 142, 644-655.
- Yang, X., Li Yang, Lu, Z., Zhang, L., Zhang, Q., Jin, L. 2016. Thermal and Fluid Characteristics of a Latent Heat Thermal Energy Storage Unit, *Publication: Energy Procedia*, 104, 425-430.
- Yang, Y.-T., Wang, Y.-H., 2012. Numerical simulation of three-dimensional transient cooling application on a portable electronic device using phase change Material. *International Journal of Thermal Sciences*, 51, 155-162.
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., Mehling, H., 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied thermal engineering*, 23(3), 251-283.



YERALTI SUYU ARAMALARINDA JEOFİZİK ÖZDİRENÇ UYGULAMALARI

Kenan GELİŞLİ*, Ali Erden BABACAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yeraltı Suyu,
Jeofizik,
Elektrik Özdirenç
Tomografi.

Öz

Yeraltındaki kayaçların gözeneklerinde, çatlaklarında veya boşluklarında biriken yeraltı suları yüksek kalitede ve önemli miktarlarda olabilmektedir. Birçok ülkede, yeraltı suları temel içme suyu olarak, tarımsal sulamada ve endüstride kullanılmaktadır. Yeraltı suyu kaynaklarının haritalanması ve tatlı, tuzlu ve kirli sulu alanların belirlenmesi için jeofiziğin kullanımı, jeofizik cihazların gelişimi ve yazılımların iyileştirilmesine paralel olarak son yıllarda büyük ölçüde artmıştır. Bu çalışmada, yeraltı sularının araştırılması ve yeraltı suyu kirliliğinin belirlenmesi çalışmaları için jeofiziğin kullanımıyla ilgili genel bilgiler verilmektedir. Yeraltı suyu araştırmalarında en fazla bilgi sağlayan dolayısıyla en çok kullanılan yöntem elektrik özdirenç yöntemidir. Çalışmada bu yöntem ve yeraltı suyu aramalarında kullanımı açıklanmaktadır. Ayrıca, iki farklı sahada özdirenç yöntemi ile yeraltı suyu araması ve tuzlu su girişim bölgesinin belirlenmesi ile alakalı uygulamalar sunulmaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi ile gerçekleştirilen uygulamalar ile yeraltı suyu taşıyan tabakanın varlığı ve tuzlu su girişim alanı belirlenmiştir.

GEOPHYSICAL RESISTIVITY APPLICATIONS IN GROUNDWATER EXPLORATION

Keywords

Groundwater,
Geophysics,
Electrical
Resistivity Tomography.

Abstract

Groundwater accumulating in the pores, cracks or cavities of underground rocks can be of high quality and in significant quantities. In many countries, groundwater is used as basic drinking water or in agricultural irrigation and in industry. The use of geophysics for mapping of groundwater resources and determining fresh, salty, and polluted wetlands has grown enormously in recent years in parallel with the development of geophysical devices and the improvement of software. General information is given about the use of geophysics for groundwater exploration and groundwater pollution studies in this study. The method that provides the most information in groundwater research and therefore the most used method is the electrical resistivity method. This study explains this method and its use in groundwater exploration. In addition, field examples related to groundwater exploration and determination of salt-water intrusion area with electrical resistivity method for two different fields are presented. With the applications performed by the electrical resistivity tomography, the presence of the groundwater bearing layer and the salt-water intrusion were determined.

Alıntı / Cite

Gelişli, K., Babacan, A.E., (2021). Yeraltı Suyu Aramalarında Jeofizik Özdirenç Uygulamaları, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 535-543.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Gelişli, 0000-0002-9512-2611
A. E. Babacan, 0000-0002-8216-5225

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.11.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.03.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: gelisli@ktu.edu.tr, +90-462-377-2716

1. Giriş (Introduction)

Dünya üzerindeki sular, okyanuslar, yeraltı suyu, göller ve akarsularda sıvı ve donmuş şekilde bulunan suların oluşmaktadır. Bu suların %97,5'i tuzlu su, %2,5 ise tatlı sudur. Bu tatlı suyun %68,9'u Kuzey Kutbu, Antarktika ve dağ buzullarında buz ve kalıcı kar örtüsü şeklindedir. %30,8'i taze yeraltı suyu şeklinde bulunur (Shiklomanov, 1993). Tatlı suların büyük bir kısmından buzullar ve sürekli karlar halinde buldukları için faydalanılamaz. Yaşamın sürdürülmesini sağlayan tatlı su kaynakları, yüzey suları olup miktar olarak da oldukça azdır. Ancak, her yerde akarsu ve göl bulunamamakta, bulunsa bile kirlilikten etkilenmiş olmakta, dolayısıyla bu durumda yeraltı sularından yararlanma yoluna gidilmektedir. Bu sebeple, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, yeraltı sularının aranıp bulunması, çok eski yıllardan beri insanları ilgilendirmektedir. Yeraltı suyu araştırmaları için jeofizik uygulamalar, genellikle yüzeyin ilk birkaç yüz metrelik derinlikleri ile sınırlıdır. Bu araştırmalarda jeofizik yöntemlerden daha çok elektrik ve elektromanyetik yöntemler kullanılmaktadır. Sığ yeraltı suyu uygulamaları arasında, akiferlerin derinlik ve kalınlıklarının haritalanması, geçirimsiz tabaka veya sınırlayıcı birimlerin haritalanması, kırıklar ve fay zonları gibi tercihli sıvı göç yollarının konumlandırılması ve tuzlu su girişimi ve yeraltı sularına kirlilik bulaşımının haritalanması yer almaktadır. Elektrik yöntemler yapısal, litolojik, hidrojeolojik ve karstik pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Çözüm bulunabilen yapısal problemler; tabaka derinlik, kalınlık ve yayılımları, gömülü vadiler, faylar yanal geçişler, taban kaya derinliği ve özellikleri sayılabilir. Litolojik problemler; tane çapı dağılımı, yanal geçişler, çatlak, kırık zonlar, hidrolojik problemler; gözenekli tabakalar, su tablası derinliği, tatlı-tuzlu su sınırı, karstik problemler ise; karstifikasyonun tabanı, karstik zonlar, yeraltı mağara ve boşluklarıdır (Raju ve Reddy, 1998; Mohamaden ve Ehab, 2017; Kasidi, 2017).

Jeofiziğin kuramsal ve pratik geçmişi için Grant ve West (1965), Dobrin (1976), Telford vd. (1976), Parasnis (1979) ve Kearey ve Brooks (1991) kaynaklarına bakılabilir. Yeraltı suları ve yakın yüzey araştırmaları Milsom (1996) ve Reynolds (1997) tarafından ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Rubin ve Hubbard (2005) 'de hem hidrojeolojik hem de jeofizik bakış açısı ile hidrojeofiziğin temelleri açıklanmaktadır. Vereecken vd. (2006)'da hidrolojik süreçlerin, çözünen maddeler ve kirleticilerin su akışıyla taşınmaları ile ilgili çevre sorunlarının anlaşılması için hidrojeofizik yöntem uygulamaları üzerinde bilgiler vermektedir. Konu ile alakalı en önemli yayınlardan birisi olan Groundwater Geophysics (Yeraltı Suları Jeofiziği) isimli kitapta; jeofizik yöntemler ve gözenekli ve yapısal akiferlerin haritalanması, yeraltı suyu kalitesinin belirlenmesi, hidrolik özelliklerin değerlendirilmesi ve kirlenmiş alanların haritalanması gibi hidrojeolojik uygulamalar için bu yöntemlerin kullanımını açıklanmaktadır (Kirsch, 2009). Pellerin vd. (2009) ise hidrolojik özellikleri, yapıları ve süreçleri keşfetmek ve değerlendirmek için jeofizik metodolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması olarak ortaya çıkan hidrojeofizik alanındaki temel bilgileri içermektedir. Yakın yüzey jeofizik uygulamaları ile ilgili bazı örnek uygulamalar SEG tarafından yayınlanan Geotechnical and Environmental Geophysics (Geoteknik ve Çevre Jeofiziği) özel serisinde bulunabilir (Ward, 1990). Yeraltı suları için jeofizik çalışmaları ile ilgili önemli yayınlar arasında "Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa" (Wright ve Burgess, 1992) ve "Finding Groundwater: A Project Manager's Guide to Techniques and How to Use Them" (Van Dongen ve Woodhouse, 1994) de sayılabilir.

Bu çalışmada, yeraltı suyu araştırmalarında jeofizik yöntemlerin uygulamaları ile ilgili temel bilgiler yer almaktadır. Ayrıca, iki farklı sahada elektrik öz direnç yöntemi ile yapılmış yeraltı suyu arama ve su kirliliği belirleme ile ilgili arazi örnekleri sunulmuştur.

2. Yeraltı Suları (Groundwater)

Yeryüzüne düşen yağışların bir kısmı yüzeyden yer içine sızarak çeşitli derinliklerde kayaların gözenek, boşluk ve çatlaklarında depolanarak yeraltı sularını oluşturmaktadır. Yeraltı suları içme, sulama ve sanayide kullanılan doğal bir su kaynağıdır. Doğada yeraltı sularını farklı depolama ve verme özelliklerine sahip jeolojik yapılar bulunmaktadır. Yeraltı suları, kum, çakıl tanelerinin arasında, kayaların çatlaklarında ve erime boşluklarında bulunabilir. Buna göre yeraltı sularının içinde toplandığı akiferler; alüvyonel akiferler, çatlaklı kaya akiferleri ve karstik akiferler olmak üzere üç grupta toplanır. Ülkemiz hem yeraltı suları hem de yüzey suları bakımından dünyanın şanslı ülkeleri arasında yer alsa da nüfus artışı, hızlı sanayileşme, çarpık kentleşme, iklim değişikliği ve çölleşme gibi faktörler nedeniyle su kaynaklarımızın özellikle de yüzey sularının ciddi bir tehdit altında olduğu bilinmektedir (Akın ve Akın, 2007). Ülkemizin yüzey ve yer altı su kaynakları birlikte düşünüldüğünde su zengini bir ülke olmadığı anlaşılmaktadır. Su zengini ülkelerde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 10.000 metreküpün üstündedir. Ülkemizdeki kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı ise 1.350 metreküp civarındadır. 2030 yılında nüfusun 100 milyona ulaşması tahminine göre, Türkiye'de kişi başına düşen su miktarının 1.000 metreküp civarında olacağı öngörülmektedir (URL 1). Ülkemizdeki yüzey sularındaki kirlenmenin artması ve yetersiz olması nedeniyle yeraltı suyu kullanımı giderek artmaktadır.

3. Jeofizik Uygulamalarla Yeraltı Suyu Araştırmaları (Investigation of Groundwater with Geophysical Methods)

Birçok jeofizik teknik yeraltı suyu araştırmalarında kullanılmaktadır. Sondaj sadece bir noktada bilgi sağlamasına rağmen jeofizik uygulamalar daha geniş bir alanda bilgi sağlarlar. Jeofizik yöntemler geleneksel yöntemlere göre erişebilirlik gibi saha olumsuzluklarından daha az etkilenirler. Jeofizik yöntemler tahribatsız olup geleneksel uygulamalara göre maliyetleri daha düşüktür. Bazı jeofizik yöntemler diğerlerinden su aramalarında daha fazla başarı göstermektedir. Jeofizik daha çok yeraltı suyu kaynaklarının haritalanması ve yeraltı suyu kalitesini belirleme için bir araç olarak kullanılmıştır (Benson vd., 1997; Godio ve Naldi, 2003). Yeraltı suyu kaynaklarının haritalanması için, suyun bulunduğu yeraltı yapısının ortaya konulması gerekir. Genellikle gravite ve manyetik yöntemler, su aramacılığında çoğunlukla bölgesel akiferleri, büyük ölçekli havza özelliklerini haritalamak ve fay zonlarını belirlemek, sismik yöntemler ise, daha çok ana kaya akiferlerindeki kırıklı kayaç sistemlerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Elektrik ve elektromanyetik yöntemler, özellikle yeraltı suyu arama çalışmalarında kullanılmaktadır. Tabakaların gözeneklilik, geçirgenlik, kil içeriği ve su emme gibi özelliklerinin farklı oluşu farklı öz dirençlere sahip olmalarına neden olur. Özellikle boşluk biçimi ve bunları dolduran suyun özellikleri (sıcaklık, tuzluluk, kirlilik vb.) kayacın öz direncinde etkili olur. Bu yüzden elektrik ve elektromanyetik yöntemler, temiz ve kirlenmiş yeraltı sularının doğrudan haritalanması ve izlenmesinde daha başarılı sonuçlar vermektedir. Elektriksel iletkenlik ya da bunun tersi öz direnç Archie'nin çalışmasıyla (1942) gözeneklilik ile ilişkilendirilmiştir. Elektriksel iletkenlik ile kil içeriği veya akışkan tipi arasında da bir ilişki vardır (Waxman ve Smits, 1968). Bir akiferin iletkenlik ve malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler ise Mazac vd. (1985) tarafından verilmiştir.

Van Dongen ve Woodhouse (1994) tarafından yeraltı sularının araştırılmasında jeofizik teknikler için genel uygulama yöntemleri önerilmiştir. Ancak Mac Donald vd. (2001), karmaşık jeolojiye ve hidrojeolojiye sahip olan durumlar için genel yaklaşımların yeterli sonucu vermediğini ve belirli problemler için özel yöntemlerin kullanılmasının gerektirdiğini belirtmişlerdir. Elektriksel yöntemler; kayaçların elektriksel özellikleri, jeolojik formasyonlar ve sıvı içerikleri arasındaki ilişkiler nedeniyle yeraltı suyu araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Flathe, 1955; Zohdy, 1969; Flathe, 1970; Ogilvy, 1970; Zohdy vd., 1974; Fitterman ve Stewart, 1986; McNeill, 1990; Mohamaden vd. 2016; Nazifi vd., 2016; Kasidi, 2017; Riwayat vd., 2018; Aziman vd., 2018; Arsene vd., 2018; Adagunodo vd., 2018; Dolmaz vd., 2020). Bugün jeofizik, yeraltı suyu araştırmasında uygulanabilecek başlıca araçtır ve başarısı, elde edilen sonuçların sahanın diğer jeolojik ve hidrojeolojik verileriyle birlikte dikkatli bir şekilde yorumlanması ve bütünleştirilmesine dayanır.

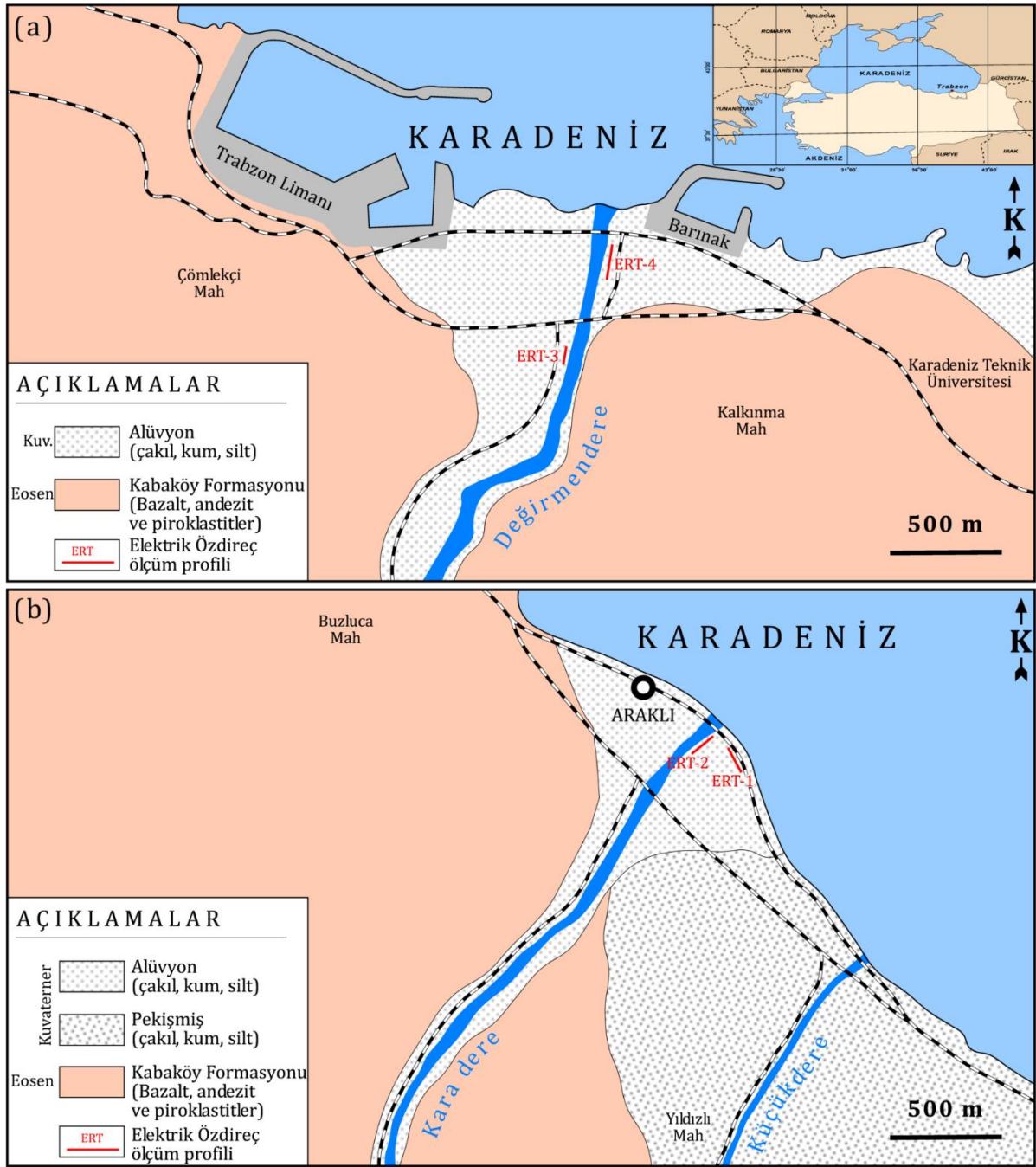
Özdirenç ölçümü için genel saha uygulaması, bir elektrik akımının yere doğrudan aktarılması (doğru akım elektriksel direnç ölçümü) ve yerde oluşan tepkiyi (elektriksel potansiyel düşüşü) belirlenen bir mesafeye göre ölçmeye dayanır. Farklı malzemelerin ve içlerindeki akışkanların elektrik akımını iletme özellikleri farklıdır. Genel olarak, yüksek kil içerikli tabakalar doymuş tabakalar gibi, özellikle tuzlu akışkanların (veya bazen başka kirlenme) mevcut olduğu tabakalar daha yüksek iletkenlik gösterir. Elektriksel yöntemler, elektrik akımını yere vermek için kullanılan elektrotların dizilimine ve kullanılan elektrik akımının türüne dayanan birtakım tiplere ayrılır. Doğru akım öz direnç yönteminde ölçü alımı biçimine göre sondaj ölçüsü, profil ölçüsü ve birleşik sondaj ölçüsü olmak üzere farklı teknikler uygulanmaktadır. Ölçülen veriler sondaj eğrileri, profil eğrileri ve yapma kesitleri şeklinde sunulur. Ayrıca iki boyutlu olarak alınmış profil verileri kullanılarak görünür öz direnç kat haritaları elde edilir. Doğru akım elektrik öz direnç yöntemi düşey elektrik sondajı (DES), tekniğin basitliği ve aletlerin ucuz olması nedenleriyle yeraltı suyu çalışmaları ile en çok kullanılan teknik olmuştur (Beeson ve Jones, 1988; Hazell vd., 1988, 1992; Van Overmeeren, 1989; Carruthers ve Smith, 1992; Wurmstich ve Morgan, 1994; Yang vd., 1994). Su bulduran tabakalar çeşitli DES eğrileri sunarlar. DES eğri karakterlerine bağlı olarak masif olan volkanikler, kireçtaşları, kırıklı, çatlaklı kayaçlar ve içinde su olan kayaçlar belirlenebilmektedir. Yeraltı suyunun içindeki mineral oranının artması öz direnci çok düşürür. Soğuk suda ve killerde öz direnç değerleri 10 Ohm-metre'lere, tuzlu suda 0.1 Ohm-metrelere kadar düşmektedir. Sıcak sularda genellikle mineral oranı yüksek olduğundan DES eğrisindeki düşme daha ani ve keskin olmaktadır. Bol kırıklı bölgelerde ise elde edilen eğrinin çukur kısmında veya yükselen kısmında çatlaklı oluşur. Doğal olarak bu kısımlar sondaj lokasyonu olarak düşünülmelidir. Yeraltı suyu içeren farklı ortamlar için ölçülmüş DES eğrilerine ait örnek çalışmalar Kirsch, 2006'da verilmiştir.

Geleneksel DES uygulamalarının yerini, son yıllarda çok elektrotlu öz direnç sistemi ile yapılan çalışmalar almıştır. Böylece elektriksel öz direnç tomografi (EÖT) ismi ile de bilinen bu 2B'lu yaklaşım, ölçü profili boyunca ve derinlikle de değişen öz direnç dağılımını belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Birleşik sondaj ölçümleri ile hem yatay hem de düşey yöndeki öz direnç değişimleri birlikte araştırılır. Bu teknikle sahada ölçülen verilerden elde edilen öz dirençler görünürdür. Derinlikler ve öz direnci hesaplanan noktalar göreceli olduğu için görünür öz direnç kesitleri andıran kesit (pseudosection) olarak isimlendirilir. Birleşik sondaj ölçümleri için birçok dizilim kullanılmaktadır. Sahada ölçülen akım ve potansiyel verilerinden hesaplanan görünür öz dirençler konturlanarak haritalar oluşturulur. Çizilen bu haritalar üzerinden nitel yorum yapılabilir. Elde edilen kesit hem yanal yönde hem

de düşey yönde yer içinin 2 Boyutlu öz direnç yapısı hakkında bilgi vermektedir. Nicel yorum için ise, görünür öz direnç yapma kesit verilerinin 2B ters çözümünün yapılması gerekir. Elektrik öz direnç tomografisi veya elektrik öz direnç görüntüleme olarak da isimlendirilen bu teknikte, 2B bir modelin ardışık yaklaşımla (iterative inversion) teorik andıran kesiti hesaplanıp saha andıran kesitine çakışması sağlanır. Bu teknik yeraltının göreceli olarak bir fotoğrafını sunduğu için yeraltı suyu aramalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Olayinka ve Barker, 1990; Dahlin ve Owen, 1998; Beeson ve Jones, 1988; Zonge vd., 1985; Bartel, 1986; Buselli vd., 1988, 1992; Hazell vd., 1988; Saksa ve Paananen, 1992; Sorensen ve Sondergaard, 1999; Van Overmeeren, 1981, 1989 ve 1998; Rıwayat vd., 2018). Yeraltı suyu arama çalışmalarında ilgili formasyonlar üzerinde mümkünse mostra ölçüleri alınmalı, arazide varsa mevcut kuru veya su alınan sondaj kuyuları üzerinde bilgi amacıyla ölçüler yapılarak sahanın karakteri anlaşılmalı çalışılmalıdır. Ölçülerin değerlendirilmesiyle yeraltı düşey kesitleri hazırlanmalıdır. Alüvyoner akiferlerde alüvyon kalınlık haritaları hazırlanmalı, alüvyonun bloklu, çakıllı, kumlu killi ve siltli bölümleri ayırtlanmaya çalışılmalıdır. Çatlaklı kaya akiferlerinde kayaçların kırık-çatlak içeren bölümleri, karstik akiferlerde ise karstik erime zonları belirlenmelidir. Killi bölgelere özellikle dikkat edilmelidir. Çünkü düşük öz direnç değeri gösteren killer suyu emer, şişer, fakat kile su sondajı verilmez. Çünkü geçirgenliği çok düşük olduğu için kilden su zor alınır. Herhangi bir jeofiziksel araştırmanın başarısının anahtarı, jeofizik verilerin hem hidrojeolojik hem de jeolojik bilgiler ile doğrulanmasıyla doğrudan ilgilidir.

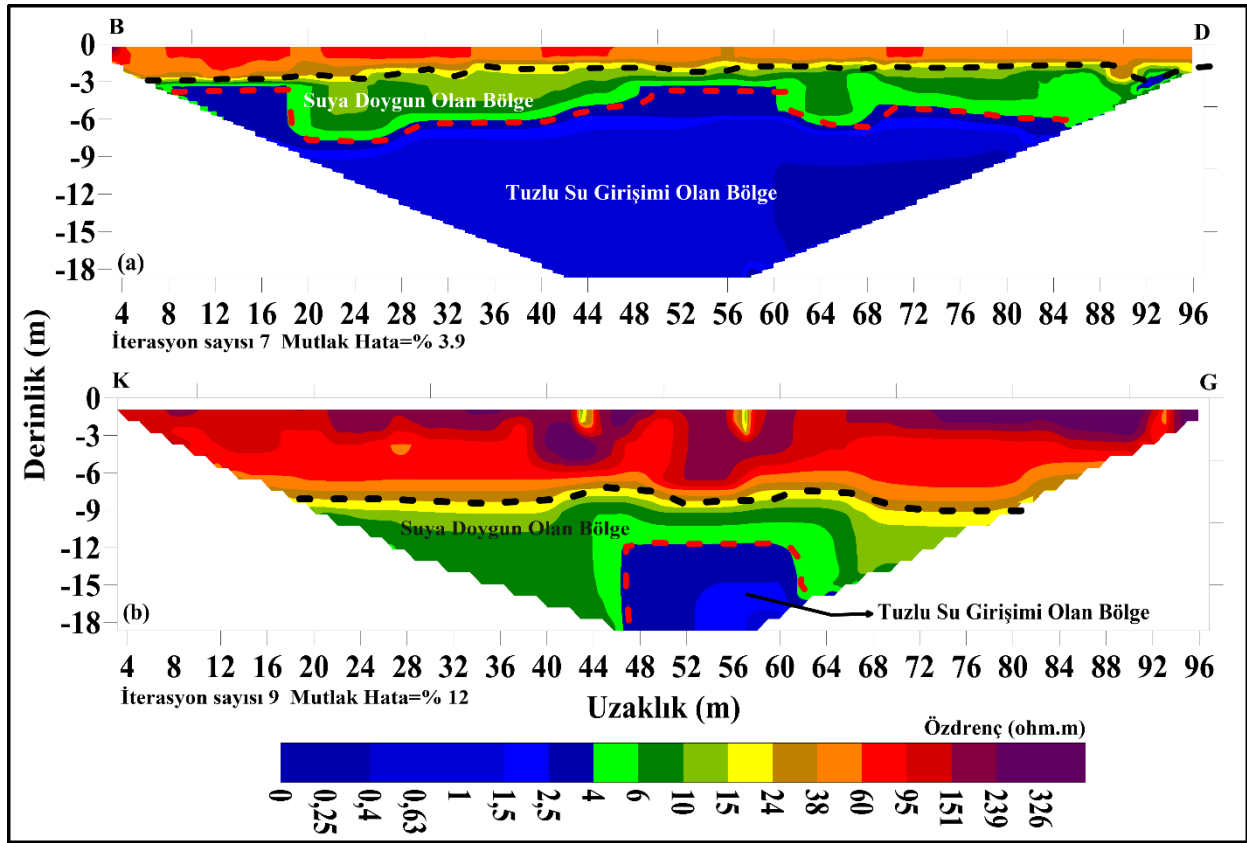
3.1. Elektrik Öz direnç Arazi Uygulama Örnekleri (Electrical Resistivity Field Application Examples)

Bu çalışmada örnek olarak iki farklı sahada (Araklı ve Değirmendere, Trabzon) sulama amacıyla yapılan yeraltı suyu araştırmalarında alınan ölçümlerden dört profile ait EÖT veri sonuçları sunulmuştur. Çalışma alanları Doğu Karadeniz bölgesinde Trabzon il sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1a, b). Çalışma alanlarının jeolojisine yönelik ayrıntılı bilgiler Güven, 1993 ve Güven vd., 1993 tarafından verilmiştir. Her iki sahada da Eosen yaşlı bazalt ve andezitlerden oluşan Kabaköy formasyonu geçirimsiz kaya özelliğindedir (Şekil 1a, b). Ölçü alınan sahaların hidrojeolosine yönelik ayrıntılı bilgiler Dilek, 1979 ve Aydoğan, 1987' de verilmiştir. Her iki sahada yer alan kalınlığı 25-40 metre arasında değişen alüvyonlar serbest akifer niteliğindedir (Gültekin vd., 2005). Büyük oranda çakıl, az kum ve çok az siltten oluşan akiferler yüksek porozite ve permabiliteye sahiptir. Araklı ilçesindeki ölçümler sahil kesiminde denize oldukça yakın bir bölgede alınmıştır. Bu alan genel olarak Karadere ve Küçükdere nehirlerinin getirdiği Kuvarterner yaşlı alüvyonlardan oluşmakta olup, su içeren zonlar bu birim içerisinde kalmaktadır (Şekil 1b). Diğer uygulama örneğimiz Trabzon ilinin doğusunda yer alan Değirmendere nehrinin denize döküldüğü kısma yakın bir alana aittir. Bu alanda da benzer olarak akifer tabakası Değirmendere'nin getirdiği Kuvarterner yaşlı alüvyonlarda yer almaktadır (Şekil1a).

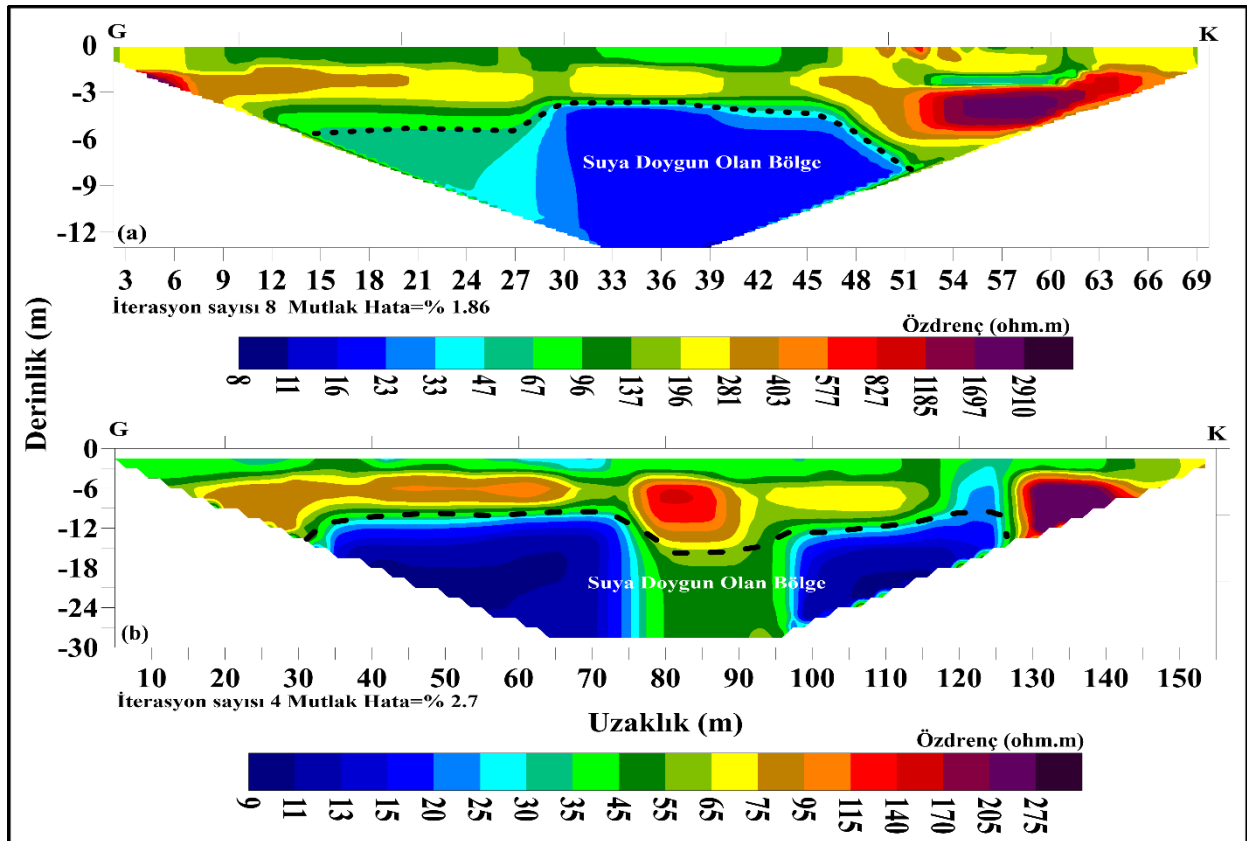


Şekil 1. Çalışma alanlarının jeoloji haritaları (a) Değirmendere, (b) Araklı (Güven, 1993'ten değiştirilerek) (Geological maps of studied areas (a) Değirmendere, (b) Araklı)

2B EÖT ölçümlerinde, çok kablolu bir sisteme bağlı birçok potansiyel ve akım elektrotunun bir kombinasyonunu kullanır. Bu sistem, bir etüt hattı boyunca belirli aralıklarla yere yerleştirilir ve ölçümler otomatik olarak yapılmaktadır. Ölçümler 41 elektrot kullanılarak ABEM Terrameter LS cihazı ile alınmış ve dizilim olarak Wenner-Schlumberger dizilimi seçilmiştir. Bu dizilim türü hem yanal hem düşey yöndeki yapıların özdirenci değişimine karşı daha hassastır. Aynı zamanda karmaşık jeolojik koşullarda Wenner ve Dipol-Dipol dizilimlerinden daha fazla umut vericidir (Loke, 2000). Araklı sahasında elektrot aralıkları 2.5 m iken, Değirmendere'de birinci profile 1.8 m ikinci profile ise 4 m olarak belirlenmiştir. Elde edilen görünür özdirenci kesitleri Res2Dinv ters çözüm programı kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil 2, 3). İterasyon sayıları ve RMS hata oranları şekiller üzerinde verilmiştir. Res2Dinv programı, kullanıcı tarafından tanımlanan çok az giriş parametresiyle, olabildiğince otomatik ve doğru sonuçlar verecek şekilde tasarlanmış 2B bir ters çözüm programıdır (Loke, 2000). Program, temel olarak en küçük kareler yöntemini ters çözüm tekniği olarak kullanır (DeGroot-Hedlin ve Constable, 1990).



Şekil 2. Araklı ilçesi sahil kenarında iki kısımda alınan 2B EÖT kesitleri (a) sahile paralel alınan özdrenç kesiti (EÖT-1), (b) sahile dik dere yatağının hemen yanında alınan özdrenç kesiti (EÖT-2) (2D ERT sections taken in two parts of the coast of Araklı district (a) resistivity section taken parallel to the coast (ERT-1), (b) resistivity section taken right next to the stream bed perpendicular to the coast (ERT-2))



Şekil 3. Trabzon Değirmendere mevkiinde iki kısımda alınan 2B EÖT kesitleri (a) 3. profile ait EÖT kesiti, (b) 4. profili ait EÖT kesiti (2D ERT sections taken in two parts at Trabzon Değirmendere location, (a) ERT section of profile 3, (b) ERT section of profile 4)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada jeofizik yöntemler ile su aramaları konusunda temel bilgilerle birlikte bu uygulamalarda dikkat edilecek hususlarla ilgili olarak bazı bilgiler verilmiş ve elektrik özdirenç yöntemiyle yeraltı suyu araması ve tuzlu su girişiminin varlığının araştırılması ile alakalı uygulamalar sunulmuştur. Çalışmada, örnek olarak Trabzon ili Araklı ilçesinin sahil kesiminde ve Trabzon merkez Değirmendere mevkiinde olmak üzere iki farklı alanda, alüvyon kalınlığı, yeraltı su seviyesinin derinliği ve tuzlu su girişiminin belirlenmesi amacıyla alınan ölçülerden dört profile ait 2B EÖT ölçülerinin sonuçları sunulmuştur. İnceleme alanlarının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önünde bulundurularak elde edilen tomografi kesitleri yorumlanmıştır.

Araklı sahasındaki Jeoelektrik verilerin yorumlanması sonucuna göre, her iki profile yaklaşık 19 m derinlikten bilgi alınabilmesine rağmen ana kaya derinliği belirlenmemiştir. EÖT kesitleri çalışma alanının oldukça kalın bir dolgu malzemesi olduğunu göstermektedir. Çevrede yapılan gözlemler ve daha önceden yapılmış sondajlar ile de bu bilgi teyit edilmiştir. Kuru birimin kalınlığı yaklaşık 3 m civarında ve özdirenç değerleri 40 Ohm.m nin üzerindedir. Bu birimin altında ise kalınlığı 3 ila yaklaşık 7.5 m arasında, özdirenç değerleri ise 5-40 Ohm.m arasında değişen tatlı suya doymuş birim yer almaktadır. En altta ise derinliği 19 metrelere kadar inen, özdirenç 4 Ohm.m den daha düşük ve alanın büyük bir kısmına yayılmış tuzlu su girişi olan bölgenin varlığı gözlenmiştir. Özellikle denize yakın alanlarda yapılan EÖT ölçümlerinde özdirenç değerlerinin 1 Ohm.m lerin altına düşmesi, sahanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri de dikkate alındığında tuzlu su girişiminin olduğunu göstermektedir. İkinci profile derinliği yüzeyden 9 metrelere kadar inen, özdirenç 40 Ohm.m'nin üstünde olan kuru birim, onun altında ise derinliği 19 metrelere kadar inen, özdirenç 5-40 Ohm.m arasında değişen tatlı suya doymuş birimin varlığı görülmektedir. Ayrıca bu kesitte yüzeyde, profil başlangıcından 47-62 metreler arasında, derinliği 12 ile 19 metreler arasında değişen tuzlu su girişiminin varlığı gözlenmektedir. 2 boyutlu EÖT kesitlerinden, birinci profil alanında tuzlu su girişiminin profil boyunca varlığı gözlenirken, diğer profile kısmen denize daha uzak olması ve nehre daha yakın olması nedenleri ile tuzlu su girişiminin daha dar bir alanda varlığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bu alanda açılacak kuyulardan elde edilen yeraltı suyunun tuzluluk nedeniyle sulamada kullanımının mümkün olmayacağını göstermektedir.

Değirmendere mevkiinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu, birinci profile yaklaşık 13 m, ikinci profile ise yaklaşık 30 m derinliklerinden bilgi alınabilmiştir. Her iki kesitte de ana kaya varlığı gözükmemekle beraber özellikle ikinci profile elde edilen EÖT kesitine göre çalışılan sahada alüvyon kalınlığının oldukça fazla olduğu anlaşılmaktadır. Her iki kesitte de yer yer görülen oldukça yüksek özdirenç değerleri yüzeyde nispeten kuru birimlerin varlığına işaret etmektedir. Birinci kesitte alüvyonun tatlı suya doymuş kesimi 5-6 m derinliklerden başlayıp 13 metrelere kadar devam etmektedir. Bu birimin özdirenç 8-50 Ohm.m ler arasında değişmektedir. İkinci profile ise tatlı suya doymuş bölge 9-10 metre derinliklerinden başlayıp 30 m derinliğine kadar inmektedir. Bu birimin özdirençleri ise 9-55 Ohm.m ler arasındadır. Bu alandaki sonuçlara göre açılacak kuyulardan elde edilecek olan yeraltı suyunu sulama amaçlı kullanmak mümkündür. Bu bölgede önceleri var olan belediyeye ait yüksek debili içme suyu kuyuları, kuyuların uzun süre kullanımından kaynaklanan bozulmalar nedeniyle daha sonraları kapatılmıştır.

Sonuç olarak, elektrik özdirenç çalışması ile yapılan yeraltı suyu araştırması, yeraltı suyunu taşıyan akiferin yeri ve kalınlığı, tatlı su-tuzlu su girişim alanı başarıyla tespit edilmiştir. Bu uygulama kısa zamanda, düşük bir maliyetle oldukça kapsamlı veri sağlamaktadır. Ancak uygulamanın başarısı, veri toplama, işleme ve yorumlamada birçok değişkene bağlı olduğu için, bu konuda bilgili ve deneyimli kişiler tarafından gerçekleştirilmesine bağlıdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar arazi verilerinin toplanmasında yardımcı olan KTÜ Jeofizik mühendisliği bölümü öğrencilerine teşekkür ederler. Yazarlar ayrıca makaleyi geliştirmedeki yararlı ve yapıcı yorumları için Editöre ve hakemlere de teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

Adagunodo, T. A., Akinloye, M. K., Sunmonu, L. A., Aizebeokhai, A. P., Oyeyemi, K. D., Abodunrin, F. O. 2018. Groundwater Exploration in Aaba Residential Area of Akure, Nigeria, *Front. Earth Sci.*, 06 <https://doi.org/10.3389/feart.00066>.

- Akın, M., Akın, G. 2007. Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyelii su havzaları ve su kirliliği, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47, 105-118.
- Archie, G. E. 1942. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics, Transactions of the AIME, 146, 54-62.
- Arsene, M., Elvis, B. W. W., Daniel, G., Théophile, N-M., Kelian, K., Daniel, N.J. 2018. Hydrogeophysical Investigation for Groundwater Resources from Electrical Resistivity Tomography and Self-Potential Data in the Méiganga Area, Adamawa, Cameroon, International Journal of Geophysics, Hindawi, Article ID 2697585, 14 pages <https://doi.org/10.1155/2018/2697585>.
- Aydoğan, B. 1987. Değirmendere (Hacımehmet-Çağlayan) Vadisi hidrojeolojik incelemesi, KTÜ, Jeoloji Müh. Böl. Bitirme Çalışması (yayınlanmamış).
- Aziman, M., Hazreek, Z. A. M., Azhar, A. T. S., Fahmy, K. A., Faizal, T. B. M., Sabariah, M., Ambak, K., Ismail, M. A. M. 2018. Electrical Resistivity Technique for Groundwater Exploration in Quaternary Deposit, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 995, 012110.
- Bartel, L. C. 1986. Electrical and electromagnetic model studies as applied to groundwater problems, Annual Meeting Abstracts, Society of Exploration Geophysicists, Session: ENG2.3.
- Beeson, S., Jones, C. R. C. 1988. The Combined EMT/VES Geophysical Method for Siting Boreholes, Ground Water, 26 (1), 54-63.
- Benson, A.K., Payne, K.L., Stubben, M.A. 1997. Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods-a case study, Geophysics, 62, 80-86.
- Buselli, G., Barber, C. and Zerilli, A. 1988. “The mapping of groundwater contamination with TEM and DC methods”, ASEG 13th Geophysical Conference, Australian Society of Exploration Geophysicists, 19, 240-243.
- Buselli, G., Davis, G. B., Barber, C., Height, M. I., Howard, S. H. D. 1992. The application of electromagnetic and electrical methods to groundwater problems in urban environments, Exploration Geophysics, 23 (4), 543-555.
- Carruthers, R. M., Smith, I. F. 1992. The Use of Ground Electrical Methods for Siting Water Supply Boreholes in Shallow Crystalline Basement Terrains. In: E. P. Wight and W. G. Burgess, (eds), The Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa, Geological Society Special Publication, 66, 203-220.
- Dahlin, T., Owen, R. 1998. Geophysical investigations of alluvial aquifers in Zimbabwe. Proceedings of the 4th EEGS Meeting, Barcelona, 151-154.
- DeGroot-Hedlin, C., Constable, S. 1990. Occam’s inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data, Geophysics, 55, 1613-1624.
- Dilek, R. 1979. Trabzon- Hopa kıyı şeridinin yeraltı suyu olanakları, KTÜ Yayın No: 99, Trabzon.
- Dobrin, M. B. 1976. Introduction to Geophysical Prospecting, New York, McGraw-Hill, p. 630.
- Dolmaz, M.N., Şahin, B., Tütünsatar, H.E., Balkaya, Ç. 2020. Afyon-Sandıklı Jeotermal Alanında Düşey Elektrik Sondaj (DES) Araştırması ve Kuyuların Fiziksel Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 439-450.
- Fitterman, D. V., Stewart, M. T. 1986. Transient Electromagnetic Sounding for Groundwater, Geophysics, 51 (4), 995-1005.
- Flathe, H. 1955. Possibilities and Limitations in Applying Geoelectrical Methods to Hydrogeological Problems in the Coastal Areas of North west Germany, Geophysical Prospecting, 3, 95-110.
- Flathe, H. 1970. Interpretation of Geoelectrical Resistivity Measurements for Solving Hydrogeological Problems. In Morely, E. W. (ed.), Mining and Groundwater Geophysics, Geological Survey of Canada Economic Geological Report, 26, 580-597.
- Godio, A., Naldi, M. 2003. Two dimensional electrical imaging for detection of hydrocarbon contaminants, Near Surface Geophysics, 1,131-137.
- Grant, F.S., West, G.F. 1965. Interpretation Theory in Applied Geophysics, McGraw-Hill, New York.
- Gültekin, F., Dilek, R., Ersoy, A.F., Ersoy, H. 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29(1).
- Güven, İ.H. 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara, Türkiye.
- Güven, İ.H., Nalbantoğlu, A.K., Takaoğlu, S. 1993. MTA Genel Müdürlüğü, 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeolojisi haritaları serisi, Trabzon F43 ve G43 paftaları, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Hazell, J. R. T., Cratchley, C. R., Jones, C. R. C. 1992. The hydrogeology of Crystalline Aquifers in Northern Nigeria and Geophysical Techniques used in their Exploration. In: E. P. Wight and W. G. Burgess, (eds), The Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa, Geological Society Special Publication, 66, 155-182.
- Hazell, J. R. T., Cratchley, C. R., Preston, A. M. 1988. The Location of Aquifers in Crystalline Rocks and Alluvium in Northern Nigeria using Combined Electromagnetic and Resistivity Techniques, Quarterly Journal of Engineering Geology, 21, 159-175.
- Kasidi, S. 2017. Groundwater Exploration Using Electrical Resistivity Method A Case Study In Federal Capital Territory (FCT) Abuja, Nigeria, International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), 4 (10), 1-8.
- Kearney, P., Brooks, M. 1991. An Introduction to Geophysical Exploration, 2nd Editions, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 254.
- Kirsch, R. 2009. Groundwater Geophysics, A Tool for Hydrogeology, Springer.
- Loke, M. H. 2000. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, a practical guide to 2-D and 3-D surveys. geoelectrical.com.
- Mac Donald, A. M., Calow, R. C., Nicol, A., Hope, B., Robins, N. S. 2001. Ethiopia: water security and drought, British Geological Survey, Technical Report WC/01/02.
- Mazac, O., Kelly, W. E., Landa, I. 1985. A hydrogeophysical model for relations between electrical and hydraulic properties of aquifers, J Hydrol., 79, 1-19.
- McNeill, J. D. 1990. Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies. In: Ward, S. H. (Ed.). Geotechnical and Environmental Geophysics, vol 1: Review and Tutorial, Society of Exploration Geophysicists Investigations, 5, 107-112.
- Milsom, J. 1996. Field Geophysics, Geological Society of London handbook. Open University Press and Halsted Press. Wiley and Sons, Chichester.

- Mohamaden, M. I. I., Ehab, D. 2017. Application of electrical resistivity for groundwater exploration in Wadi Rahaba, Shalateen, Egypt, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics* Volume 6 (1), 201-209.
- Mohamaden, M. I. I., Hamouda, A. Z., Mansour, S. 2016. Application of electrical resistivity method for groundwater exploration at the Moghra area, Western Desert, Egypt, *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, m42 (3), 261-268.
- Nazifi, H. M., Gülen, L., Karavul, C. 2016. Groundwater investigations in Ghana using electromagnetic and electrical resistivity methods, *SAÜ Fen Bil Der.*, 20(2), 133-139.
- Ogilvy, A. A. 1970. Geophysical Prospecting for Groundwater in the Soviet Union, in Morely E. W. (ed.), *Mining and Groundwater Geophysics*, Geological Survey of Canada Economic Geological Report, no. 26, 536-543.
- Olayinka, A., Barker, R. 1990. Borehole Siting in Crystalline Basement Areas of Nigeria with a Microprocessor Controlled Resistivity Traversing System, *Groundwater*, 28, 178-183.
- Parasnis, D.S. 1979. *Principles of Applied Geophysics*, Chapman and Hall. 275.
- Pellerin, L., Holliger, K., Slater, L., Yaramanci, U. 2009. *Hydrogeophysics—Methods and Processes*, EAGE.
- Raju, N., Reddy, T.V.K. 1998. Fracture pattern and electrical resistivity studies for groundwater exploration, *Environmental Geology* 34, 175-182.
- Reynolds, J. 1997. *Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons.
- Riwayat, A. I., Nazri, M. A. A., Abidin, M. H. Z. 2018. Application of Electrical Resistivity Method (ERM) in Groundwater Exploration, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 995 012094.
- Rubin, Y., Hubbard, S.S. (eds). (2005). "Hydrogeophysics", Springer, The Netherlands.
- Saksa, P., Paananen, M. 1992. Case study: Mapping of groundwater conditions at Olkiluoto site with electrical and electromagnetic soundings, 61st Mtg. Eur. Assoc. Expl Geophys., Extended Abstracts, European Association of Geophysical Exploration, 694-695.
- Shiklomanov, L.A. 1993. World Freshwater Resources. In: Gleick, P.H. (Ed), *Water in Crisis: A Guide to World's Freshwater Resources*, Oxford University Press, New York, 13-24.
- Sorensen, K. I., Sondergaard, V. H. 1999. Large-Scale Geophysical Mapping and Its Application for Ground Water Protection in Urban Areas, In: *Proceedings for SAGEEP*, Oakland, CA, 481-486.
- Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheriff, R. E., Keys, D. A. 1976. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.
- URL-1, https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-su-politikasi.tr.mfa (Erişim Tarihi:30.10.2020).
- Van Dongen, P., Woodhouse, M. 1994. *Finding Groundwater: A Project Manager's Guide to Techniques and How to Use Them*, World Bank Water and Sanitation Program.
- Van Overmeeren, R. A. 1981. A combination of electrical resistivity, seismic refraction, and gravity measurements for groundwater exploration in Sudan, *Geophysics*, 46 (9), 1304-1313.
- Van Overmeeren, R. A. 1989. Aquifer boundaries explored by geoelectrical measurements in the coastal plain of Yemen: A case of equivalence, *Geophysics*, 54 (01), 38-48.
- Van Overmeeren, R. A. 1998. Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology, *Journal of Applied Geophysics*, 40(1-3), 1-18.
- Vereecken, H., Binley, A., Cassiani, G., Revil A., Titov K. 2006. *Applied Hydrogeophysics*. In: Vereecken H., Binley A., Cassiani G., Revil A., Titov K. (eds) *Applied Hydrogeophysics*, NATO Science Series, vol 71. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4912-5_1.
- Ward, S.H. (ed). 1990. *Geotechnical and Environmental Geophysics: Volume I-III – SEG investigations in Geophysics*, Tulsa, Okla, 1050.
- Waxman, M. H., Smits, L. J. M. 1968. Electrical Conductivities in Oil-Bearing Shaly Sands, *Society of Petroleum Engineers Journal*, 8, 107-122.
- Wright, E. P., Burgess, W. G. 1992. *The Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa*, Geological Society Special Publication, No. 66. London.
- Wurmstich, B., Morgan, F. D. 1994. Similarities in modeling groundwater flow and DC resistivity, *Annual Meeting Abstracts, Society of Exploration Geophysicists*, 578-579.
- Yang, C., Tong, L., Jeng, L. 1994. Locating groundwater at selected sites by geoelectric methods, *Annual Meeting Abstracts, Society of Exploration Geophysicists*, 652-654.
- Zohdy, A.A. 1969. A new method for differential resistivity sounding. *Geophysics*, 34 (6), 924-943.
- Zohdy, A.A., Eaton, C.P., Mabey, D.R. 1974. *Application of Surface Geophysical to Ground Water Investigation Technology*. Water Resources Investigation, Washington, U.S Geological survey.
- Zonge, K. L., Figgins, S. J., Hughes, L. J. 1985. Use of electrical geophysics to detect sources of groundwater contamination. Presented at the 55th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys. 147-149.



TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİNDE MİNİMUM KARBON EMİSYONU YAKLAŞIMI: BİR ÜNİVERSİTENİN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNETİMİ İÇİN UYGULAMA

Fatma Talya SUDABAŞ^{1*}, Selin Soner KARA²

¹ İstanbul Bilgi Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Lojistik Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Yeşil Tedarik Zinciri,
Tersine Lojistik,
Ağ Tasarımı,
P-Medya Problemi,
Çok Amaçlı Optimizasyon.*

Öz

Sosyal sorumluluklar, çevresel ve yasal sebepler ve ekonomik getiriler tedarik zincirinde tersine döngü kavramını yaratmıştır. Tersine lojistik; lojistik süreçler boyunca ürünlerin varış noktasından çıkış noktasına doğru gerçekleşen geri dönüşlerdir. Bu geri dönüş sürecinin tıpkı geleneksel lojistik yönetimi gibi verimli ve etkili biçimde planlanması, yönetilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Yeşil lojistik, yeşil tedarik zinciri, kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik kavramları, amaçları ve uygulama alanları açısından oldukça benzerlikler göstermektedir. Bu çalışma, kentsel ve bölgesel planlamada en sık kullanılan lokasyon modellerinden biri olan p-medyan problemine odaklanmaktadır. Çalışmada bir üniversitenin kâğıt ve plastik gibi geri dönüştürülebilir atıklarını zincire geri kazandırmak için kurmak istediği geri dönüşüm merkezlerinin konumlarını belirleyen ve aynı zamanda kampüsler ile geri dönüşüm merkezleri arasındaki nakliye oluşun karbon dioksit salınımını en aza indirgeyen iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışmada klasik P-medyan problemine karbon salınımı minimizasyonu eklenip literatüre yeni bir çalışma olarak sunulmak istenmiştir.

FACILITY LOCATION PROBLEM WITH CARBON EMISSION CONSIDERATION: AN APPLICATION FOR A UNIVERSITY'S RECYCLING STRATEGY

Keywords

*Green Supply Chain,
Reverse Logistics,
Network Design,
P-Median Problem,
Multi-Objective Optimization.*

Abstract

Social responsibilities, legal enforcements, and economic returns have created the concept of a backward cycle to the supply chain. Reverse logistics can be explained as the returns from the point of departure to the origin of the products during the logistic processes. This return process needs to be planned, managed and controlled efficiently and effectively, just like traditional logistics. The concepts of green logistics, green supply chain, closed-loop supply chain and reverse logistics show similarities for their purposes. In this study, a bi-objective mixed integer non-linear programming problem (MINLP) developed that identifies the locations of recycling centers that a university requires to establish to recycle its recyclable waste such as paper, and plastic after use, to the chain and also minimizes carbon dioxide emissions generated during transportation between campuses and recycling centers. This study aims to present a new approach to the literature by adding carbon release consideration to the classical P-median problem.

Alıntı / Cite

Sudabaş, F. T., Kara, S. S., (2021). Tesis Yeri Seçimi Probleminde Minimum Karbon Emisyonu Yaklaşımı: Bir Üniversitenin Geri Dönüşüm Yönetimi İçin Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 544-553.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F. T. Sudabaş, 0000-0001-6384-3177
S. S. Kara, 0000-0002-0894-0772

Makale Süreci / Article Process

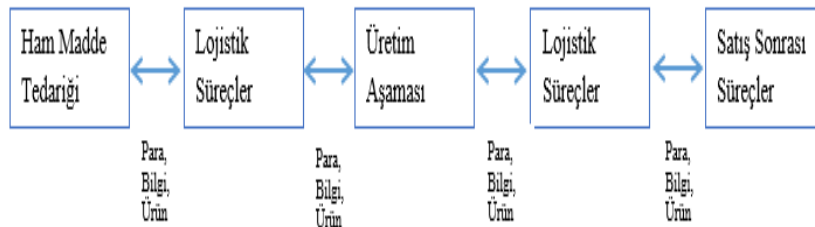
Başvuru Tarihi / Submission Date	09.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	09.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: talya.temizceri@bilgi.edu.tr, +90-212-311-5066

1. Giriş (Introduction)

Organizasyonların üretim kapasitelerini arttırma, piyasaya karşı duyarlılığı geliştirme, tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan ilişkileri iyileştirme amacıyla çalışmalarını yürütmesi tedarik zinciri yönetimi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan zinciri daha az üretim, taşıma, depolama maliyeti ile az sayıda stokla ve tam müşteri memnuniyeti ile etkin ve verimli bir şekilde ele alabilmektir. Buradaki yönetim tüm hizmet ve ürün üreticileri için geçerlidir.

Tedarikçi, üretici, taşıyıcı (nakliyecisi), dağıtım merkezleri ve perakendeciler gibi aracı kuruluşlar ve tüketici arasında oluşum gösteren tüm süreç ve operasyonlar tedarik zinciri ağıdır. Bu ağ, zinciri oluşturan tüm elementlerin arasındaki ilişkileri içermektedir. İşletmelerin maksimum düzeyde etkinliğe ve verimliliğe sahip olmaları, bu ilişkiler bütünü doğru ve geçerli bir modelle kurulması ve uygulanabilirliği önemli rol oynamaktadır. Zincirin tüm halkaları arasında para, bilgi ve ürün akışı gözlemlenir. Genel olarak tedarik zinciri Şekil 1'deki gibi tasvir edilebilir.



Şekil 1. Tedarik Zinciri Yapısı (Structure of a Supply Chain)

Üretim ve taşıma esnasında çevreye salınan zararlı gazlar ve çeşitli kimyasallar ile operasyonlar sonucu oluşan atıklar çevreye büyük ölçüde zarar vermiş ve bu nedenle özellikle son 20 yılda doğaya duyarlılık ve çevre bilinci yükselmiştir. İşletmelerin çevreye duyarlı işlemler geliştirmeleri rekabet ortamını farklı bir boyuta taşımıştır. Sadece rakip firmalar arasından sıyrılmaya sebebiyle değil aynı zamanda devletin bazı yaptırımları sonucunda da yeşil politikalar ve uygulamalar geliştirilmiştir. Devlet teşviki ve yaptırımları ve/veya çevre bilinci ne kadar önemli olsa da özellikle ülkemizdeki çoğu hizmet ve ürün sağlayıcı firma çevreye duyarlı uygulamaların maliyet artırıcı bir etken olduğu düşüncesindedir. Bu düşünce veya bilgi eksikliği çevreye duyarlı tedarik zinciri oluşumunda eksikliğe neden olmaktadır.

Sosyal sorumluluklar, çevresel ve yasal sebepler ile ekonomik getiriler tedarik zincirine tersine döngü kavramını yaratmıştır. Geri kazanım amacı ile oluşan tersine akış tersine lojistik olgusunu doğurmuş ve bu olguya uygun ağ tasarımı modelleri geliştirilmiştir. Kısaca tersine lojistik; lojistik süreçler boyunca ürünlerin çıkış noktasından varış noktasına doğru gerçekleşen geri dönüşlerdir. Bu geri dönüş sürecinin tıpkı ileri yönlü (geleneksel) lojistik gibi etkin bir biçimde planlanması, yönetilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Aslında hem tersine hem de yeşil lojistiğin eşit olarak uygulanabileceği birçok faaliyet alanı bulunmaktadır. Paketlemelerde yeniden kullanılabilir kapların kullanılması hem ters hem de yeşil lojistik olarak sınıflandırılabilir. Ancak ambalaj kullanımının azaltılması gibi bir faaliyet yeşil lojistiğe dahil edilebilirken, tersine lojistiğe dahil edilemez. Tersine ve yeşil lojistiğin ortak alanları geri dönüşüm, yeniden üretim, tekrar kullanılabilir materyaller olarak örneklendirilebilir. (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001) Yeşil lojistik, yeşil tedarik zinciri, kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik kavramları amaçları açısından oldukça benzerlikler göstermektedir.

Bu çalışmada, bir üniversitenin kâğıt ve plastik gibi geri dönüştürülebilir atıklarını kullanıma geri kazandırmak için kurmak istediği geri dönüşüm merkezlerinin konumlarını belirleyen ve aynı zamanda kampüsler ve geri dönüşüm merkezleri arasındaki nakliyede oluşan karbon dioksit salınımını en aza indirgeyen iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Basit olarak kurgulanan bu vakada geri kazanım aşamasındaki üretim esnasında salınan karbon miktarı göz ardı edilmiştir. Bu çalışmanın ilerletilip diğer kurum ve kuruluşlara yol gösterecek örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki yaklaşımlara değinilmiştir. Üçüncü bölümde problem tanımı yapılmıştır. Dördüncü bölümde materyal ve metoda değinilmiştir. Beşinci ve altıncı bölümde sayısal sonuçlar sunulmuş ve sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Hızla artan tüketim nedeni ile azalan ve tahrip edilen doğal kaynaklar ve küresel ısınma işletmelerde çevreye karşı sorumluluk hissetme ve doğaya duyarlı sistemler geliştirme bilincini kazandırmıştır. Son zamanlarda yeşil üretim, enerji tüketimi, gaz emisyonları (CO₂) ve küresel ısınma gibi olumsuz çevresel etkiler nedeniyle imalat sektörü

için önemli bir konu haline gelmiştir. Aynı zamanda tüketicilerin dikkatini daha çok çekmek isteyen işletmeler için çevreye duyarlı üretim ve hizmet yeni bir rekabet alanı oluşturmakla birlikte devletlerin oluşturdukları yeni yasalar çevreye duyarlılığı zorunlu kılmıştır. Bu nedenle Bilimsel Yazın Taraması başlığı altında tersine lojistikte tesis yerleşimi problemleri için yayınlanan ulusal ve uluslararası çalışmalara kısaca yer verilmiştir.

Tersine lojistik ile geri kazanım kavramları ortak süreçleri kapsamaktadır. Bu süreçler, toplama, muayene ve ayıklama yeniden işleme, elden çıkarma, yeniden dağıtım gibi süreçleri içermektedir. Birçok işletmenin tersine lojistiğin ekonomik ve çevresel önemini fark etmesi ve bunu işletme hedeflerine taşıması tersine lojistik faaliyetlerine olan ilgiyi de arttırmıştır. Tersine lojistik ağ yapısı ile tasarımı detaylıca incelenmiş, ürün geri dönüşleri, geri kazanım süreçleri, ağ tasarımında karar verme aşamaları ve çeşitli ağ yapıları tanımlanmıştır. (Şengül, 2011) Özellikle son yirmi yıla ait çalışmaların amaçları, model yapıları, çözüm yaklaşım ve teknikleri irdelenmiş ve Tablo 1’de tarih sırasına göre özetlenmiştir.

Tablo 1. Teknik Yazın Taraması (Literature Survey)

Yıl	Referans	Amaç	Teknik	Yıl	Referans	Amaç	Teknik
1998	Carter ve Ellram	Tersine lojistik kavramları üzerine	-	2007	Lieckens ve Vandaele	Maks yeniden üretilen ürün sayısı	Genetik Algoritma
1998	Kirkke	Min maliyet ve çevreye olan etkiler	Çok kriterli karma tam sayılı model ve hedef programlama	2008	Demir vd.	Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı üzerine literatür araştırması	-
2000	Murphy ve Poist	Yeşil Lojistik Stratejileri üzerine literatür araştırması	-	2008	Gülsün vd.	Min toplam maliyet	Karma tam sayılı programlama ve tavlama benzetimi
2000	Goldsbey ve Dtank	Çevreye karşı duyarlı lojistik stratejileri ve uygulamaları	-	2010	Wang vd.	Min toplam maliyet Min CO ₂ emisyonu	İki amaçlı d.o.o.p.p ve Pareto sınırı ile kıyaslama
2000	Flesihman vd.	Farklı endüstrilerde ürün geri kazanımı için lojistik ağ tasarımına ilişkin son vaka çalışmaları üzerine bir inceleme	-	2010	Paksoy vd.	Min toplam taşıma maliyeti (ileri yönde) Min toplam taşıma maliyeti (tersine yönde) Min CO ₂ emisyonu Min satış fiyatı	Çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama ve genetik algoritma
2001	Rogers ve Tibben-Lembke	Tersine lojistik performansını ölçme yolları üzerine literatür araştırması	-	2011	Şengül	Tersine lojistik kavramları üzerine literatür araştırması	-
2011	Demirel vd.	Min tesis açma maliyeti Min üretim maliyeti Min taşıma maliyeti Min toplama maliyeti Min yeniden işleme maliyeti Min atık maliyeti	Kapasite kısıtlı çok amaçlı çok aşamalı tam sayılı doğrusal programlama ve Genetik Algoritma	2017	Kaya ve Alev	Maks kar	Karma tam sayılı doğrusal programlama ve GAMS ile çözüm
2012	Güner ve Alaykaran	Maks elde edilen gelir	Karma tam sayılı doğrusal programlama ve GAMS ile çözüm	2019	Chan vd.	Min toplam maliyet	Dışbükey olmayan karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama ve genetik algoritma
2012	Sarıkaya vd.	Min taşıma maliyeti Min tesis açma maliyeti	Çok amaçlı karma tamsayı doğrusal programlama ve bulanık hedef programlama	2020	Engellean vd.	Tersine atık tedarik zincirinde stratejik ağ optimizasyonu üzerine literatür araştırması	-
2014	Ayvaz vd.	Stokastik süreçlerde ağ tasarımı üzerine literatür araştırması	-	2020	Gao v Cao	Maks kar Min beklenen CO ₂ emisyonu	Çok amaçlı senaryo bazlı optimizasyon ve epsilon kısıt yöntemi
2016	Ene ve Öztürk	Yeşil Tedarik Zinciri Yönteminde Ağ Optimizasyonu Problemine Meta-Sezgisel Yaklaşımlar	Genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu	2020	Mu ve Tong	P-medyan Problemi	BIRCH algoritması

Çalışmalar çok amaçlı modellerde çevresel, sosyal ve performans göstergelerinin önemine, farklı atık ters tedarik zinciri paydaşlarını ağ tasarım modeline dâhil etme potansiyeli, döngüsel ekonomi ve zorlukları gibi gelecekteki atık ters tedarik zinciri gelişmelerinin dikkate alınması ve giderek karmaşıklaşan ağ tasarım modelleriyle başa çıkmak için oluşturulan yöntemler özetlenmiştir. (Engeland vd., 2020) Tüketicilerin geri dönen ürünlere dikkatini yoğunlaştırması ile yeşil üretim/hizmet bilinci tersine lojistik kavramını ve beraberinde getirdiği sorumlulukları işletmelere yüklemiştir. (Carter ve Ellram, 1998; Murphy ve Poist, 2000) Bu sorumlulukla 1990’ların sonunda yeşil yaklaşımlar geliştirilmiştir. Geleneksel, temel modeller, karma tamsayı doğrusal programlar (MILP modeli) olarak formüle edilmiş ve arz, talep ve kapasite kısıtlamaları karşılanırken yatırım, işleme, nakliye, bertaraf ve ceza

maliyetlerini en aza indiren hangi tesislerin açılacağını belirlemiştir. (Kirkke, 1998) Geri kazanımlı tesisler için tesis yeri seçimi konusunda daha önce yapılan çalışmalarda ya maliyet veya çevrim zamanı/mesafesi minimizasyonu ya da geri dönen ürünlerden elde edilen karın maksimizasyonu problemlerine rastlamak mümkündür. (Goldsby ve Stank, 2000)

Bu problemler için kurulan matematiksel modeller büyük çoğunlukla karışık tam sayılı doğrusal programlama olarak tek amaç fonksiyonludur. Bununla birlikte doğrusal olmayan modellerle nadiren karşılaşmaktadır. Optimal sonuca ulaşabilen modellerin yanında sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler geliştiren ve kullanan çalışmalar çok sık görülmektedir. (Ferreira vd., 2020) Gerçek hayat problemlerini daha çok yansıtmaları nedeni ile stokastik modeller de geliştirilmiş ancak çözüm zorluğu nedeni ile bu çalışmalar sığ kalmıştır. 2000li yılların başında ise çok amaçlı problemler geliştirilmeye başlanmıştır. (Lin vd., 2014) Tersine lojistik ağların analizi için matematiksel modellerin geleneksel tesis yeri problemlerine çok yakın olduğunu belirtilmiştir. Ürün kurtarma ağlarının genel özelliklerini tespit edilmiş ve bunların geleneksel lojistik yapılarla karşılaştırılması yapılmıştır. (Fleischmann vd., 2000)

Hâlihazırda literatürde bulunan modellerin genişletilmiş bir versiyonu kullanılarak tersine lojistik ağının verimli tasarımıyla ilgilenilmiştir. Teslim süresi ve envanter pozisyonları gibi bazı dinamik unsurları ve lojistiği tersine çevirmek için doğasında olan daha yüksek belirsizlik derecesini hesaba katmayı mümkün kılan bir kuyruk modeliyle problemin iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Bu uzantı doğrusal olmayan ilişkiler ortaya çıkardığı için, problem karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama (KTDOOP modeli) olarak tanımlanmıştır. Bu ek karmaşıklık nedeniyle, KTDOOP modeli tek bir ürün-tek seviyeli ağ için sunulmuştur. Farklı evrim tekniğine dayalı bir genetik algoritma ile birkaç örnek çözülmüştür. (Lieckens ve Vandaele, 2007)

Geri kazanımlı tesisler için hazırlanan bir başka çalışmada tersine lojistik ağ tasarımı ve modellenmesi konusu detaylıca incelenmiş, literatüre sunulan tersine lojistik ağ tasarımı ve modelleme yöntemlerini özetleyen bir yayın sunulmuştur. Tersine akışın söz konusu olduğu sistemlerde planlamanın ve yönetimin, zamanda ve miktarda oluşan belirsizlikler ve işlem gereksinimleri gibi birçok farklı faktöre bağlı olarak geleneksel lojistik sistemlerinin planlama ve yönetimine göre daha karmaşık olduğu vurgulanmıştır. (Demirel vd., 2008)

Tersine lojistik ağlarında geri dönüşüm merkezleri için uygun tesis yeri seçimi amacıyla daha önce literatürde bulunmayan tavlama benzetimi kullanan bir yaklaşım öne sürülmüştür. Ayrıca tavlama benzetimi algoritmasında başlangıç çözümünü doğru belirleme kriteri ve çözüm uzayının genişlemesiyle çözüme ulaşma süresinin artması nedeniyle çalışmada tavlama benzetimi için evrimsel algoritmalarla melez kullanım önerilmiştir. (Gülsün ve diğerleri, 2008)

Yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı karışık tam sayılı matematiksel model sunulmuştur. Çevresel kaygılarla oluşturulan matematiksel modelin amaç fonksiyonları toplam maliyet ve çevresel etkilerin minimizasyonudur. Bu iki amaç fonksiyonu arasındaki ödünleşim incelenmiştir. (Wang vd., 2010)

Tedarikçilerle başlayan ve ayrıştırma merkezleri ile geri dönüşüm sağlayan bir kapalı döngü tedarik zinciri (CLSC) ağı modeli geliştirilmiştir. Geleneksel bir ağ tasarımı olarak, tüm nakliye maliyetlerini ve hammadde satın alma maliyetlerini en aza indirmenin yanı sıra yeşil duyarlılıkla CO₂ emisyonlarına göre farklı taşıma seçenekleri sunulmuştur. Bu makalenin odak noktaları, toplam CO₂ emisyonlarını en aza indirmektir. Bu amaç ile sayısal bir örnek sunularak çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. (Paksoy vd., 2010)

Çok aşamalı bütünleşik lojistik ağ optimizasyonu problemi ele alınmış ve bu problemin çözümü için melez genetik algoritma geliştirilmiştir. Öncelikle kapasite kısıtlı, çok aşamalı ve çok ürünlü bir sistem için karmaşık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Problemin karmaşık yapısı yazarları genetik algoritma tabanlı bir sezgisel yöntemle çözüm geliştirmeye itmiştir. (Demirel vd., 2011)

Birden çok malzeme için çok ürünlü geri dönüşüm ağı tasarlanmıştır. Ortaya koyulan problem için karma tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Büyük boyutlu örnekler için zaman kısıtlı optimizasyon uygulanarak en iyiye yakın sonuçları elde edebilmek hedeflenmiştir. (Alaykiran ve Güner, 2012)

Aynı yıl içerisinde hazırlanan bir başka çalışmada ekonomik üretim miktarı modeline göre maliyetleri ile aynı zamanda mesafeye bağlı taşıma maliyetini minimize eden çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli ile çözüm yöntemi olarak bulanık hedef programlama yöntemi ele alınmıştır. Geliştirilen çok amaçlı bulanık modelde problemin doğası gereği amaç fonksiyonları birbirleri ile çatışmaktadır. Ayrıca ikinci amaç fonksiyonu ekonomik üretim miktarı yaklaşımından geldiği için probleme doğrusal olmayan programlama niteliğini getirmiştir. Tedarik zincirinin pek çok unsurunu kapsadığı için, geliştirilen model bulanık hedef programlama yaklaşımı ile çözümlere ulaşmaya imkân tanımıştır. (Sarıkaya vd., 2012)

Daha önceki çalışmalardan farklı olarak tersine lojistik ağ tasarımı yaklaşımlarını belirsizlikler altında inceleyen bir literatür taraması sunulmuştur. Çalışmaları incelendiğinde stokastik tedarik zinciri ağ tasarımı alanındaki çalışmaların azlığına dikkat çekilmiştir. Çalışmalarının sonucu olarak belirsizlik gösteren parametreler, amaç fonksiyonu sayısındaki farklılıklar gibi birçok başlık için daha önce yapılan çalışmalar bulunabilir. (Ayvaz vd., 2014)

Yeşil tedarik zincirinde ağ optimizasyonu problemine bir diğer meta-sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Önerilen meta-sezgisel algoritmalar Parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmadır. Bu iki algoritma 3 tedarikçi, 4 alternatif üretim tesisi, 6 alternatif dağıtım merkezi ve 10 perakendeci içeren çok aşamalı ve çok dönemli yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu problemine uygulanmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Farklı boyutlar geliştirilerek de denenilen algoritmalar sonucunda parçacık sürü optimizasyonunun genetik algoritmaya kıyasla daha iyi ve hızlı sonuçlar ürettiği saptanmıştır. (Ene ve Öztürk, 2016)

Üretim ve geri kazanım kararlarını kapsayan stratejik planlama ile üretim aşamasından müşteriye doğru ileri akışı içeren taktiksel planlamayı içerisinde barındıran bir kapalı döngü tedarik zinciri için ağ tasarımı önerisinde karmaşık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu kar maksimizasyonudur. Burada belirtilen kar, yeni üretilen ve geri dönüşümden elde edilen gelirlerden tesis açma/kapatma, işletme, satın alma ve karşılanmayan talep için ödenen ceza maliyetlerinin çıkarılması ile hesaplanmaktadır. (Kaya ve Alev, 2017)

En son çıkan çalışmalardan birinde üretici aynı zamanda geri dönüşüm faaliyetlerini gerçekleştiren birim olarak düşünülmüştür. Tek bir üretici ile çok sayıda müşterisi olan bir sistem göz önüne alınmış; üretim, yeniden üretim, stok tutma ve taşıma maliyetlerini minimize edecek bir yaklaşım genetik algoritma ile sunulmuştur. (Chan vd., 2019)

E-ticaret pazarında ve çevrimiçi alışverişte yakın zamanda yaşanan bir artışla birlikte, maliyet, çevresel ve sosyal faktörleri de hesaba katarak daha verimli, sürdürülebilir ve güvenilir bir tersine lojistik tasarıma ihtiyaç doğmuştur. Hindistan E-ticaret pazarına ilişkin iade ürünleri için çok amaçlı bir lojistik ağ modeli önerilmiştir. Önerilen çok amaçlı optimizasyon modeli, üç amaç içermektedir; ekonomik, çevresel, işteki zararlar nedeniyle yaratılan ve kaybedilen iş günleri. Ağırlıklı hedef programlama (WGP) tekniği, maliyeti, çevre etkisini en aza indirmek ve sosyal sorumluluğu en üst düzeye çıkarmak için farklı hedefler tartılarak kullanılmıştır. Son olarak, -model çevrimiçi perakende satış kıyafetlerine dayalı sayısal bir örnekle doğrulanmıştır. (Dutta vd., 2020)

Geri dönüşüm için, mevcut tesisleri karma işleme tesislerine dönüştürerek yeni bir sürdürülebilir ters lojistik tedarik zinciri ağını yeniden tasarlamak amacı ile çok amaçlı senaryo tabanlı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Amaç fonksiyonları; beklenen toplam parasal karı maksimize etmeyi, beklenen toplam karbon emisyon maliyetlerini en aza indirmeyi ve beklenen toplam yaratılan iş fırsatlarını maksimize etmeyi belirtmektedir. Önerilen modele ağırlıklı toplam yöntemi uygulanmıştır. Ağırlıklı toplam yöntemine ek olarak, bir dizi verimli Pareto-optimal çözüm elde etmek için artırılmış bir kısıtlama yöntemi kullanılır ve birbiriyle çelişen üç hedef arasındaki ödünleşim sunulmuştur. Son olarak, önerilen modeli doğrulamak için bir lastik tedarik zincirinden çeşitli sayısal uygulamalar gerçekleştirilir ve bazı yönetimsel çıkarımlar da sonuçlandırılmıştır. (Gao ve Cao, 2020)

Veri toplama teknolojisinin gelişmesi ile veri hacmini de arttırmıştır. Bu verilerin kentsel dinamikleri göz önünde bulundurarak şehir planlaması için kullanılıp ve modellenebilmesinin potansiyeli literatür çalışmaları içerisinde oldukça fazladır. P-medyan probleminin kombinatoriyal NP-zor optimizasyon problemi olduğu 1970lerin sonundaki çalışmalarda ispatlanmıştır. (Cornuejols vd., 1977; Kariv ve Hakimi, 1979) Buna ek olarak büyük verinin de modele dahil edilmesi, problem çözümleri için yeni zorluklar ortaya çıkaracaktır. Bir büyük boyutlu p-medyan problemi için yüksek performanslı ve hesaplama tabanlı algoritma önerilmiştir. Doğrudan büyük bir p-medyan problemini çözmek yerine, paralel olarak verimli bir şekilde çözülebilen daha küçük p-medyan alt problemleri rastgele bir örnekleme yardımı ile yaratılmıştır. Veri kümesinde Hiyerarşi Kullanan Dengeli Yinelemeli Azaltma ve Kümeleme (BIRCH) ile yapılan testler, rastgele örneklemenin yüksek kaliteli çözümler sağladığını ve hesaplama süresini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. (Mu ve Tong, 2020)

Literatürdeki birçok tek amaçlı p-medyan problemlerinin yanı sıra son yıllarda iki amaçlı modeller de geliştirilmiştir. Müşteriler ile tesisler arasındaki mesafelerin toplamı ve tesislerin açılması için toplam sabit maliyet önemli ve birbirleri ile çelişen konulardır. Bunun bir örneği olan çalışmada uzlaşımli yaklaşım kullanarak iki amaçlı bir model kapasiteli p-medyan problemi için önerilmiştir. Optimal kapasiteleriyle açık tesislerin en iyi konumunu belirlemek için tam sayılı doğrusal programlama kullanarak matematiksel bir model geliştirilmiş, bu model değişken komşuluk arama (VNS-variable neighborhood search) tabanlı çözüm yaklaşımları tasarlanmıştır. Önerilen yaklaşımların performansını değerlendirmek için örnek kümeler kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. (Irawan vd., 2020)

Yapılan yazın taraması sonucunda çok amaçlı doğrusal olmayan matematiksel modeller için epsilon-kısıt yöntemi nadiren kullanılmış, doğrusal olan modeller için çözüm yöntemi olarak daha çok meta-sezgisel yöntemler tercih edilmiştir. (Caramia ve Dell’Olma, 2020)

Bilinen bir akaryakıt firmasının hazırladığı rapora göre karbon emisyonu ile aracın kullandığı yakıt doğru orantılıdır. Bu nedenle araçların yakıt tüketimini azaltmak karbon emisyonunu da azaltacaktır. Tablo 2’de taşımacılıkta kullanılan bazı ticari araçların 100 km başına tükettikleri ortalama yakıt miktarı gösterilmektedir.

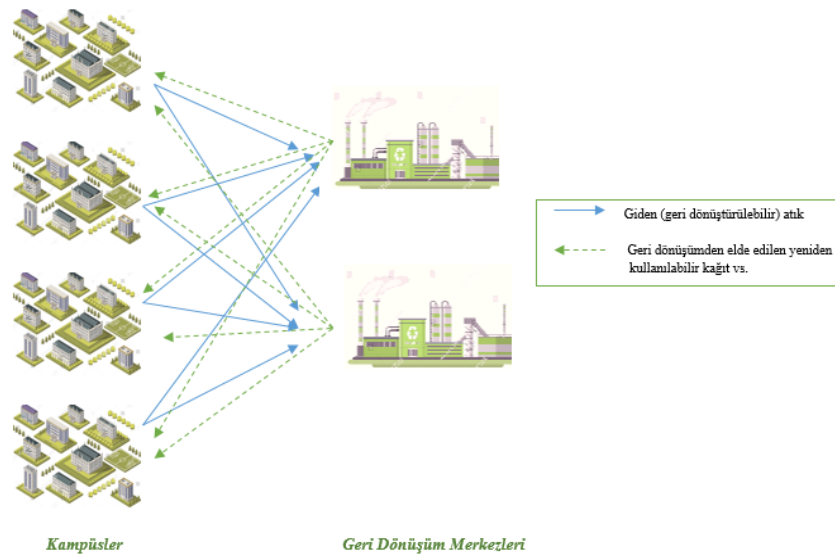
Tablo 2. Bazı Ticari Araçların (dizel) Ortalama Yakıt Tüketimi (Shell Petrol A.Ş., Yakıt Harcamaları ve Emisyon Oranları) (Average Fuel Consumption of Different Vehicle Types)

ARAÇ	YAKIT TÜKETİMİ (lt / 100 km)
Hafif Van	10
Orta Boy Kamyon	25
Büyük Boy Kamyon	35

Bir litre dizel yakıtın özgül ağırlığının yaklaşık %86’sının karbon olduğu bilinmektedir. Yakıt içerisindeki atomik birim ağırlıklarına göre bir litre dizel yakıtın yanması ile oluşan CO2 miktarı hesaplanabilir. (Shell Petrol A. Ş.)

3. Problem Tanımı (Problem Definition)

Bu çalışmada dört farklı kampüsü bulunan bir üniversitenin kullanım sonrası oluşan ve yeniden kullanım için geri kazanılması gereken ürünler için iki farklı geri dönüşüm tesisi açma problemi ele alınmaktadır. Kağıt ve plastik için geri dönüşüm merkezlerinin 4 adet düğümden oluşan şebeke üzerinde minimum maliyet oluşacak şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu merkezlerden hizmet alacak kampüslerin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca üniversitenin sahip olduğu çevreci yaklaşım nedeni ile geri dönüşüm merkezlerinden kampüslere ve tam tersi yönde gelişen taşımalarda ortaya çıkan karbon salınımını en aza indirmek istenmektedir. Çevreye duyarlı geri dönüşüm merkezi içeren tedarik zinciri yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen Zincirin Yapısı (Proposed Chain)

3.1. Varsayımlar (Assumptions)

- A, B, C ve D olmak üzere 4 farklı kampüs bulunmaktadır.
- Kâğıt geri dönüşümü için Kuzey, Güney, Doğu ve Batı olmak üzere 4 aday tesisten 2, plastik geri dönüşümü için Kuzeybatı, Güneydoğu ve Güneybatı olmak üzere 3 aday tesisten 1 adet tesis açılacaktır.
- Geri dönüşüm merkezleri için kapasite kısıtı bulunmamaktadır.
- Orta boy ve büyük boy olmak üzere iki tip araç kullanılacaktır. Boyutları nedeni ile araç kapasiteleri birbirinden farklıdır.
- Araç filosunda 3 adet orta boy kamyon ve 2 adet büyük boy kamyon bulunmaktadır.
- Üniversitenin tesis yeri açması için bütçesi sınırsızdır.
- Zaman sınırı yoktur.
- Geri kazanım için üretimden kaynaklanan karbon salınımı ve etkileri göz ardı edilmiştir. Sadece nakliye

esnasında oluşan karbon salınımı dikkate alınmıştır.

- Kampüsler ve alternatif geri dönüşüm merkezleri arasındaki mesafe birimi kilometredir.
- Kampüslerden çıkan aylık atık ile geri dönmesi beklenen ürün miktarı eşdeğer ağırlıktadır ve birimi kilogram olarak alınmıştır.
- Mesafeye bağlı karbon emisyon miktarı aylık emisyon faktörü ile çarpılarak hesaplanır.
- Karbon salınımı ve mesafe arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- Araçlar dizel motorludur.
- 1 litre dizel yakıt 2.63 kg CO₂ tüketmektedir.
- Orta boy bir kamyonun 1 kilometrede tükettiği yakıt 0.25 litredir. Bu nedenle 1 km'de oluşan karbon emisyonu 0,6575 kg'dır. Bu hesap büyük boy kamyon için yapıldığında 1 km'de oluşan karbon emisyonu 0,9205 kg'dır.

4. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Kampüsler ve açılacak geri dönüşüm merkezleri arası mesafeler kilometre cinsinden Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kampüsler ve Aday Geri Dönüşüm Merkezleri Arası Mesafe (km) (Distance between Campus and Recycling Centres in km)

Kampüsleri ve aday merkezler arası mesafe (km)	A	B	C	D
KUZEY	5	5	7,7	9
GÜNEY	5	3,4	6,9	13,1
DOĞU	7,7	6,9	11	9,3
BATI	9	13,1	12,7	16,9
KUZEYBATI	5	3,4	7	11
GÜNEYBATI	3,4	4,2	6	14
GÜNEYDOĞU	6,9	5	9,2	21,8

Aylık olarak her kampüsten toplanan ve her birine eşit miktarda geri kazanılmış ürün gönderilmesi beklenen miktarlar kilogram bazında Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Geri Dönüştürülmesi Beklenen Aylık Atık Miktarı (kg) (Expected Recycling Item Amount per month in kg)

Kağıt (kg)	EYÜP	KAĞITHANE	BEYOĞLU	ŞİŞLİ
	834	278	167	501
Plastik (kg)	278	92,7	55,7	167

Tablo 5 problemin matematiksel modelinde kullanacağımız karar değişkenlerini ve parametreleri belirtmektedir.

Tablo 5. Notasyon (Notation)

İNDİSLER	
i	Kampüsler ($i \in I = \{1,2,3,4\}$)
j	Aday Kağıt Geri Dönüşüm Merkezleri ($j \in J = \{1,2,3,4\}$)
t	Aday Plastik Geri Dönüşüm Merkezleri ($t \in T = \{1,2,3\}$)
v	Araç Tipi ($v \in V = \{1,2\}$)
PARAMETRELER	
d_{ij}	i kampüsünden j geri dönüşüm merkezine olan mesafe (km)
d_{it}	i kampüsünden t geri dönüşüm merkezine olan mesafe (km)
k_i	i kampüsünün aylık kağıt atık miktarı
p_i	i kampüsünün aylık plastik atık miktarı
$P_Kağıt$	Kağıt geri dönüşümü için açılacak geri dönüşüm merkezi sayısı
$P_Plastik$	Plastik geri dönüşümü için açılacak geri dönüşüm merkezi sayısı
q_v	Araç Kapasiteleri
N_v	Araç Sayısı
EF_v	Araç tipine göre karbon emisyon faktörü
KARAR DEĞİŞKENLERİ	
y_{ij}	$\begin{cases} 1, j$ geri dönüşüm merkezinden i kampüsüne geri kazanılmış ürün gönderilirse $0,$ dd.
x_j	$\begin{cases} 1, j$ lokasyonunda geri dönüşüm merkezi açılırsa $0,$ dd.
g_{it}	$\begin{cases} 1, t$ geri dönüşüm merkezinden i kampüsüne geri kazanılmış ürün gönderilirse $0,$ dd.
z_t	$\begin{cases} 1, t$ lokasyonunda geri dönüşüm merkezi açılırsa $0,$ dd.
a_v	v tipinde kullanılan araç sayısı

4.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Açılacak tesis adedi belli olduğundan probleme en uygun çözüm yaklaşımı P-Medyan problemidir. Belirtilen en az karbon emisyonu ile taşıma amacı da probleme eklenince iki amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} k_i \cdot d_{ij} \cdot y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} p_i \cdot d_{it} \cdot g_{it} \quad (1)$$

$$\min 2 * \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_v EF_v a_v d_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_v EF_v a_v d_{it} g_{it} \right) \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J} x_j = P_Kağıt \quad (3)$$

$$\sum_{t \in T} z_t = P_Plastik \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{t \in T} g_{it} = 1 \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$g_{it} \leq z_t \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} k_i y_{ij} \leq q_v a_v \quad \forall j \in J, \forall v \in V \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} p_i g_{it} \leq q_v a_v \quad \forall t \in T, \forall v \in V \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_v y_{ij} \geq 1 \quad \forall v \in V \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} a_v g_{it} \geq 1 \quad \forall v \in V \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_v y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} a_v g_{it} \leq N_v \quad \forall v \in V \quad (13)$$

$$x_j, \quad z_t, \quad y_{ij}, \quad g_{it} \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$a_v \in \text{tam sayı} \quad (15)$$

Modelde Eş. (1) açılacak geri dönüşüm merkezleri için ağırlıklı mesafeyi minimize edebilen en iyi konumları belirleyen birinci amaç fonksiyonudur. Eş. (2) geri dönüşüm öncesi ve sonrasında nakliye kaynaklı oluşan karbon emisyonunu minimize eden ikinci amaç fonksiyonu değeridir. Gidiş ve dönüş yönlü hesaplandığı için 2 ile

çarpılmıştır. Eş. (3)ve (4) açılacak geri dönüşüm merkezi sayısını P adet ile sınırlandırır. Eş. (5)ve (6)'da her bir kampüsün tüm taleplerinin sadece bir geri dönüşüm merkezinden karşılanması kısıtı verilmiştir. Eş. (7) ve (8) açılmamış geri dönüşüm merkezine talep noktası ataması yapılmamasını garanti ederek tutarlılığı sağlamaktadır. Eş. (9) ve (10) kapasite kısıtlarıdır. Eş. (11) ve (12) tesis ve kampüs arasına en az bir araç atanmasını belirtir. Eş. (13) filo kapasite kısıtıdır. Eş. (14) ve (15) 0-1 sırasıyla değişkenlere ait ve tamsayı kısıtıdır.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Problem Core i7, 2.60 GHz, 8 GB RAM bilgisayarda GAMS optimizasyon programında iki amaçlı karışık tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model olarak kodlanmıştır. Model ikinci amaç fonksiyonunda kullanılacak araç tipi ve sayısı kararı geri dönüşüm merkezinden hizmet alacak kampüs seçimlerine bağlı olduğu için konkav bir probleme dönüşmüştür. Çalışmadaki iki amaçlı matematiksel problemin çözüm yöntemi için epsilon-kısıt yöntemi denenmiştir. Epsilon-kısıt yönteminde bir amaç fonksiyonunu değerinin, kısıt olarak yazılan diğer amaç fonksiyonuna ait alt ve üst sınırı arasındaki değerlere göre, değişim göstermesi beklenir. Birinci amaç fonksiyonu kriter amaç fonksiyonu olarak seçilirken diğer amaç fonksiyonu kriteri için alt-sınır koyan kısıtlar eklenmektedir. Amaç fonksiyonları birbirlerine kısıtmış gibi modele yazılarak her bir amaç fonksiyonu değeri için alt ve üst sınır hesaplanır.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Epsilon – kısıt yöntemine göre bulunan alt ve üst sınırlar Tablo 6'da verilmiştir. Bu problem için alt ve üst sınırlar değişim göstermemektedir. Bu problemde tüm karar değişkenleri ikili değişken olduğu için iki amaç fonksiyonunun da alt ve üst sınırları değişim göstermemektedir. Bir orta ve bir büyük boyda araç ile birlikte Kuzey, Güney ve Kuzeybatı konumlarında tesisler açılmalıdır.

Tablo 6. Amaç Fonksiyonlarının Alt ve Üst Sınır Değerleri (Upper and Lower Limit of Objective Functions)

	AĞIRLIKLIL MESAFA	TOPLAM CO ₂ SALINIMI	TESİS AÇILACAK KONUM	AÇILAN TESİSTEN HİZMET ALAN KAMPÜS	ARAÇ SAYISI VE TİPİ
Üst Limit	14654,58	40,002	Kuzey Güney Kuzeybatı	A ve D B ve C A, B, C, D	1 orta ve 1 büyük boy
Alt Limit	14564,58	40,002			

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan bir üniversitenin atık yönetimi için tesisi yeri seçimi ile geri dönüşüm öncesi ve sonrasında nakliye kaynaklı oluşan karbon emisyonunu minimize etmeyi amaçlayan karma tamsayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problemde açılacak tesis sayısı bellidir. Tüm kampüslerin talebini karşılayabilecek geri dönüşüm merkezleri kurma şartı ile ağırlıklı mesafe minimize edilirken aynı zamanda da konumlar arası taşıma kaynaklı karbon emisyonu da azaltılmak istenmektedir. Bu nedenle iki amaç fonksiyonu arasında bir ödünleşim söz konusudur. Gelecek çalışmalarda açılacak tesis sayısı artışına göre modelin duyarlılığı ölçülebilir, probleme maliyetler ve üretim esnasında oluşan karbon salınımları da eklenebilir. Farklı sezgisel yaklaşımlar daha büyük boyutlu problemler için geliştirilebilir. Yerleşim-rotalama modeli gibi farklı versiyonların geliştirilmesi literatüre fayda sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Alaykırın, K., & Güner, E. (2013). Çok Ürünlü Geri Dönüşüm Ağ Tasarımı için Bir Matematiksel Model. Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der., 28(1), 151-159.
- Ayvaz, B., Kaçtıoğlu, S., & Varol, K. (2014). Belirsizlikler Altında Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Literatür Taraması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(24), 1-15.
- Carter, G. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse Logistics: A Review of the Literature and Framework for Future Investigation [Abstract]. Journal of Business Logistics, 19(1), 85.
- Caramia, M., & Dell'Olmo, P. (2020). Multi-objective optimization. In Multi-objective management in freight logistics (pp. 21-51). Springer, Cham.

- Chan, C. K., Man, N., Fang, F., & Campbell, J. (2019). Supply chain coordination with reverse logistics: A vendor/recycler-buyer synchronized cycles model. *Omega*, 102090. doi: 10.1016/j.omega.2019.07.006
- Cornuejols, G., Fisher, M.L., Nemhauser, G.L. (1977). Location of Bank Accounts to Optimise Float: an Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. *Management Science*, 23, 789–810.
- Demirel, N. Ö., & Gökçen, H. (2008). Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri için Lojistik Ağı Tasarımı: Literatür Araştırması. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(4), 903–912.
- Demirel, N., Gökçen, H., Akçayol, M. A., & Demirel, E. (2011). Çok Amaçlı Bütünlük Lojistik Ağı Optimizasyonu Probleminin Melez Genetik Algoritma ile Çözümü. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26(4), 989–936.
- Dutta, P., Mishra, A., Khandelwal, S., & Katthawala, I. (2020). A multiobjective optimization model for sustainable reverse logistics in Indian E-commerce market. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119348. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119348
- Ene, S., & Öztürk, N. (2016). Yeşil Tedarik Zinciri Yönteminde Ağ Optimizasyonu Problemine Meta-Sezgisel Yaklaşım. *CBU Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 449–457.
- Engeland, J. V., Belien, J., Boeck, L. D., & Jaeger, S. D. (2020). Literature review: Strategic network optimization models in waste reverse supply chains. *Omega*, 91, 102012. doi:10.1016/j.omega.2018.12.001
- Ferreira, J. C., Steiner, M. T. A., & Junior, O. C. (2020). Guide to multi-objective optimization for the green vehicle routing problem. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 36(1).
- Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., & Flapper, S. D. P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega*, 28(6), 653–666.
- Gao, X., & Cao, C. (2020). A novel multi-objective scenario-based optimization model for sustainable reverse logistics supply chain network redesign considering facility reconstruction. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122405. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122405
- Goldsby, T. J., & Stank, T. P. (2000). World Class Logistics Performance and Environmentally Responsible Logistics Practices [Abstract]. *Journal of Business Logistics*, 21(2), 187.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., & Bildik, E. (2008). Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı: Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı. *Sigma, Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26(1), 68–80.
- Irawan, C. A., Imran, A., & Luis, M. (2020). Solving the bi-objective capacitated p-median problem with multilevel capacities using compromise programming and VNS. *International Transactions in Operational Research*, 27(1), 361–380.
- Kariv, O., Hakimi, S.L. (1979). An Algorithmic Approach to Network Location Problems. II: The p-medians. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 37, 3, 539–560.
- Kaya, A., & Alev, S. A. (2017). Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 28(2), 2–18.
- Krikke HR. (1998) Recovery strategies and reverse logistic network design. Dissertation, University of Twente, The Netherlands.
- Lieckens, K., & Vandaele, N. (2007). Reverse logistics network design with stochastic lead times. *Computers & Operations Research*, 34(2), 395–416. doi:10.1016/j.cor.2005.03.006
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, 41(4), 1118–1138.
- Mu, W., & Tong, D. (2020). On solving large p-median problems. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(6), 981–996. <https://doi.org/10.1177/2399808319892598>.
- Murphy, P. R., & POIST, R. F. (2000). Green Logistics Strategies: An Analysis of Usage Patterns. *Transportation Journal*, WINTER 2000, 40(2), 5–16. <https://www.jstor.org/stable/20713450>
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An Examination of Reverse Logistics Practices. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129–148. doi:10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x
- Paksoy, T., Özceylan, E., Weber, G., Barsoum, N., Weber, G. W., & Vasant, P. (2010). A Multi Objective Model For Optimization Of A Green Supply Chain Network. doi:10.1063/1.3459765
- Sarıkaya, H. A., Çalışkan, E., & Türkbey, O. (2013). Bütünlük Tedarik Zinciri Ağına Tesis Yeri Seçimi için Bulanık Çok Amaçlı Programlama Modeli. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 150–161.
- Şengül, Ü. (2011). Tersine Lojistik Kavramı ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı. *Atatürk Ü. İİBF Dergisi*, 10. *Ekonometri Ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı*, 407–429.
- Wang, F., Lai, X., & Shi, N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 51(2), 262–269. doi: 10.1016/j.dss.2010.11.020.
- www.cunguslupetrol.com.tr > download > dosya=13012014-171837-cunguslupetrol.pdf. (n.d.).



PERCEIVED SAFETY AND AFFECTING FACTORS IN URBAN NEIGHBORHOODS

Deniz GERÇEK^{1*}, İsmail Talih GÜVEN²

¹Izmir Institute of Technology, Faculty of Architecture, Department of City and Regional Planning, 35430, Izmir

²Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Geophysical Engineering, 41001, Kocaeli

Keywords

*Perceived Safety,
Crime,
Security,
Sense of Community,
Demographics.*

Abstract

This study intends to explore how various aspects of safety such as criminal acts, public order, and sense of community affect 'perceived safety'. A questionnaire was applied to 1050 individuals that comprise the sample set living within the urban sprawl of İzmit city. People were asked to rate their evaluations on a set of safety issues in the neighborhood they live, such as crime acts, public disorder, community relationships. Investigating relevance of these issues versus perceived safety is important to understand characteristics of perceived safety in an urbanizing city subject to industrialization and immigration. Primary demographic variables: gender, age, income, and education level were also explored for their relation with perceived safety in the city. Using the quantitative method of surveying and statistical analysis, several outcomes were inferred. Accordingly, perceived safety in the city is highly associated with peoples' opinion about crime incidences and other safety and public order issues. Community attachment has a moderate influence on perceived safety, where more connected communities are likely to feel more safe. Descriptive statistics and tests showed that perceived safety with respect to gender differs, where female feel less safe. Perceived safety versus education level and income also showed some sort of relation pattern. However, this was attributed to the fact that poor and disintegrated urban neighborhoods are more likely to suffer from crime, rather than poverty brings lack of feel of safety.

KENTSEL ALANLARDA GÜVENLİK ALGISI VE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Anahtar Kelimeler

*Güvenlik Algısı,
Suç,
Güvenlik,
Topluluk Duygusu,
Demografi.*

Öz

Bu çalışma, suç eylemleri, kamu düzeni, topluluk duygusu gibi güvenliğin çeşitli yönlerinin "güvenlik algısına" nasıl bir etkide bulunduğunu anlamayı amaçlamaktadır. Bunun için, İzmit kentinin yerleşik alanı içinde ikamet eden örneklem grubuna bir anket uygulanmıştır. 1050 kişiden oluşan örneklem grubundaki kişilerden, suç eylemleri, düzen bozucu aktiviteler, topluluk ilişkileri gibi, yaşadıkları yakın çevreye dair bir dizi güvenlik sorunu hakkında değerlendirmeler yapmaları istenmiştir. Bu sorunların "güvenlik algısı" ile ilişkisini ortaya koymak, sanayileşme ve göçe maruz kalarak kentleşen bir şehirde güvenlik algısının özelliklerini anlamak açısından oldukça önemlidir. Birincil demografik değişkenlerden olan cinsiyet, yaş, gelir ve eğitim düzeyinin, kentteki güvenlik algısı üzerinde etkili olup olmadığı da araştırılmıştır. Kantitatif ölçme yöntemi ve istatistiksel analiz teknikleri kullanılarak, anket verilerinden bazı sonuçlara varılmıştır. Buna göre, kentteki güvenlik algısının, insanların suç olayları ve diğer güvenlik ve düzen sorunları hakkındaki görüşleriyle büyük ölçüde ilişkili olduğu görülmüştür. Topluluğa bağlılığın ise güvenlik algısı üzerinde olumlu bir etkisi olduğu ortaya çıkmıştır, birbirine daha bağlı toplum yapısı insanları daha güvende hissettirmektedir. Betimleyici istatistikler ve testler, kentteki güvenlik algısı düzeyinin, cinsiyete göre değiştiğini, kadınların daha az güvende hissettiğini göstermiştir. Eğitim seviyesi ile güvenlik algısı, gelir düzeyi ile güvenlik algısı karşılaştırmaları da belli bir seviyede ilişki olduğunu göstermektedir. Ancak, bu durumu, yoksul ve eğitim düzeyi düşük kesimlerin daha az güvende hissettiği

* İgili yazar / Corresponding author: denizgercek@iyte.edu.tr

şeklinde değil de, yoksul ve parçalanmış kent mahallelerinin suç olgusundan daha fazla muzdarip oldukları gerçeği ile açıklamak daha doğru olacaktır.

Alıntı / Cite

Gerçek, D., Güven, I.T., (2021). Perceived Safety and Affecting Factors in Urban Neighborhoods, Journal of Science and Design, 9(2), 554-560.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
D. Gerçek, 0000-0003-4818-9802	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.01.2020
I.T. Güven, 0000-0002-1048-3494	Revizyon Tarihi / Revision Date	14.04.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	01.06.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

Despite various advantages that cities offer to their inhabitants, such as economic and societal opportunities, human interaction and functional relationships, they are the places of unrest, mistrust and danger (Kim et al., 2011). Perceived safety or fear of crime is an integral part of this urban pathology (Baumer, 1985; Ditton and Farrall, 2000).

A range of urban problems including the increase of criminal incidences is blamed for the urban decay, where crime is often considered the predominant urban problem (Jones and Fanek, 1997). Suggesting that Urbanization is the main source of crime (Beşe, 2006; Derdiman, 2010) this issue should be considered as another viewpoint.

Governmental policies in Turkey that stressed the need for industrialization led excess urban growth in cities with suitable logistic and physical conditions (Payne, 1993). İzmit city, center of Kocaeli province, with its proximate location to İstanbul, strong transportation connections, suitable topography and climate, has drastically transformed into an industrial region since 1960's. With industrialization, immigration, and rapid urban growth in İzmit, environmental and social problems have soon arised.

According to a research, Kocaeli is in 20th province among 81 for crime rates (Karaatlı et al., 2015). This indication of high crime rate highlights the fact that safety in the city worth a further exploration.

2. Materials and Method

A comprehensive questionnaire was applied to individuals living in the study area, where only the safety-relevant attributes are within in the scope of this study.

Within adequate tolerance and confidence intervals (5%, and 99%), for a population of 261,845 in the study area, minimum number of 664 samples were adequately determined using Cochran's formula (Cochran, 1977).

However, for higher reliability of the results and better representation of the stratum, a sample size of 1050 was agreed up on. A proportionate stratified random sampling was applied such that 39 local districts constitute each strata and number of samples from each stratum were proportional to population of each strata.

Survey questions mainly investigate various aspects of safety in the neighborhoods such as fear of walking out at night, car thievery, house robbery, public intoxication, drug abuse, vandalism etc. Besides, sense of community as a preventive factor was explored. People were asked few other questions to understand their community attachment i.e. feel of belonging, friendly neighbors. Demographical attributes of the individuals were also recorded (Table 1).

Answers to the survey questions were in 1 to 5 Likert scale. Including all of the questions on various aspects of safety in the neighborhoods, so called 'variables', Factor analysis was performed. Factor Analysis reducing a set of variables to a small set of components, hence grouping relevant variables into groups is useful in understanding variability explained by variables. While Likert-type measurements are ordinal, they assume that the strength/intensity of experience is linear, i.e. on a continuum from strongly agree to strongly disagree, and makes the assumption that attitudes of persons can be measured (Rattray and Jones, 2007). For response scales with 5 points or more, Factor analysis can be applied assuming that there is an underlying continuous distribution, provided that sample size is minimum 150 (Pallant, 2005).

Descriptive statistics were calculated for all variables. This is primarily to compare variable means with mid-rate (3.00) of evaluation scale (1 to 5) and the dispersion of the evaluations (std. dev).

All of the variables were analyzed for their correlation with each other and with the main research question: perceived safety (C28). Pearson correlation coefficient for all pairs show that there is significant correlation (p

0.01, 2-tailed) between all variables. However, correlation between variables in different factor groups are lower than 0.4, whereas for variables within the same factor, correlation is roughly between 0.5 and 0.9.

Finally, a comparison of the mean Perceived Safety scores against Demographic attributes; gender, age, education level, and income were made to understand if demographics have an impact on Perceived Safety.

Table 1. List of questions about safety

Code	Survey Question
How do you evaluate your neighborhood for the below properties?	
C28	People in this neighborhood feel that it is a safe place to live
G1	It is fairly safe to walk in this neighborhood at night
G2	It is fairly safe for women to walk in this neighborhood at night
Problems in the neighborhood	
C14	Alcohol and drug abuse is a problem
C15	'Thinner' abuse is a problem
C17	Vehicle theft and destruction is a problem
C18	Abandoned and ruined houses is a problem
C19	Home theft is a problem
Community relationships in the neighborhood	
Mc1.2	People are friendly
Mc1.5	People are like me
Mc1.10	There are good neighbors
Mc1.11	There is no harm from people to public goods and environment
Demographic Records	
KB1	Gender (F/M)
KB2	Age (Age groups)
KB5	Education level (Classes of education degrees)
HB3	Income level (Income groups per person in the dwelling)

3. Results

Components

All of the ratings (1 to 5) from individuals about safety, peace and sense of community in their neighborhood were analyzed via Factor Analysis.

Three principle components were obtained and they were entitled as i. Feel of Safety, ii. crime activities and public disorder, iii. Sense of community (Table 2).

Descriptive Statistics of Variables

Descriptive statistics show that the question representing perceived safety (C28) is slightly above statistical mean (3.00) that is 3.14 across all city. Walking out at night in the neighborhood (G1) is slightly below statistical average (2.91). Women's walking at night in the neighborhood (G2) which is major indicator of perceived safety is apparently lower than G1 (2.70) (Table 3).

Table 2. Factor Analysis Results

			1	2	3
i	People in this neighborhood feel that it is a safe place to live	C28	0,317	0,303	0,684
	It is fairly safe to walk in this neighborhood at night	G1	0,178	0,103	0,914
	It is fairly safe for women to walk in this neighborhood at night	G2	0,166	0,111	0,912
ii	Alcohol and drug abuse is a problem	C14	0,821	0,072	0,254
	'Thinner' abusers is a problem	C15	0,854	0,076	0,204
	Vehicle theft and destruction is a problem	C17	0,864	0,070	0,112
	Abandoned and ruined houses is a problem	C18	0,772	0,089	0,147
	Home theft is a problem	C19	0,832	0,010	0,111
iii	People are friendly	Mc1_2	0,007	0,856	0,052
	People are like me	Mc1_5	0,040	0,767	0,140
	There are good neighbors	Mc1_10	0,054	0,867	0,104
	There is no harm from people to public goods and environment	Mc1_11	0,255	0,558	0,399

Table 3. Perceived safety variables: Descriptive statistics

	N	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
C28	952	1	5	3,14	1,204
G1	1033	1	5	2,91	1,137
G2	1011	1	5	2,70	1,172

When we look at the variables that pose a threat to safety, it can be seen that alcohol and drug abuse (C14, C15) is a problem in the city. Vehicle theft and destruction and home theft (C17, C19) can be mentioned a certain level of problem. Abandoned houses are not a big issue (C18), (Table 4).

In general, it can be said that the sense of community in the city is slightly above the average levels (Table 5).

Table 4. Crime and disorder statistics

	N	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
C14	910	1	5	2,41	1,355
C15	869	1	5	2,56	1,458
C17	838	1	5	2,97	1,415
C18	826	1	5	3,24	1,437
C19	851	1	5	2,72	1,403

Table 5. Sense of community statistics

	N	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
Mc1.2	983	1	5	3,25	1,028
Mc1.5	948	1	5	2,89	1,083
Mc1.10	994	1	5	3,48	1,068
Mc1.11	981	1	5	3,11	1,190

Correlation of Variables

All of the variables' correlation was examined. Pearson correlation coefficient for all pairs show that there is significant correlation ($p < 0.01$, 2-tailed) between all variables. However correlation between variables in different factor groups are lower than 0.4, whereas for variables within the same factor, correlation is roughly between 0,5 and 0,9. The main variable that represent Perceived Safety (C28) shows significant correlations with all other variables. The highest correlation is for night out (G1, G2) and vandalism (Mc1.11). These variables have a high correlation coefficient of 0,5and above where correlation coefficient of 0,4 and above indicate a strong correlation. However, correlation below this value is also considered reasonable. Accordingly, all other variables are associated with general perceived security at certain levels. All of the primary demographic variables; age, education level, and income have very low correlation with perceived of safety (Table 6). Gender was not evaluated for its correlation as its data range (2-values: male, female) is not appropriate for correlation analysis.

Among tested variables, C28 (People in this neighborhood feel that it is a safe place to live) that represents the safety in the neighborhood in general can be selected as a dependent variable. Collinearity statistics ranging between 1.58 and 4.38 suggest that dataset portray no or moderate multicollinearity and hence a linear regression may also be conducted.

Perceived Safety vs. Demographics

It was inspected whether male-female perception of safety differs. General safety and walking at night variables against gender was explored. It is evident that women's' perception of safety is lower than men's (Table 7).

The mean values show that there are some sort of difference with respect to genders in mean values for the list of questions coded C28, G1, G2. To understand if these differences were significant ANOVA test was conducted.

Table 6. Correlation between perceived safety and other variables

	C28
C28	1
G1	0,585**
G2	0,584**
C14	0,392**
C15	0,378**
C17	0,356**
C18	0,372**
C19	0,318**
Mc1_2	0,267**
Mc1_5	0,317**
Mc1_10	0,331**
Mc1_11	0,527**
KB2	0,126**
KB5	0,081*
HB3	0,113**

Table 7. Perceived safety and Gender

KB1	C28	G1	G2
1 (Female)	3,10	2,82	2,67
2 (Male)	3,18	3,09	2,78
Total	3,13	2,91	2,70

ANOVA (ANalysis of VAriance) is used to test the null hypothesis that means of several groups are equal. A significance level denoted as α and of 0.05 is accepted as cutoff for significance. If the P-value $\leq \alpha$, we can safely reject the null hypothesis that there's no difference between the means and conclude that a significant difference does exist between means of groups – herein gender groups of male and female. Results of the ANOVA test reveal that difference of means of ratings by Genders to question G1: It is fairly safe to walk on this neighborhood at night is statistically significant at df: 983 and p: 0.00.

It was explored whether Demographic variables indicating socio-economic level has a role in degree of perceived safety. Comparison of perceived safety mean values per age group shows that safety perception increases slightly with age (Table 8). However this increase is trivial to make inferences. Comparison of perceived safety mean values per income group shows that safety perception decreases together with income level (Table 9). Comparison of perceived safety mean values per education level shows that safety perception decreases together with education level (Table 10).

Table 8. Perceived safety and Age

KB2	Mean	N	Std. Dev.
1	3,05	117	1,173
2	3,01	193	1,201
3	3,10	432	1,222
4	3,51	91	1,139
5	3,68	47	,837
Total	3,14	880	1,198

Table 9. Perceived safety and Income level

HB3	Mean	N	Std. Dev.
1	2,84	247	1,164
2	3,14	292	1,199
3	3,29	230	1,220
4	3,55	84	1,034
5	4,00	8	,926
Total	3,14	861	1,198

Table 10. Perceived safety and Education level

HB3	Mean	N	Std. Dev.
1	2,88	16	1,147
2	3,13	23	1,217
3	3,06	218	1,243
4	3,08	268	1,208
5	3,17	364	1,211
Total	3,58	62	,933

4. Conclusions

When we look at the variables that pose a threat to safety, it can be seen that alcohol and drug abuse is a problem in the city and walking out at night in the neighborhood, especially for women, is not fairly safe. However, positively, it can be said that there is plenty of community attachment in the city which is known to provide basic support security needs (UNRISD, 1994).

Correlation analysis of all variables shows that Perceived Safety is significantly correlated with all other variables. The highest correlation is however for walking out at night out and vandalism. These two variables among many other including thievery, substance abuse, sense of community, etc., are found to be most effective in individuals' perception of safety around their neighborhood. Therefore, to increase peoples' feel of safety in their neighborhoods, these problems need to be primarily addressed. A regression analysis that is used to estimate relationships between a dependent variable and one or more independent variables may also be conducted in further studies to understand the relative impact of the variables to perceived safety.

Comparison of perceived safety per income and education group shows that safety perception decreases together with income level and education level. However, it may not be right to come to a conclusion that "perceived safety decreases as the income and education level decreases". The association here can be described as a projection of inequities in the space and problems it brings about, i.e. increased crime, hence decreased perceived safety.

Individuals' evaluations from all over the study area were analyzed together. However, it should be noted that there may be spatial variations across the city. Crime in a city is not randomly distributed across the space and it typically shows spatial variation. This association between crime and place is inherent and sometimes very obvious (Brantingham and Brantingham, 1981). Crime displaying uneven variation in the space is the result of the interrelationship between humans and their surroundings (Park and Burgess (1925). Rapid social changes such as industrialization, urbanization, and immigration, the lack of control by institutions over individuals initiates social changes known as "social disorganization" which is emphasized as the major cause of crime (Shaw and McKay, 1942). As a conclusion, besides pointing out the major problems that cause reduced safety across the city, unmasking and overcoming inequities in urban environments is of great importance in reducing crime and improving individuals' perception of safety in their neighborhood.

Acknowledgements

This study was supported by Kocaeli Metropolitan Municipality. We are also thankful to Prof. Dr. Handan Türkoğlu for her support for the content of survey forms.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Baumer, T., 1985. Testing a General Model of Fear of Crime, *Journal of Research & Delinquency* 22(3), 239-255.
- Beşe, Ertan 2006. "Kırık Pencereleler' Teorisi Bağlamında Kentsel Yasamda Suc ve Guvenlik", *Polis Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, s. 1-24.
- Brantingham, P. J., & Brantingham, P. L. (Eds.). 1981. *Environmental criminology* (pp. 27-54). Beverly Hills, CA: Sage Publications.
- Cochran, W. G. 1977. *Sampling techniques* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Derdiman R.C., 2010. Kentlesmenin Suça Etkisi ve Kentlilerin Suçla Mücadelesinin Sosyal ve Hukuki Boyutları, *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 19(3), Temmuz 2010, s.49-73.
- Ditton, J., S. Farrall (Eds), 2000. *The Fear of Crime*, Aldershot: Ashgate Dartmouth.
- Jones M. A., Fanek M., 1997. *Crime in the Urban Environment*, Space Syntax !st International Semposium Proceedings vol.2, p. 25 (1-11).
- Karaathı, M., Ömürbek, N., Budak, İ. & Dağ, O. 2015. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yaşanabilir İllerin Sıralanması, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33, p. 215-228.
- Kim J.W., Schweitzer J.H., Kim M.C., 2011. The Relationship of Community Characteristics to Actual and Perceived Crime in Urban Neighborhoods, *International Journal of Urban Sciences*, 6(2), 118-130,
- Pallant, J. 2005. *SPSS survival manual, 2nd ed. A Step by Step Guide to Data Analysis Using SPSS*, Sydney: Allen and Unwin
- Payne, G. K. 1993. *The Provision of basic services in Pakistan, Turkey and Egypt. Urbanization in Developing Countries*
- Park R.E., Burgess E.W. 1925. *The City*. The University of Chicago Press, Chicago, U.S.
- Rattray, J.C., & Jones, M.C. 2007. Essential elements of questionnaire design and development. *Journal of Clinical Nursing*, 16, 234-243
- Shaw, C. R. & McKay, H. D. 1942. *Juvenile delinquency and urban areas*. Chicago, IL, US: University of Chicago Press
- Juvenile delinquency and urban areas. xxxii 451 pp.
- UNRISD .1994. *Social Integration: Approaches and Issues*, UNRISD Briefing Paper No. 1 World Summit for Social Development, United Nations Research Institute For Social Development.



KONTROLLÜ İLAÇ SALIMINDA SİLİMARİN YÜKLÜ ALJİNAT MİKROKAPSÜL VE BONCUKLARININ HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Ezgi NAHİRCİ¹, Esra ÇİNİ¹, Belgin TUNÇEL KIRKAR², F. Burcu ALP^{1*}

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

²İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Silybum Marianum</i> <i>Silimarin</i> , <i>Aljinat</i> , <i>Enkapsülasyon</i> , <i>Kontrollü İlaç Salımı</i> .	Deve dikenini (<i>Silybum marianum</i>) tohumuna çözücü ile ekstraksiyon yöntemi uygulanarak %7,3 verimle silimarin tozu elde edilmiştir. Ekstrakte tozun %57,8 silimarin içerdiği bulunmuştur. Silimarin içeriği dikkate alınarak <i>Silybum marianum</i> tohumunun silimarin içeriği %4,21 olarak bulunmuştur. Ekstrakt ve orjinal silimarin, Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR), Optik Mikroskop, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Püskürtme ve enjeksiyon yöntemleri ile ekstrakt ve orjinal silimarin tozları aljinat ile enkapsüle edilmiştir. Silimarin enkapsülasyonu sonrasında mikrokapsüllerin tutuklama verimleri %83,14-%91,27 aralığında bulunmuştur. Simüle mide (0,1N HCl) ortamında kümülatif silimarin salımı %13-%71 aralığında, simüle bağırsak (PBS) ortamında kümülatif silimarin salımı %28,3-%82 aralığında hesaplanmıştır. Tüm örneklerde simüle bağırsak (PBS) ortamında daha yüksek silimarin salımı gözlenmiştir. Salım deneyleri sonrasında örneklerin fonksiyonel gruplarındaki değişiklikler FTIR ile belirlenmiştir.

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SILYMARIN LOADED ALGINATE MICROCAPSULE AND BEADS IN CONTROLLED DRUG RELEASE

Keywords	Abstract
<i>Silybum Marianum</i> , <i>Silymarin</i> , <i>Alginate</i> , <i>Encapsulation</i> , <i>Controlled Drug Delivery</i> .	Silymarin powder was obtained with 7.3% yield by applying solvent extraction method from milk thistle (<i>Silybum marianum</i>) seed. Silymarin content of silybum marianum seed was found to be 4.21% based on the extracted amount. The extract and original silymarin have been characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Optical Microscope, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). Extract and original silymarin powders were encapsulated with alginate by spraying and injection methods. After silymarin encapsulation, the microcapsule's entrapment efficiency was determined between 83.14% and 91.27%. The cumulative silymarin release in simulated stomach (0.1N HCl) medium was calculated between 13% and 71%, in simulated intestinal (PBS) medium, the cumulative silymarin release was calculated between 28.3% and 82%. Higher silymarin release was observed in simulated intestinal (PBS) medium in all samples. After the release experiments, changes in the functional groups of the samples were determined by FTIR.

Alıntı / Cite

Nahirci, E., Çini, E., Kırkar B., Alp B., B. (2021), Kontrollü İlaç Salımında Silimarin Yüklü Aljinat Mikrokapsül ve Boncuklarının Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 561-573.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
E. Nahirci, 0000-0003-0046-2953	Başvuru Tarihi / Submission Date
E. Çini, 0000-0001-8963-009X	Revizyon Tarihi / Revision Date
B.Tunçel Kırkar, 0000-0003-3600-0240	Kabul Tarihi / Accepted Date
F. B. Alp, 0000-0002-0380-2020	Yayın Tarihi / Published Date

1. Giriş (Introduction)

Deve dikenini (*Silybum marianum*), Akdeniz bölgesine özgü olup, Isparta'nın Yenişarbademli köyünde bolca bulunur (Doğanoğlu vd.,2006). Meyve ve *Silybum marianum* tohumları bitkinin tıbbi kısmıdır. *Silybum marianum*un aktif

* İlgili yazar / Corresponding author: burcualp@sdu.edu.tr, +90-246-211-0902

bileşeni, silibinin, izosilibinin, silisristin ve silidianin olmak üzere dört izomerden oluşan bir flavonolignan karışımı olan silimarindir. *Silybum marianum* tohumunun silimarin içeriğine dayalı olarak Yunanistan'da doğal olarak oluşan 30 yabancı popülasyonu değerlendirmek için yapılan çalışmada flavonolignan ve taksifolin içeriğinin yanı sıra %2,31-%7,71 (ortalama %3,31) arasında değişen değerler ile silimarin içeriğinde önemli farklılıklar kaydedilmiştir (Arampatzis vd., 2019). Silimarin, uzun yıllardır karaciğer hastalıkları için organik bir ilaç olarak kullanılmaktadır, kronik karaciğer hastalığının seyrini önemli ölçüde değiştirmemiş olsa da karaciğer enzim seviyelerini düşürdüğü ve anti-enflamatuar ve T hücre modüle edici etkileri gösterdiği bildirilmiştir (Post-White vd., 2007). Silimarin çekirdeğinin içinde betain, trimetilglisin ve esansiyel yağ asitleri gibi bileşenleri de içermektedir. Bu gibi bileşenler silimarinin karaciğer koruyucu ve antienflamatuar etkisine katkı sağlamaktadır (Dixit vd., 2007). Silimarin karaciğerde oluşan toksik maddeleri parçalar ve bu maddelerin atılımını sağlar. Bu atılımı sağlarken dokuları korur ve güçlü bir antioksidan oluşturur. Yapılan bir çalışmada Tip 2 diyabetlilere uygulanan silimarinin hücrede lipoperoksidasyonu azalttığı gözlemlenmiştir (Velussi vd., 1997; Matsuda vd., 2005; Fallah Huseini vd., 2006). Çalışmalar silimarinin ek olarak genomik yaralanmaya karşı koruduğunu ve protein sentezini arttırdığını kanıtlamıştır (Sheela vd., 2013; Serçe vd., 2015). Tıbbi bir bakışta, silimarin ve silibinin sitoproteksiyon ve her şeyden önce hepatoproteksiyon sağlamış olduğu mevcuttur (Rainone, 2005). Silimarinin antioksidan aktivitesini farklı şekillerde de görmek mümkündür. Silimarin serum insülini artırarak antidiyabetik özelliği gösterebilir. Silimarinin pankreas üzerinde etkisini kanıtlamak için çalışmalar yapılmış ve bu çalışmaların sonucunda diyabet tedavisi için bir ilaç olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Saller vd., 2012; Matsuda vd., 2005). Alloksanla diyabet oluşturulmuş farelerle yapılan bir çalışmada silimarinin, pankreatik lipit peroksidasyonundaki artışı engellediği gözlemlenmiştir. Bu gözlem sonucunda kan glikozundaki artışı yavaşlattığı sonucuna varılmıştır. Bu etkinin de silimarinin antioksidatif özelliğinden kaynaklanabilir olduğu düşünülmüştür. Bu çalışma da aynı zamanda diyabetli hayvanların karaciğerinde SOD, glutatyon ve GSH-Px aktivitesini arttırdığı gözlemlenmiştir (Huseini vd., 2006). *Silybum marianum* ekstraktını diyabetli hastalara vererek HbA1c ve kan glikoz seviyelerinin azaldığı sonucuna varılmıştır (Matsuda vd., 2005). Silimarin veya silibinin göğüs kanseri, yumurtalık kanseri, akciğer kanseri, cilt kanseri, prostat kanseri, rahim ağzı kanseri, mesane kanseri, karaciğer karsinomu ve kolon kanseri üzerindeki olumlu etkileri bildirilmiştir (Karimi vd. 2011). Silimarin ile tedavi, MDA-DNA eklentilerinin ve alfa-fetoprotein, karsinoembriyonik antijen, aminotransferaz, alkalın fosfataz, laktat dehidrojenaz, gamma glutamiltransferaz ve 5'-nükleotidaz gibi hepatoselüler karsinom serum belirteçlerinin oluşumunu önemli ölçüde azalttığı rapor edilmiştir (Ramakrishnan vd. 2007).

Biyoyararlılık gıdada bulunan bileşiğin sindirim sisteminde emilen miktarıdır (Ercan ve El, 2010). Silimarin, suda çözünürlüğü zayıf (0,04mg/mL) olmasına rağmen lipofilik özelliklere sahip değildir (Javed vd., 2011). Silimarin zayıf çözünürlüğü nedeniyle, genellikle bitki çayı yerine kapsül veya tablet şeklinde kullanılır. Oral emilimi yaklaşık % 23-47'dir ve in-vivo zayıf biyoyararlanıma yol açar. Geçmişte devedikeni ile ilgili yapılan tüm klinik denemeler, silimarinin 1200-1500 mg/gün dozlarında güvenliğini ve etkinliğini göstermiştir. Silimarinin tipik oral yetişkin dozu, iki veya üçe bölünmüş dozlarda 240-800 mg/gün'dür. Silimarinin transcutol, etanol, polisorbata 20 ve gliseril monooleat gibi çeşitli diğer çözücüler içindeki çözünürlüğü sırasıyla 350,1 mg/mL, 225,2 mg/mL, 131,3 mg/mL ve 33,2 mg/mL'dir. Fulvonik asitin 15 kata kadar silimarinin çözünürlük ve çözünme özelliğini arttırdığı bildirilmiştir (Javed vd., 2016). Suda çözünürlüğü düşük olan silimarinin emilimi ince bağırsakta olmaktadır. Biyoyararlılığı geliştirmede kullanılan yeni ilaç salım yaklaşımı, tanecik boyutunun nano boyuta getirilmesidir. Tanecik boyutunun 100µm'nin altına düşürülmesi bile daha hızlı çözünme profilinin artırılmasında yardımcı olduğu bildirilmiştir (Beg vd., 2010). Suda zayıf çözünürlüğe sahip farmasötiklerin daha düşük kristallite ve daha küçük boyuta sahip olduklarında daha yüksek çözünme hızı ve biyoyararlanım sergilediğine inanılmaktadır (Zang vd., 2009). Enkapsülasyon işleminde mikro-kapsüller küçük parçacıklar ya da damlacıklar ile çevrilidir. Enkapsülasyon kontrollü ilaç salım uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. İlaçların mide ortamında bozunmasını engelleyerek ince bağırsakta emilimini sağlar (Özbek vd., 2017). Enkapsülasyon için aljinat, hemen hemen tüm kapsülleme yöntemlerine uygun olması, toksik olmaması, kapsüllerinin mekanik olarak dayanıklı ve gözenekliliğinin yüksek olması nedeni ile sıklıkla kullanılmaktadır (Pandey ve Khuller, 2004; El-Sherbiny vd., 2011; Yousefdoost vd., 2019).

Bu çalışmada suda çözünürlüğü zayıf silimarinin biyoyararlılığının artırılması için *silybum marianum* tohumu etanol ile ekstrakte edilerek elde edilen silimarin tozu ve saf silimarin(Sigma-Aldrich) iki farklı enkapsülasyon yöntemleri kullanılarak aljinat ile enkapsüle edilmiştir. Ekstrakt silimarin ve saf silimarinin ve kapsüllenmiş tane boyutunun; tutuklama kapasitesi, simule mide ve bağırsak ortamlarında salımı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Silimarinin suda çözünürlüğünü iyileştirmek ve oral biyoyararlanımını arttırmak için, iki yeni teknik kullanarak silimarin formülasyonları geliştirilmiş bir çalışmada nanokristaller ve fitozomların formülasyonu hazırlanmış, kimyasal ve fiziksel özellikleri incelenmiştir (El Batal vd., 2018). Çözünürlük, ilaç içeriği ve in-vitro çözünme çalışmaları için hazırlanan formülasyonlardan 5 mg silimarin eşdeğer toz numuneler alınmış ve daha sonra

metanol-sudan oluşan 50 mL çözücü sistemi (75:25) içinde çözülmüştür. Ardından 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5'lik seri seyreltmeler metanol-sudan oluşan çözücü sisteminden (75:25) 10 mL'ye tamamlanmıştır. UV-spektrofotometrik analizi 288 nm'de gerçekleştirilmiştir. Her formülasyondaki silimarin konsantrasyonu, silimarin'in kalibrasyon eğrisinin oluşturulmasından sonra belirlenmiştir. İn vitro salım çalışmaları, dissolüsyon test cihazı kullanılarak nanokristaller ve fitozomlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Toz (5 mg formül içeren) 250 mL çözünme ortamına (0.1N HCL) ilave edilmiş ve cihaz 37°C'de 100 dev/dk.'da çalıştırılmıştır. Belirli zaman aralıklarında, 5mL dispersiyon numuneleri çekilmiş ve sabit hacmi (250 mL) korumak için taze çözünme ortamı ilave edilmiştir. Santrifüjlenip filtre edilen örnekler, silimarin yüzdesini belirlemek için 288 nm'de spektrofotometrede ölçülmüştür.

Gastrik ülserin potansiyel tedavisinde kullanılmak üzere iyonotropik jelleşme yöntemi ile silimarin yüklü kitosan-montmorillonit mikroboncukları formüle etmek ve değerlendirmek için üretilmiştir (Sharma vd., 2018). Formüle edilen mikro boncuklar, boyut, tutma kapasitesi ve in vitro muko-yapışma açısından değerlendirilmiştir. Mikro boncuklardan ilaç salım mekanizmasını anlamak için in vitro ilaç salım verileri çeşitli ilaç salım kinetik modelleri ile uyumu incelenmiştir. Tutma verimini belirlemek için elde edilen 120-150 µm aralığında tane boyutuna sahip mikroboncuklar (10 mg) havanda ezilerek 24 saat kloroform: metanol (10mL) çözeltisinde bekletilmiştir. Daha sonra 1000 dev/dk.' da santrifüjlenip silimarin içeriği 290 nm' de dalga boyunda UV- spektrometresi ile süpernatana bakılarak belirlenmiştir. Tutma verimi %75-92 aralığında, boncukların boyutuna göre değişkenlik göstermiştir. Mikroboncukların in vitro ilaç salım deneyleri dissolüsyon test cihazı ile 0,1N HCl içinde 10 saat süreyle 100 dev/dk. karıştırma hızı ve 37°C' de gerçekleştirilmiştir. 0,1 N HCl içeren çözünme ortamı, mide bağırsak sistemi boyunca pH'daki değişikliği uyarmak için kullanılmıştır. Düzenli zaman aralıklarında, numuneler çözünme ortamından çıkarılarak Whatman filtre kâğıdı (0,22 µm) ile süzülümüştür. Absorbans, 290 nm'de UV/görünür spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar kümülatif olarak rapor edilmiştir. Örneklerde %58-%86 aralığında salım gerçekleştiği bildirilmiştir. Hibrit lipozomlarla kapsüllenmiş silimarinin fiziksel kararlılığı ve in-vivo performans açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunun sonucunda silimarin hibrit lipozomlar tersinir buharlaştırma tekniği ile hazırlanmıştır (Samaligy vd., 2006). Tutma kapasitesi, toplanan filtratın belirli bir hacminin 15,000 rpm'de 1 saat süreyle 4°C'de santrifüjlenip, lipozomlar süpernatandan ayrılarak ve metanol içinde silimarinin maksimum absorpsiyonunun dalga boyu olan 288 nm'de ölçülmesiyle belirlenmiştir. Tutuklama kapasitesi %69 olarak bildirilmiştir. Lipozomdan silimarin salımı için diyaliz membran kullanılmıştır. Salım deneyleri için 50 mL fosfat tampon çözeltisi (PBS) (pH: 7.4) kullanılmıştır. PBS çözeltisinin doyumluk konsantrasyonunun silimarin oranı ise 0,526 mg/mL' dir. 4 mL salım sıvısından alınıp 4mL taze PBS çözeltisi eklenerek 6 saat süresince salım deneyleri yapılmış ve sonuçlar kümülatif olarak rapor edilmiştir. Hibrit lipozomlarla kapsüllenmiş silimarinin 6 saat sonunda salımı %74 olarak rapor edilmiştir.

Etlik piliçlerde CCl₄'ün neden olduğu oksidatif strese karşı antioksidan ve hepatoprotektif aktivitelerini iyileştirmek için nanokapsüllenmiş silimarin uygulaması yapılmıştır (Yousefdoost vd., 2019). Kurutulmuş *Silybum marianum* tohumları öğütülerek, 20 gr toz, 300 mL petrol eteri kullanılarak 16 saat süreyle soksetet cihazında yağdan ayrıldı. Yağdan arındırılmış toz daha sonra etanol (300mL) içinde 10 saat süreyle ekstrakte edilip ardından 39°C'de vakumlu kurutucuda etanol buharlaştırılması ile silimarin elde edilmiştir. Silimarinin toplam fenol, toplam flavonoid ve antioksidant içeriğini sırasıyla 3,51; 2,39 ve 75,35 (içerik/aktivite) olarak belirlemişlerdir. Toplam silimarin (mg/kurutulmuş ekstrakt) içeriğini 59,13 bulmuşlardır. Nanokapsüller modifiye emülsiyon/internal jelleşme yöntemiyle hazırlanmıştır. 2 mL sulandırılmış silimarin 8 mL aljinat çözeltisi (%1 w/v) ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım 60 mL konola yağı ve 5 gr tween80 içeren mekanik karıştırıcıdaki çözeltiye damla damla ilave edilmiştir. Elde edilen karışım, %62,5 genliğe ve 12 mm prob çapına sahip 20 kHz frekanslı ultrason kullanılarak 25 °C'de 15 dakika süreyle sonikasyona tabi tutulmuştur. Daha sonra uygun hacimde 0,1 M CaCl₂ (100mL) çapraz bağlayıcı emülsiyon yüzeyine püskürtülmüş ve 10 dakika boyunca daha karıştırılarak santrifüj ile ayrılmıştır. Elde edilen tanecik boyutunu 169-657 nm aralığında bildirmişlerdir. Fenolik içeren kapsüller, fenol salımı için 90 mL %1'lik sodyum sitrat (pH:6) çözeltisi ile oda sıcaklığında 300 dev/dk.'de sabit çalkalama altında 10 dk inkübe edilmiştir. Daha sonra açığa çıkan fenolik bileşikler absorbans okunarak ölçülmüştür. Simule mide sıvısı için 3,2 gr pepsin enzimi ve 2 gr NaCl 1 L deiyonize suda çözünerek 0,1 M HCl ile pH:1,5'a ayarlanmıştır. 0,1 gr ıslak kapsül 9 mL simule gastrik çözeltisinde 60 dk 37°C' de inkübe edilip 30 dk 200 dev/dk.'da santrifüjlenmiştir. Süpernatana toplam fenol tayini için Folin-Ciocalteu metodu ile tayin edilmiştir. Simule bağırsak sıvısı için pankreatin (10 gr/L) KH₂PO₄ (0,05 mol) ve pH:7 ile karıştırılmış ve bir miktar kimyon 20 mL intestinal suya eklenmiştir. pH: 6,5'e NaOH ile ayarlanıp 37°C'de çalkalanarak 2 saat süresince 30 dakikalık periyotlarda örnek alınarak 1000 dev/dk.'da 15 dk boyunca 4°C'de santrifüjlenmiştir. Süpernatana Folin-Ciocalteu metodu ile toplam fenol tayini yapılmıştır. Mide ortamında 1 saatin sonunda %10, bağırsak ortamında ise 2 saat sonunda %92 toplam fenol tayin edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1 Materyal (Material)

Bu çalışmada *Silybum marianum* tohumu Yenişarbademli köyünden temin edildi. *Silybum marianum* tohumundan yağın uzaklaştırılması için hegzan (Merck), ekstraksiyon işleminde ise Etanol (Merck) kullanılmıştır. Enkapsülasyon için, Na-aljinat (Alfasol), D-manitol (Sigma-Aldrich), orjinal silimarin (Sigma-Aldrich) ve çapraz bağlanma reaksiyonunun gerçekleşmesi için CaCl_2 (Merck) kullanılmıştır. İlaç salım deneylerinde HCL (Merck), ve fosfat tampon çözeltisi (PBS) hazırlanmasında NaCl (Sigma-Aldrich), KCl (Merck), Na_2HPO_4 , (Analiz Kimya) KH_2PO_4 (Merck) ve $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

2.2 Metot (Method)

2.2.1 Silimarin Ekstraksiyonu (Silymarin Extraction)

Silybum marianum tohumları 3 gün hava sirkülasyonlu etüvde 37,5 °C'de kurutulmuş, daha sonra öğütülmüştür. 10 gr öğütülmüş *Silybum marianum* tohumu tartılıp filtre kağıdına paketlenerek sokselet cihazına yerleştirilmiştir. 300 mL hegzan ile işlem görerek *Silybum marianum* tohumunun yağı ayrılmıştır. Kurutulan ve yağı alınmış numune, sokselet cihazında 300 mL etanol ile 4 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyonun sonunda silimarin ve etanol elde edilmiştir. Kurutulmuş silimarin elde etmek için etanolün büyük bir kısmı, vakum altında 40 °C'de döner buharlaştırıcı (Heldolph-Laborata 4001) kullanılarak uzaklaştırılmış, belirleyici karışıma 50 mL'den fazla damıtılmış su ilave edilerek karışımda kalan etanolün tamamı döner buharlaştırıcı kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Sulu silimarin buzlukta 24 saat dondurulduktan sonra -48.5 °C ve 0,08 mbar'da liyofilizatör (Telstar-cryodos) ile kurutulmuştur. Elde edilen sarı renkte kurutulmuş toz ekstrakt tartılıp ekstraksiyon verimi hesaplanmıştır.

2.2.2 Silimarin Enkapsülasyonu (Silymarin Encapsulation)

Ağırlıkça %2 Na-aljinat ve %2 D-Mannitol (Na-aljinatın çapraz bağlayıcı düzenleyicisi) 100 mL deiyonize su içinde çözünerek aljinat çözeltileri hazırlanmıştır. Tamamen çözünmüş aljinat çözeltisine daha sonra 50/20 mg ekstrakte/veya 50 mg orijinal silimarin eklenmiştir. Enjeksiyon ile enkapsülasyon işlemi için aljinatın çapraz bağlayıcısı olan CaCl_2 çözeltisi içine (ağırlıkça %2'lik) enjektör kullanılarak damlatılmıştır. Damlacıklar silimarin boncuklarını oluşturmuştur. Çapraz bağlanma reaksiyonunun tamamlanması için 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Oluşan boncuklar, filtre edilerek deiyonize su ile yıkanıp bir kısmı hava sirkülasyonlu etüvde kurutulurken bir kısmı da buzlukta 24 saat dondurulup liyofilizatörde kurutulmuştur. Filtrasyon işlemindeki süzüntü ve yıkama suyu tutuklama kapasitesi hesaplamalarında kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Püskürtme ile enkapsülasyon işlemi için silimarin yüklü aljinat çözeltisi boya tabancasından hava kompresörü (3 atm) ile CaCl_2 çözeltisi içine (ağırlıkça %2'lik) püskürtülmüştür. Yukarıda anlatılan filtrasyon, yıkama ve liyofilizatörde kurutma işlemleri yapılmıştır. Tablo 1.'de hazırlanan örneklerin üretim metodu, örnek kodları ve silimarin içerikleri verilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan örneklerin üretim metodu, örnek kodları ve silimarin içerikleri (Production method, sample codes and silymarin contents of the prepared samples).

Örnek Kodu	Üretim Yöntemi	Silimarin Miktarı, [mg]
P-orjinal silimarin		50
P-ekstrakt silimarin-20	Püskürtme	20
P-ekstrakt silimarin		50
E-orjinal silimarin		50
E-ekstrakt silimarin	Enjeksiyon	50

2.2.3 Silimarin Standart Kalibrasyon Eğrisinin Hazırlanması (Preparation of Standard Silymarin Calibration Curve)

UV-analizleri, 288 nm dalga boyunda Perkin Elmer Lambda25 spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Önce etanol-su (75:25) sıvı sistemi hazırlanmıştır. 100µg/mL(ppm) konsantrasyonunda silimarin stok çözeltisi 5 mg orijinal silymarinin 50 mL etanol-su (75:25) sıvı sistemi içinde çözünmesi ile hazırlanmıştır. Bu stok çözelti kullanılarak 6 farklı standart çözelti (1, 2, 4, 8, 10 ve 20µg/mL) hazırlanmıştır. Standart çözeltilerin absorpsiyon değerleri 288 nm'de spektrofotometrede ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak silimarinin standart kalibrasyon grafiği hazırlanmıştır. Ekstre edilmiş silimarin tozunun silimarin içeriği hesaplanmıştır.

2.2.4 Karakterizasyon (Characterization)

Ekstrakt ve orjinal silimarin tozları ile mikrokapsüllerin fonksiyonel grupları FTIR (Shimadzu FTIR-8400S) spektrofotometresi ile belirlenmiştir. Spektrumlar KBr peletleri (1,5 mg kurutulmuş toz 150 mg KBr ile karıştırılarak pelet elde etmek için preslenmiştir) ile transmisyon modunda 4 cm^{-1} çözünürlükte 4000 ve 400 cm^{-1} arasında 32 tarama ile elde edilmiştir. Kristal yapıları XRD (Bruker D8 Advance Twin) cihazı ile ölçülmüştür. X-ışını kırınımı analizi, Ni ile filtrelenmiş Cu-K α radyasyonu kullanarak 6°dak^{-1} tarama hızında, 2θ açısı ile 5 ile 70° aralığında yapılmıştır.

Kristal boyutları Debye-Scherrer denklemi (Denklem 1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L = \frac{K \cdot \lambda}{B \cdot \cos \theta} \quad 1$$

Burada L kristal boyutu(nm), K şekil faktörü (0,9), λ Cu-K α ışınmasının dalga boyu (1,54 nm) ve B θ açısındaki maksimum pik yüksekliğinin yarısındaki pik genişliği (radyan) olarak alınmıştır (Pharas vd., 2008).

Morfolojileri optik mikroskop (Olympus BX60) ve örnekler altın kaplama yapılarak SEM (Fei Quanta Feg 250) ile incelenmiştir.

2.2.5 İn-Vitro İlaç Salımı (In-Vitro Drug Release)

Liyofilizatörde kurutulan silimarin yüklü örneklerin zamana bağlı salım miktarlarını belirlemek için salım deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneği simule mide ve bağırsak olmak üzere iki farklı ortam için hazırlanmıştır. Simule mide ortamı için gastritik sıvı 1000 mL 0,1 N HCl stok çözeltisi hazırlanmıştır. Simule bağırsak ortamı için yine 1000 mL PBS (pH=7,4) stok çözeltisi hazırlanmıştır.

Silimarin yüklü örneklerden 0,1 gram tartılarak 100 mL 0,1N HCl çözeltisine eklenmiştir. Çözeltiler oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda çok düşük hızda karıştırılarak 6 saat süresince belirli zaman aralıklarında 4 mL örnek alınıp 4 mL taze 0,1N HCl çözeltisi eklenerek tekrar 100 mL'ye tamamlanmıştır. Alınan örnekler santrifüjlenip, süpernatant ayrılıp UV analizi için bekletilmiştir. Yukarıda anlatıldığı şekilde PBS çözeltisi ortamında da aynı işlemler tekrar edilmiştir.

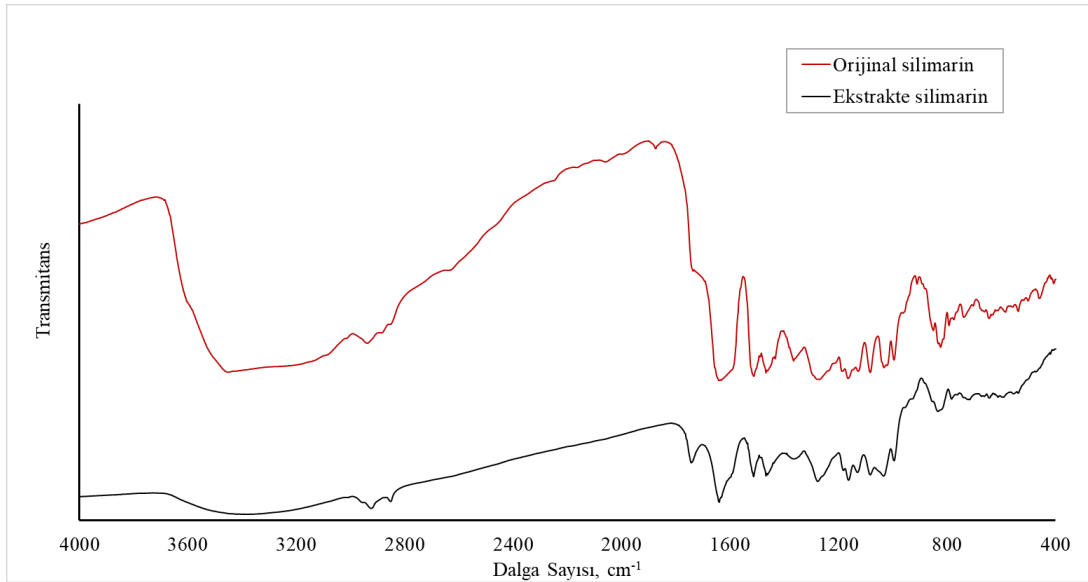
3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1 Ekstraksiyon verimi ve Silimarin İçeriği (Extraction Yield and Silimarin Content)

Öğütülmüş 10 gr *silybum marianum* tohumu örneğinden ekstraksiyon sonucunda 0,7275g ekstrakt elde edilmiş ve bu sonuca göre ekstraksiyon verimi %7,3 olarak hesaplanmıştır. Standart silimarin kalibrasyon grafiği kullanılarak ekstrakte tozun %57,8 silimarin içerdiği bulunmuştur. Silimarin içeriği dikkate alınarak *silybum marianum* tohumunun silimarin içeriği %4,21 olarak bulunmuştur. Literatürde bu değer %2,31 -%7,71 aralığındadır (Arampatzis vd., 2019).

3.2. Karakterizasyon (Characterization)

Şekil 1.'de ekstrakte ve orjinal silimarin tozlarının FTIR spektrumları verilmiştir. Spektrumlarda silimarinin karakteristik pikleri gözlenmiştir. Tablo 2.'de FTIR analizinde gözlenen fonksiyonel gruplar listelenmiştir. Silimarin, fenolik O-H gerilme frekansına karşılık gelen $3600-3200\text{ cm}^{-1}$ arasında geniş bir bant gösterir, metilen (CH₂) gruplarının asimetric ve simetric gerilme modları sırasıyla 2920 ve 2848 cm^{-1} 'de meydana gelir. Spektrumdaki IR bandı, yaklaşık 1740 cm^{-1} 'de görülen C=O gerilme titreşimlerine aittir. 1640 cm^{-1} 'de görülen bant C = C esneme titreşimine aittir. 1512 cm^{-1} tepe noktası (C = O) 'ya atanmıştır, 1462 cm^{-1} 'den itibaren görülen bant olefinik C-H bükülme titreşimine aittir ve 1274 , 1159 ve 1088 cm^{-1} 'de aromatik (C-O) gerilme titreşimi elde edilmiştir. Ayrıca 1032 cm^{-1} 'de C-O-C pik, 995 cm^{-1} 'de benzoat-CH titreşimi ve 833 cm^{-1} 'de aromatik halkanın CH titreşimi olarak atanmıştır. Gözlenen piklerin literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir (Bhuvaneswari vd., 2014; El-Batal vd., 2018). Grafiklerdeki piklerin dalga sayısı ekseninde aynı aralıkta olduğunu görebiliriz.

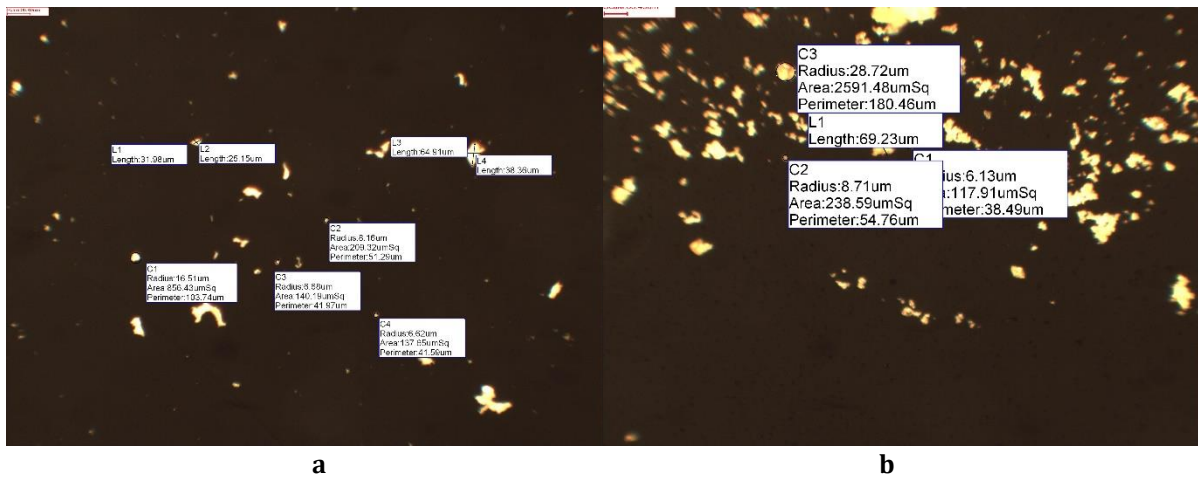


Şekil 1. Ekstrakte ve orjinal silimarin tozlarının FTIR spektrumları (FTIR spectra of extracted and orjinal silimarin powder)

Tablo 2. FTIR analizinde gözlenen fonksiyonel gruplar (Functional groups observed in the FTIR analysis)

Fonksiyonel grup	Ekstrakte Silimarin (cm ⁻¹)	Orjinal Silimarin (cm ⁻¹)
Fenolik O-H gerilme titreşimi	3500-3200	3500-3200
C-H metil halkası	2920-2849	2930-2881
C=O gerilme titreşimleri	1742	1738
C=C titreşimleri	1641	1631
C-O gerilme titreşimleri	1512	1512
Olefinik C-H bükme titreşimi	1462	1462
Aromatik C-O gerilme titreşimleri	1274-1159-1088	1271-1163-1084
C-O-C gerilme titreşimleri	1030	1031
Aromatik C-H gerilme titreşimler	995-833	995-823

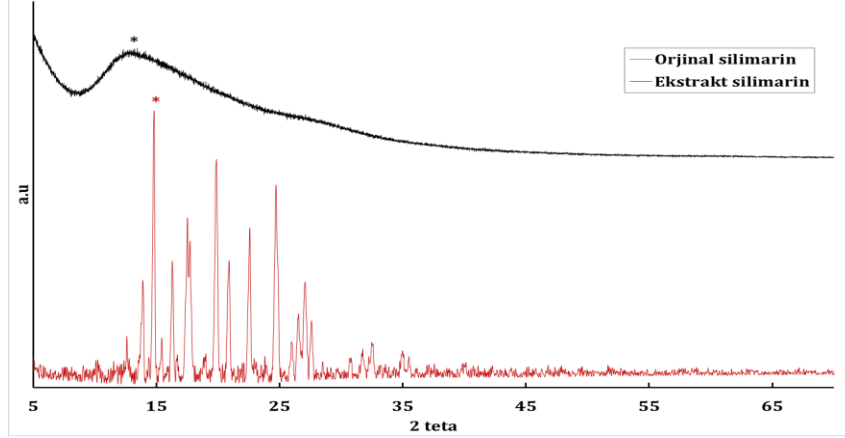
Şekil 2'de ekstrakte, orjinal silimarin tozlarının ve enjeksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen aljinat boncuklarının optik mikroskopta elde edilen görüntüleri verilmiştir. Parlak olarak görünen bölgeler silimarin tozlarının varlığını göstermektedir. Her iki örnekteki parçacıkların kümelenmeler oluşturduğu görülmektedir. Ekstrakt silimarin kümelerinin çapı 13-65µm arasında gözlemlenirken orjinal silimarin kümelerinin çapı 12-69µm arasında gözlemlenmiştir. Enjeksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen aljinat boncuklarının tane boyutunun yaklaşık 700µm olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Ekstrakt silimarin (a) ve orjinal silimarinin (b) optik mikroskop görüntüsü (ölçek çizgisi: 68,49µm) (Optical microscope image of (a) extracted, (b) original silimarin (scale bar: 68,49µm)).

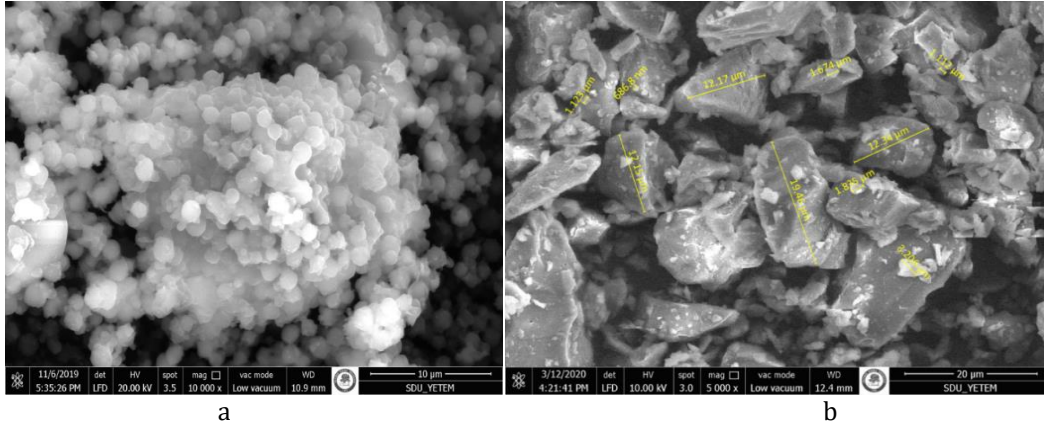
Şekil 3'te Orjinal ve ekstrakt silimarinin XRD desenleri verilmiştir. Orjinal silimarinin XRD deseni kristal yapısını

göstermektedir. 2 teta açısında 14,802 derecede verdiği en yüksek pik kırınımından Debye-Scherrer denklemi (Denklem 1) kullanılarak hesaplanan kristal boyutu 59,63nm olarak bulunmuştur. Ekstrakt silimarinin XRD deseninden amorf yapıda olduğu görülmüştür. 2 teta açısı 13,146 derecede verdiği en yüksek pik kırınımından hesaplanan kristal boyutu 1,25nm bulunmuştur. Silimarinin amorf durumu, ilaç çözünürlüğünün artmasına katkıda bulunabildiği Yang vd. (2015) tarafından rapor edilmiştir. Amorf yapının ve daha küçük kristal boyutun, suda çözünürlüğü zayıf olan silimarinin çözünürlüğünü artırarak daha fazla biyoyararlanım sağladığına inanılmaktadır.



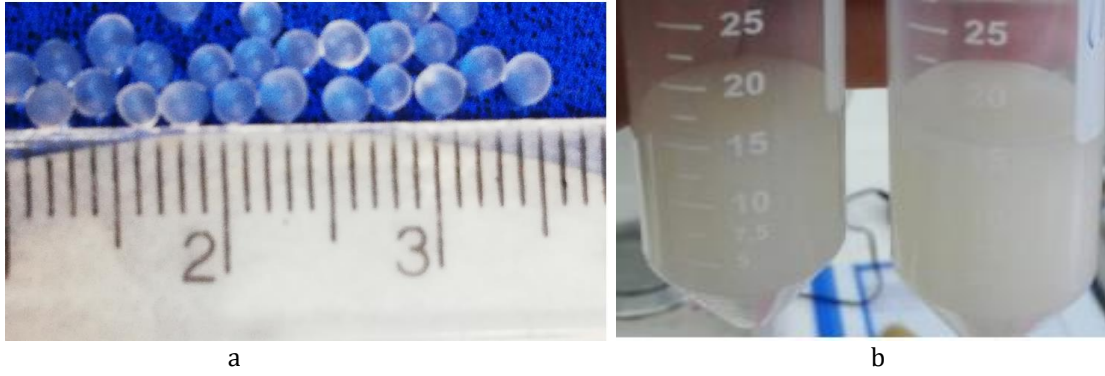
Şekil 3. Orjinal ve ekstrakt silimarinin XRD desenleri (XRD pattern of original and extracted silimarins powders)

Şekil 4'te ekstrakt ve orjinal silimarins tozlarının SEM görüntüleri verilmiştir. Ekstrakt silimarinin tane boyutu yaklaşık 1,5µm görülmektedir. Ekstrakte edilen silimarinin parçacıklarının küresel yapıda ve kümelenmiş olduğu görülmektedir. Orjinal silimarinin ise yüzey morfolojisinin düzgün olmadığı, çoğunlukla küçük olmak üzere farklı boyutlarda yaklaşık 0,82-0-20µm aralığında düzensiz köşeli parçacıkların mevcut olduğu ve heterojen olarak dağıldığı görülmüştür.



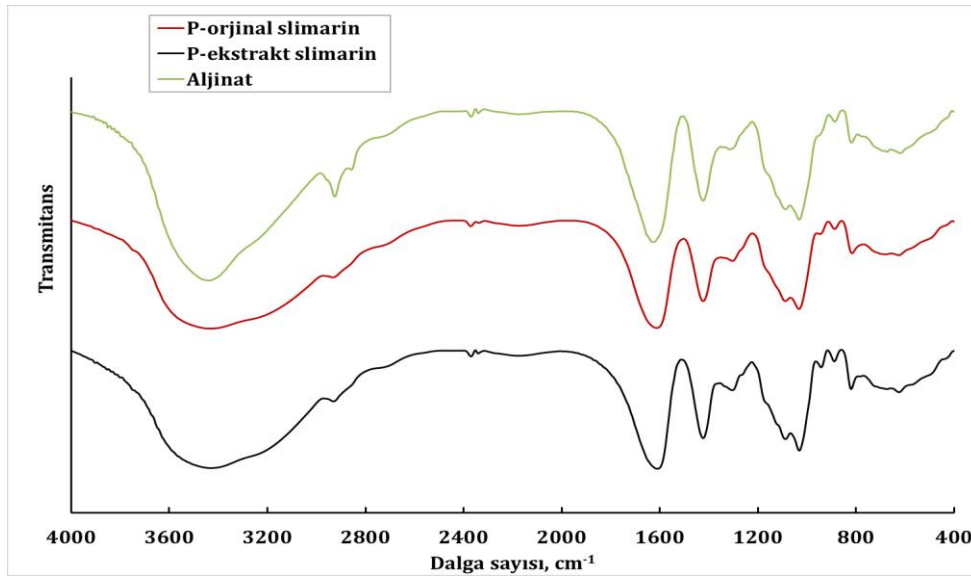
Şekil 4 (a)Ekstrakte, (b)orjinal silimarins tozlarının SEM görüntüleri (SEM image of (a) extracted, (b) original silimarins powders).

Şekil 5'te enjeksiyon yöntemi ile elde edilmiş aljinat boncukları ve püskürtme yöntemi ile elde edilmiş aljinat mikrokapsüllerinin filtrasyon sonrası görüntüleri verilmiştir. Enjeksiyon yöntemi ile elde edilen aljinat boncuklarının filtrasyon sonrasında yaklaşık 1,5 mm çapında ve düzgün küre şeklinde olduğu, püskürtme yöntemi ile elde edilen aljinat mikrokapsüllerinin ise filtrasyon sonrasında tane boyutun çok daha küçük olması nedeniyle filtre keki şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5. a) Enjeksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen aljinat boncuklarının b) püskürtme yöntemi kullanılarak elde edilen aljinat mikrokapsüllerinin filtrasyon sonrası görüntüleri (Post-filtration images of (a) alginate beads obtained using the injection method, (b) alginate microcapsules obtained using the spray method).

Püskürtme yöntemi kullanılarak aljinat ve silimarin yüklü aljinat mikrokürelerinin FTIR spektrumları Şekil 6'da gösterilmiştir. Aljinat (Ca-aljinat) spektrumunda, hidroksil, eter ve karboksilik fonksiyonel gruplarla ilgili önemli soğurma bantları gözlemlendi. O-H aljinat bağlarının gerilme titreşimleri $3000-3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında ortaya çıktı. Alifatik C-H'nin gerilme titreşimleri $2920-2850\text{ cm}^{-1}$ de gözlemlendi. Çapraz bağlanma reaksiyonu sonucu oluşan kalsiyum aljinattaki O-H bağlarının gerilme titreşimlerinin soğurma bölgesi Na-aljinat'dan daha dardır (Aslan vd., 2019; Daemi ve Barikani, 2012). P-ekstrakt silimarin ve P-orjinal silimarin örneklerinin spektrumunda $2920-2850\text{ cm}^{-1}$ de aljinatta daha keskin gözlenen alifatik C-H'nin gerilme titreşimlerinin azaldığı ve $3000-3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında daha geniş soğurma bantları olduğu gözlemlendi.

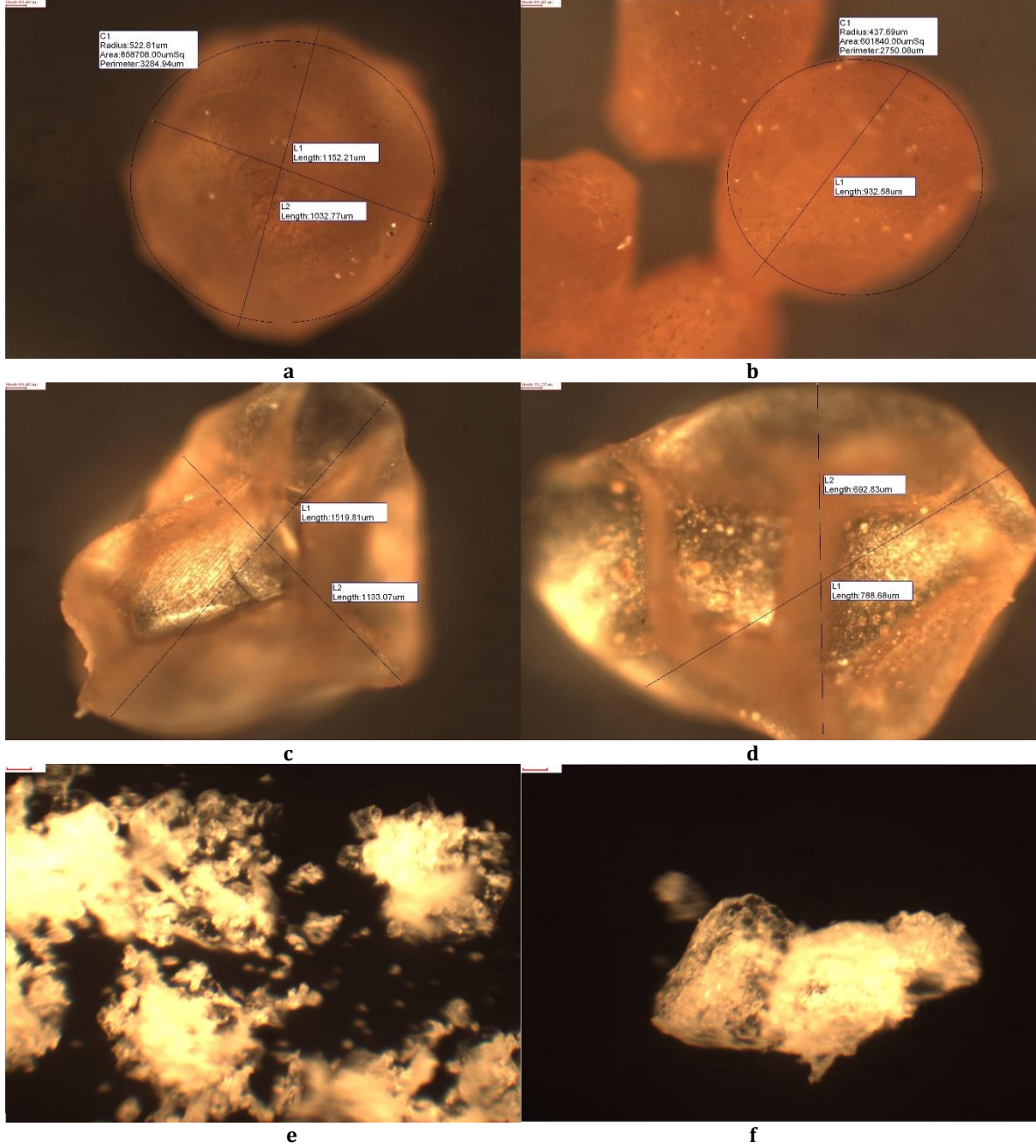


Şekil 6. Püskürtme yöntemi kullanılarak aljinat ve silimarin yüklü aljinat mikrokürelerinin FTIR spektrumları (Post-filtration images of (a) alginate beads obtained using the injection method, (b) alginate microcapsules obtained using the spray method).

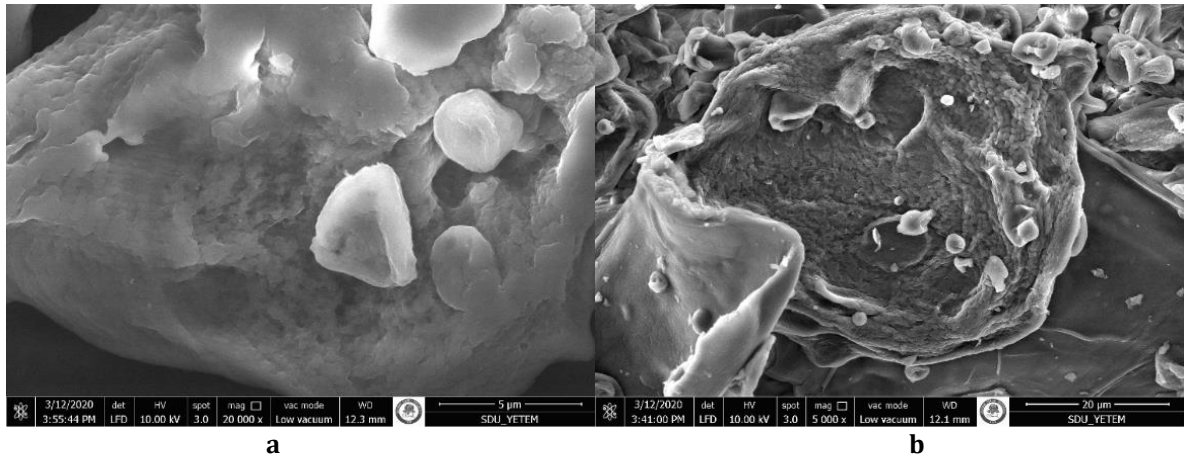
Şekil 7'te etüvde ve liyofilizatörde kurutulan silimarin yüklü aljinat boncuklarının optik mikroskopta elde edilen görüntüleri verilmiştir. Kurutma yönteminin tane düzenliliği ve yüzey morfolojisi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Etüvde kurutulan örneklerin (Şekil 7 a-b) şeklini koruduğu, liyofilizatörde kurutulan örneklerin (Şekil 7c-d) ise şeklinin bozulduğu anlaşılmaktadır. El-Sherbiny vd. (2011), yaptıkları çalışmada havada kurutulmuş mikro partiküllerin dondurarak kurutma yoluyla elde edilen mikro partiküllerinden daha kompakt, yoğun, nispeten daha küçük ve daha pürüzsüz görüldüğünü rapor etmişlerdir. Etüvde kurutulmuş elde edilen E-ekstrakt ve E-orjinal silimarin örneklerinin tane çapı sırasıyla $1045\mu\text{m}$ ve $875\mu\text{m}$ 'dir. Liyofilizatörde kurutulmuş elde edilen E-ekstrakt ve E-orjinal silimarinin tane çapı sırasıyla $1519\mu\text{m}$ ve $788\mu\text{m}$ 'dir. Liyofilizatörde kurutulan ve püskürtme yöntemi ile hazırlanan P-ekstrakt silimarin (Şekil 7-e) ve P-orjinal silimarin (Şekil 7-f) örneklerde kümelenme görülmektedir. Kümelerin boyutu P-ekstrakt silimarin ve P-orjinal silimarin için sırasıyla $5-90\mu\text{m}$; $30-280\mu\text{m}$ aralığındadır.

Şekil 8'de püskürtme yöntemi kullanılarak enkapsüle edilen ve liyofilizatörde kurutulan ekstrakte ve-orjinal silimarin yüklü kapsüllerin SEM görüntüleri verilmiştir. Örnekler liyofilize edildiğinden belirli bir derecede

kümelene meydana gelse de küresel veya elipsoidal bir şekil aldıkları görülebilir. Bu durum Ji vd. (2019)'nin yaptıkları çalışmada da gözlenmiştir. Mirokapsüllerin yüzeylerinin gözenekli olduğu görülmüştür. Gözenek çapları yaklaşık 0,1-0,5 μm aralığındadır. P-ekstrakt silimarinin tane boyutu yaklaşık 3-20 μm aralığında, P-orjinal silimarinin ise 0,9-60 μm aralığında gözlenmiştir.



Şekil 7. Enjeksiyon yöntemi ile elde edilen silimarın yüklü aljinat boncuklarının etüvde kurutulmuş a) E-ekstrakt silimarın, b) E-orjinal silimarın, lyofilizatörde kurutulmuş c) E-ekstrakt silimarın d)E-orjinal silimarın e) P-ekstrakt silimarın, f)P-orjinal silimarının optik mikroskopta elde edilen görüntüleri (ölçek çizgisi a ve b için 68,49 μm , c ve d için 36,23 μm , e-f için 18,05 μm) (Optical microscope images of silymarin loaded alginate beads obtained by injection method; Oven dried (a) E-extract silymarin, (b) E-original silymarin, lyophilizer dried (c) E-extract silymarin (d) E-original silymarin (e) P-extract silymarin, (f) P-original silymarin (68.49 μm for scale lines a and b, 36.23 μm for c and d, 18.05 μm for e-f)



Şekil 8. Püskürtme yöntemi kullanılarak enkapsüle edilen a-ekstrakt, b-orijinal silimarin yüklü kapsüllerin SEM görüntüleri (SEM images of (a) extracted, (b) original silymarin loaded capsules encapsulated by the spray method).

3.3 Tutuklama Verimi (Entrapment Efficiency)

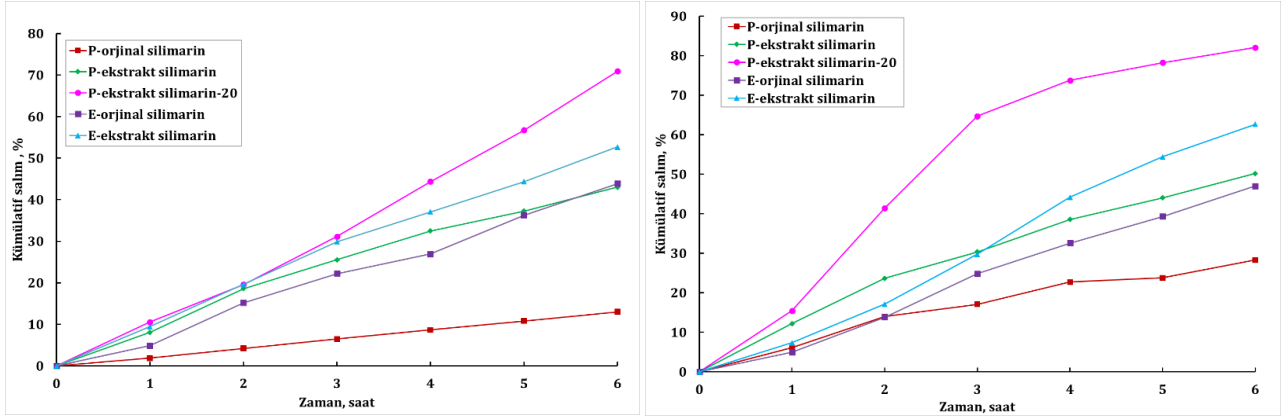
Enkapsülasyon sonrasında mikrokapsüllerin tutuklama verimleri hesaplanmıştır. Tablo 3.'de farklı yöntemlerle enkapsülasyon yapılan örneklerin silimarin tutuklama verimleri ve buna göre hesaplanan tutuklanan silimarin miktarları verilmiştir. Örneklerin tutuklama verimi %83,14-%91,27 aralığında bulunmuştur. P-orijinal silimarin örneği %91,27 ile en yüksek tutuklama verimine sahiptir. Enkapsülasyon işlemi P-orijinal silimarin ve P-ekstrakt silimarin örneklerinde 50 mg silimarin tozu kullanılmıştır. Ekstrakt silimarin tozunun silimarin içeriği ise %57,8 olduğundan daha az miktarda silimarin tutuklanmıştır. Püskürtme ile yapılan enkapsülasyonda enjeksiyon ile yapılabildiği gibi tane boyutları çok daha küçük olduğundan tutuklama verimleri arasında da fark büyük olmuştur. Literatürde mikro boncukların silimarin tutuklama verimi % 72.52±% 2.53 ile % 92.39±% 4.02 arasında bildirilmiştir (Sharma vd., 2018).

Tablo 3. Farklı yöntemlerle enkapsülasyon yapılan örneklerin silimarin tutuklama verimleri (Silymarin entrapment efficiency of samples encapsulated by different methods).

Örnek Kodu	Tutuklama verimi, [%]	Tutuklanan Silimarin Miktarı, [mg]
P-orijinal silimarin	91,27	45,64
P-ekstrakt silimarin	85,76	24,78
P-ekstrakt silimarin-20	85,76	9,91
E-orijinal silimarin	86,94	43,47
E-ekstrakt silimarin	83,14	41,57

Simule mide (0,1N HCl) ortamında 6 saat süresince yapılan silimarin salım sonuçları Şekil 9-a'da verilmiştir. Örneklerin kümülatif silimarin salımı %13-%71 aralığındadır. En çok kümülatif salım miktarı %71 ile P-ekstrakt silimarin-20'de gözlenmiştir. P -ekstrakt silimarininin %43, P-orijinal silimarininin %13, E-ekstrakt silimarininin %52,6, E- orijinal silimarininin %43,8 bulunmuştur.

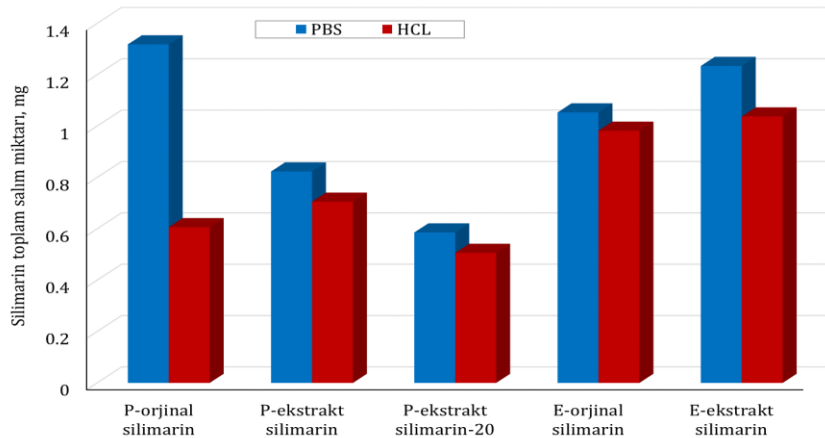
Simule bağırsak (PBS) ortamında 6 saat süresince yapılan silimarin salım sonuçları Şekil 9-b'de verilmiştir. Örneklerin PBS ortamında kümülatif silimarin salımı %28,3-%82 aralığındadır. En çok kümülatif salım miktarı %82 ile P-ekstrakt silimarin-20'de gözlenmiştir. P -ekstrakt silimarininin %50,2, P-orijinal silimarininin %28,3, E-ekstrakt silimarininin %62,6, E-orijinal silimarininin %47 bulunmuştur.



Şekil 9. Hazırlanan örneklerin a-0,1N HCL ortamında b-PBS salım grafiği (Percent cumulative silimarin release plots of prepared samples in (a) 0.1N HCL (b) PBS media).

Şekil 9 ekstrakt silimarin ve saf silimarinin kapsüllenmiş tane boyutunun; silimarin miktarının, kapsülleme yönteminin ve tutuklama kapasitesinin, simule mide(0,1N HCL) ve bağırsak (PBS) ortamlarında salımı üzerine etkisini göstermektedir. Az miktarda silimarin yüklü örnekte (P-ekstrakt silimarin-20) en çok salım gerçekleşirken en yüksek silimarin yüklü örnekte (P-orjinal silimarin) en düşük salım gerçekleşmiştir. Enjeksiyon yöntemi kullanılarak hazırlanan hem ekstrakt (E-ekstrakt silimarin) hem de orjinal silimarin (E-orjinal silimarin) daha yüksek salım gerçekleştirmiştir. Tane boyutu daha küçük ve amorf yapıda olan ekstrakt silimarin tozunda orjinal silimarin tozuna göre her iki kapsülasyon yönteminde de daha fazla salım gözlenmiştir.

Silimarin yüklü örneklerin simule mide (0,1 N HCL) ve bağırsak (PBS) ortamlarında gerçekleştirilen salım deneyleri sonunda toplam silimarin salım miktarının karşılaştırılması Şekil 10 da gösterilmiştir. Tüm örneklerde simule bağırsak (PBS) ortamında daha yüksek silimarin salımı gözlenmiştir. Simule mide (0,1 N HCL) ve bağırsak (PBS) ortamlarında toplam silimarin salım miktarı sırasıyla P-orjinal silimarinin 0,60 mg ve 1,31 mg, P-ekstrakt silimarinin 0,70 mg ve 0,82 mg, P-ekstrakt silimarin-20'nin 0,50 mg ve 0,58 mg, E-ekstrakt silimarinin 1,03 mg ve 1,23 mg, E-ekstrakt silimarinin 0,98 mg ve 1,05 mg olarak bulunmuştur. Enjeksiyon ile enkapsülasyon yönteminde tutuklama kapasitesi (E-orjinal silimarin) püskürtme yöntemi ile hazırlanan (P-orjinal silimarin) örnekte daha düşük olmasına rağmen her iki ortamda da daha yüksek silimarin salımı gerçekleşmiştir. Bu durum ekstrakte ve orjinal silimarin tozlarının kristal yapılarından kaynaklandığı düşünülmektedir. XRD desenlerinden ekstrakt silimarin tozunun amorf yapıda olduğu göstermiştir. Salım sonuçları da bunu desteklemiştir. Enjeksiyon yönteminde tane boyutu ve gözenekleri daha büyük olduğundan daha fazla silimarin salınmıştır. Aynı şekilde ekstrakt silimarin tozunun tane boyutu daha küçük ve enjeksiyon yönteminde kapsül tane boyutu ve gözenekleri daha büyük olduğundan E-ekstrakt silimarinin salım miktarı P-ekstrakt silimarininden fazla bulunmuştur.

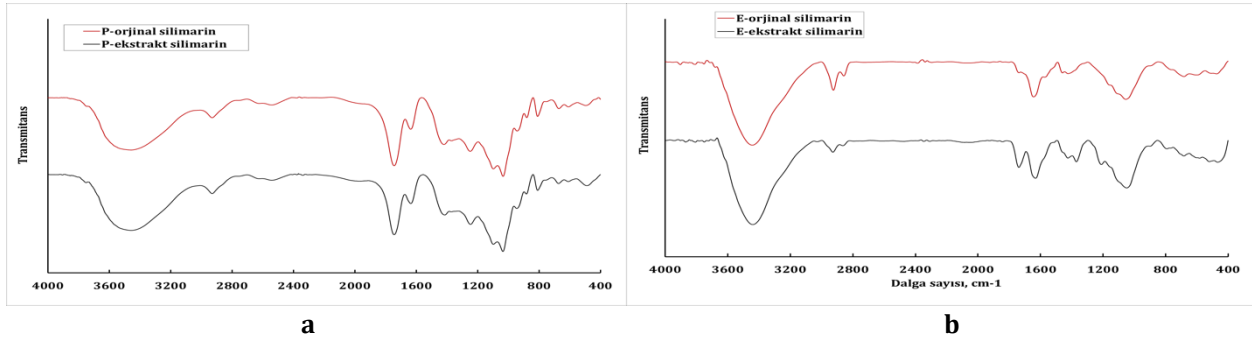


Şekil 10. Silimarin yüklü örneklerin PBS ve 0,1 N HCL ortamlarında gerçekleştirilen salım deneyleri sonunda toplam silimarin salım miktarının karşılaştırılması (Comparison of the amount of total silimarin release at the end of the release experiments of silimarin loaded samples in PBS and 0.1 N HCL media).

Püskürtme yöntemiyle hazırlanan silimarin yüklü mikrokürelerin simule mide (0,1N HCL) ortamında gerçekleştirilen salım deneylerinden sonra yapılan FTIR analizi sonuçları Şekil 11-a'da verilmiştir. Alifatik C-H'nin gerilme titreşimlerinin azaldığı ve 3200-3600 cm^{-1} aralığında gözlenen soğurma bantlarının daraldığı ve 2526 cm^{-1} de pik oluştuğu gözlenmiştir. Silimarine ait olan 1740 cm^{-1} de görülen C=O gerilme titreşimleri 1744 cm^{-1} de,

1640 cm^{-1} de ki C = C esneme titreşimi piki 1636 cm^{-1} 'e kaymıştır. 1242 cm^{-1} de gözlenen pik C-O gerilme titreşimi olarak atanmıştır.

Enjeksiyon yöntemiyle hazırlanan silimarin yüklü mikrokürelerin simule bağırsak (PBS) ortamında gerçekleştirilen salım deneylerinden sonra yapılan FTIR analizi sonuçları Şekil 11-b'de verilmiştir. 3200–3600 cm^{-1} aralığında gözlenen soğurma bantlarının daraldığı, 2924 cm^{-1} ve 2856 cm^{-1} 'deki piklerin belirgenleştiği gözlenmiştir. Salım öncesi (Şekil 6) 1742 cm^{-1} 'de gözlenen pik 1390 cm^{-1} ve 1212 cm^{-1} 'e kaymıştır. CH_2 gerilme titreşimlerinin görüldüğü 1426 cm^{-1} 'deki pik şiddeti azalmıştır. Simule mide (0,1N HCL) ortamında salınan örneklerde gözlenen 1740 cm^{-1} piki PBS de azalırken, 1636 cm^{-1} piki artmıştır. Asidik pH'ta, aljinatın karboksil grupları -COOH biçimindedir. -COOH tarafından oluşturulan H-bağlanması, polimer zincirleri arasında ağır etkileşimlere neden olur. Net yükleri ve elektrostatik itmeyi azaltan bu reaksiyon, daha yavaş salınma yol açar. Asidik koşulların aksine, hapsedilmiş fenolik maddelerin salım hızı alkali koşullar altında artar, bu da aljinatın alkali pH'a duyarlılığını gösterir. Alkalin ortamda, karboksil grupları iyonize hale gelir (-COO-), asidik ortamın aksine, elektrostatik itme, aljinat zincir düzenlemelerini değiştirir ve kabuğun şişmesi meydana gelir (Gunasekaran vd., 2007; Deng et al., 2010, Yousefdoost vd., 2019). FTIR sonuçları da (Şekil 11) bunu desteklemiştir.



Şekil 11. 6 saat (a) 0,1 N HCL ortamında, (b)PBS ortamında silimarin salımı gerçekleştirilmiş örneklerin FTIR spektrumları (FTIR spectra of samples in which silimarin was released in 6 hours (a) 0.1 N HCL medium, (b) PBS medium).

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmanın amacı *silybum marianum* tohumundan ekstrakte edilen silimarinin ve orjinal silimarinin mikroenkapsülasyonu ile biyoyararlanımın artırılmasıdır. *Silybum marianum* tohumuna çözücü ile ekstraksiyon yöntemi uygulanarak %7,3 verimle silimarin tozu elde edildi. Ekstrakt silimarin tozunun silimarin içeriği %57,8, *silybum marianum* tohumunun silimarin içeriği %4,21 bulunmuştur. Ekstrakt ve orjinal silimarin, FTIR, Optik Mikroskop, XRD ve SEM ile karakterize edilmiştir. Püskürtme ve enjeksiyon yöntemleri ile ekstrakt ve orjinal silimarin tozları aljinat ile enkapsüle edilmiştir. Enkapsülasyon sonrasında mikrokapsüllerin tutuklama verimleri %83,14-%91,27 aralığında bulunmuştur. Kurutma yönteminin örneklerin tane düzenliliği ve yüzey morfolojisi üzerindeki etkisi optik mikroskop ile gözlenmiştir. Etüvde kutulan örneklerin şeklini koruduğu, liyofilizatörde kurutulan örneklerin ise şeklinin bozulduğu görülmüştür.

Simule mide (0,1N HCl) ortamında kümülatif silimarin salımı %13-%71 aralığında, simule bağırsak (PBS) ortamında kümülatif silimarin salımı %28,3-%82 aralığındadır. Tüm örneklerde simule bağırsak (PBS) ortamında daha yüksek silimarin salımı gözlenmiştir. Salım deneyleri sonrasında örneklerin fonksiyonel gruplarındaki değişimler FTIR ile belirlenmiştir. Aljinatın pH duyarlılığı özelliğinden dolayı PBS ortamında daha çok salım gerçekleşmiştir. Bu durumda silimarinin biyoyararlanımı artırma potansiyeline sahip olduğu hipotezini doğruladığını göstermiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBY 2019-7111 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Noconflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ameya Sharma, Vivek Puri, Vandita Kakkar, Inderbir Singh, 2018. "Formulation and Evaluation of Silymarin-Loaded Chitosan-Montmorilloite Microbeads for the Potential Treatment of Gastric Ulcers."
- Arampatzis, D. A., A. C. Karkanis and N. G. Tsiropoulos, 2019. "Silymarin content and antioxidant activity of seeds of wild *Silybum marianum* populations growing in Greece." *Annals of Applied Biology* 174(1): 61-73.
- Aslan K., Çoban O., Alp F.B., 2019 Yüksek Konsantrasyonlu Borik Asit Gideriminde Aljinat Bazlı Kompozit Adsorbent Kullanımı, Uluslararası Bor Sempozyumu-Boron, 2019, Nevşehir, Türkiye.
- Beg, S., S. Javed and K. Kohli, 2010. "Bioavailability enhancement of coenzyme Q10: an extensive review of patents." *Recent Pat Drug Deliv Formul* 4(3): 245-255.
- Bhuvaneshwari R., Chidambaramathan N. and J. K., 2014. "Hepatoprotective Effect of *Embilica officinalis* and Its Silver Nanoparticles Against CCl4 Induced Hepatotoxicity in Wistar Albino Rats." *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* 9(1): 223-235p.
- Deng, K., Zhong, H., Tian, T., Gou, Y., Li, Q., Dong, L., 2010. "Drug release behavior of a pH/temperature sensitive calcium alginate/poly (N-acryloylglycine) bead with coreshelled structure". *Express Polym. Lett.* 4 (12), 773-780.
- El-Batal, A., S. Elmenshawi, A. Ali and E. Eldbaiky, 2018. "Preparation and Characterization of Silymarin Nanocrystals and Phytosomes with Investigation of their Stability using Gamma Irradiation." *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research* 52: S174-S183.
- El-Sherbiny, I. M., M. Abdel-Mogib, A.-A. M. Dawidar, A. Elsayed and H. D. C. Smyth, 2011. "Biodegradable pH-responsive alginate-poly (lactic-co-glycolic acid) nano/micro hydrogel matrices for oral delivery of silymarin." *Carbohydrate Polymers* 83(3): 1345-1354.
- Ercan P., El S. N., 2010., "Koenzim Q10'un Beslenme Ve Sağlık Açısından Önemi Ve Biyoyararlılığı", *Tübbav Bilim Dergisi*, Cilt:3, Sayı:2, Sayfa:192-200.
- Gunasekaran, S., Ko, S., Xiao, L., 2007. "Use of whey proteins for encapsulation and controlled delivery applications". *J. Food Eng.* 83, 31-40.
- Huseini, H. F., B. Larijani, R. Heshmat, H. Fakhrzadeh, B. Radjabipour, T. Toliat and M. Raza, 2006. "The efficacy of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. (silymarin) in the treatment of type II diabetes: a randomized, double-blind, placebo-controlled, clinical trial." *Phytotherapy Research* 20(12): 1036-1039.
- Javed, S., K. Kohli and A. Ali, 2011. "Reassessing Bioavailability of Silymarin." *Alternative medicine review : a journal of clinical therapeutic* 16: 239-249.
- Javed, S., K. Kohli and W. Ahsan, 2016. "Solubility and Dissolution Enhancement of Silymarin with Fulvic Acid Carrier." *International Journal of Drug Development & Research* 8: 9-14.
- Matsuda, T ve ark., 2005. "Silymarin protects pancreatic beta cells against cytokine-mediated toxicity: implication of c-Jun NH2-Terminal kinase and janus kinase/signal transducer and activator of transcription pathways". *Endocrinology*, 146(1): 175-185.
- Ö.Doğanoğlu, A.Gezer, C.Yücedağ, 2006. "Göller Bölgesi-Yenişarbademli Yöresi'nin Önemli Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitki Taksonları Üzerine Araştırmalar." *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 10-1: 66-73
- Özbek, Z., A. & Ergönül, P., G., 2017. "A Review on Encapsulation of Oils". *CBU J. of Sci.*, Volume 13, Issue 2, 2017, p 293-309.
- Pandey, R. and G. K. Khuller, 2004. "Chemotherapeutic potential of alginate-chitosan microspheres as anti-tubercular drug carriers." *J Antimicrob Chemother*, 53(4): 635-640.
- Post-White, J., E. J. Ladas and K. M. Kelly, 2007. "Advances in the Use of Milk Thistle (*Silybum marianum*)." *Integrative Cancer Therapies* 6(2): 104-109.
- Rainone, F., 2005. "Milk thistle." *Am Fam Physician* 72(7): 1285-1288.
- Ramakrishnan G, Augustine TA, Jagan S, Vinodhkumar R, Devaki T. 2007, Effect of silymarin on Nnitrosodiethylamine induced hepatocarcinogenesis in rats. *Exp Oncol*; 29:39-44.
- Saller, R., R. Meier and R. Brignoli (2001). "The use of silymarin in the treatment of liver diseases." *Drugs*, 61(14): 2035-2063
- Sharma, A., V. Puri, V. Kakkar and I. Singh (2018). "Formulation and Evaluation of Silymarin-Loaded Chitosan-Montmorilloite Microbeads for the Potential Treatment of Gastric Ulcers." *Journal of Functional Biomaterials*, 9(3): 52.
- Serçe, A., B. Ç. Toptancı, S. E. Tanrikut, S. Altaş, G. Kızıl, S. Kızıl and M. Kızıl, 2016. "Assessment of the Antioxidant Activity of *Silybum marianum* Seed Extract and Its Protective Effect against DNA Oxidation, Protein Damage and Lipid Peroxidation." *Food technology and biotechnology*, 54(4): 455-461.
- Sheela, N., M. A. Jose, D. Sathyamurthy and B. N. Kumar, 2013. "Effect of silymarin on streptozotocin-nicotinamide-induced type 2 diabetic nephropathy in rats." *Iran J Kidney Dis* 7(2): 117-123.
- Soto, C., 2003. Silymarin increases antioxidant enzymes in alloxan-induced diabetes in rat pancreas. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 136, 205-212.
- Velussi, M., A. M. Cernigoi, A. De Monte, F. Dapas, C. Caffau and M. Zilli, 1997. "Long-term (12 months) treatment with an antioxidant drug (silymarin) is effective on hyperinsulinemia, exogenous insulin need and malondialdehyde levels in cirrhotic diabetic patients." *J Hepatol*, 26(4): 871-879.
- Yang, G., Y. Zhao, N. Feng, Y. Zhang, Y. Liu and B. Dang, 2015. "Improved dissolution and bioavailability of silymarin delivered by a solid dispersion prepared using supercritical fluids." *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10(3): 194-202.
- Yousefdoost, S., F. Samadi, S. M. Jafari, S. S. Ramezani, S. Hassani and F. Ganji, 2019. "Application of nanoencapsulated silymarin to improve its antioxidant and hepatoprotective activities against carbon tetrachloride-induced oxidative stress in broiler chickens." *Livestock Science*, 228: 177-186.
- Zhang, Z.-B., Z.-G. Shen, J.-X. Wang, H.-X. Zhang, H. Zhao, J.-F. Chen and J. Yun, 2009. "Micronization of silybin by the emulsion solvent diffusion method." *International Journal of Pharmaceutics*, 376(1): 116-122.



DÜŞÜK SICAKLIĞA SAHİP JEOTERMAL KUYULARDA GÜÇ ÜRETİMİ EKSERJETİK PERFORMANS ANALİZİ

Mehmet ALTINKAYNAK^{1*}, Doğançan ÇELİK²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Jeotermal Enerji,
Enerji,
Ekserji,
n-pentane,
Therminol 72.*

Öz

Düşük sıcaklığa sahip bir jeotermal kuyu destekli bir ORC çevrimi incelenmiş ve çalışma akışkanı olarak n-pentane seçilmiştir. N-pentane akışkanının kazanda direkt olarak ısıtılması işlemi için Terminol 72 ısı transfer yağı seçilmiştir. Yağ kazanda ısıtılmadan önce, jeotermal kuyudan alınan düşük kaynak ısı ile ön ısıtılmaya tutulmuştur. Jeotermal kuyu sıcaklığı 80°C olan bir kuyu kaynağına Terminol 72 ısı transfer yağı ile sıcaklık artışı sağlanarak bir ORC çevrimi incelenmiştir. Bu çevrimde türbin sıcaklığı 170°C'ye kadar çıkarılmaya çalışılmıştır. Yağ kazanı kapasitesi 4000 kW alınarak, güç üretimi 806.2 kW olarak hesaplanmıştır. N-pentane akışkanının 1000 kPa basınçta türbin girişinde sistem verimi %14 iken buna bağlı olarak sistemin ekserji verimi de aynı basınçta %34 olduğu hesaplamalarda bulunmuştur. Sistemin toplam ekserji yıkımları incelendiğinde kazanda %74, türbinde %16, ısı değiştiricilerinde %9 Terminol ve n-pentane pompasında %1 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada düşük sıcaklığa sahip jeotermal kuyuların enerji verimlerinde ısı ön ısıtma işlemiyle veriminde artış olacağı gösterilmiştir.

POWER GENERATION EXERGETIC PERFORMANCE ANALYSIS IN GEOTHERMAL WELLS WITH LOW TEMPERATURE

Keywords

*Geothermal Energy,
Energy,
Exergy
n-pentane,
Therminol 72.*

Abstract

An ORC cycle with a low temperature geothermal well support was examined and n-pentane was chosen as the working fluid. Therminol 72 heat transfer oil was chosen for the direct heating of the N-pentane fluid in the boiler. Before the oil was heated in the boiler, it was preheated with low source heat taken from the geothermal well. An ORC cycle was examined by providing a temperature increase with Therminol 72 heat transfer oil to a well source with a geothermal well temperature of 80 °C. In this cycle, the turbine temperature was tried to be increased up to 170 °C. By taking the oil boiler capacity 4000 kW, power generation is calculated as 806.2 kW. While the system efficiency of N-pentane fluid at turbine inlet at 1000 kPa pressure is 14%, the exergy efficiency of the system is 34% at the same pressure. When the total exergy destructions of the system were examined, it was found as 74% in the boiler, 16% in the turbine, 9% in the heat exchangers and 1% in the n-pentane pump. In this study, it has been shown that the energy efficiency of low temperature geothermal wells will increase with the heat preheating process.

Alıntı / Cite

Altinkaynak, M., Çelik, D., (2021). Düşük Sıcaklığa Sahip Jeotermal Kuyularda Güç Üretimi Ekserjetik Performans Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 574-587.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Altinkaynak, 0000-0003-2434-576X
D. Çelik, 0000-0002-9492-3062

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.04.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	18.07.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.12.2020
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmetaltinkaynak@isparta.edu.tr, +90-246-214-6784

1. Giriş (Introduction)

İnsanlığın varoluşundan bugüne dek en önemli gereksinimlerinin başında enerji ihtiyacı gelmektedir (Islam ve Hasanuzzaman, 2020). Dolayısıyla bu enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için en başta fosil kaynaklar sonrasında da yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır (Leonard vd., 2020). Fosil yakıtların tükenmesi çevresel etki konusunda artan endişe insanları temiz ve verimli enerji teknolojileri alanına yöneltmiştir (Colonna vd., 2015).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji, enerji üretimi için geleceğin alternatif enerji kaynaklarından biridir (Cetin vd., 2019). Jeotermal enerji, dünya yüzeyinin yeraltı katmanlarından alınan bir enerji türüdür ve ticari amaçlı olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (Aneke ve Menkiti, 2016). Dünya jeotermal enerji kapasitesinin 2020 yılında 21 GW seviyelerine ulaşacağı ve dünya enerji tüketiminin 2050 yılında %8,3'ünü jeotermal enerjinin sağlayacağı ön görülmektedir (Bertani 2016).

Literatürde düşük sıcaklığa sahip jeotermal kuyular ve santraller için birçok performans ve güç üretim analizleri mevcuttur. Bu konuda yapılmış çalışmalara bakıldığında; Leveni vd. (2019) çalışmalarında Torre Alfina jeotermal santralini incelemişlerdir. Bu santral için, LiBr çözeltilisi kullanarak absorpsiyonlu çevrim ve yine organik rankine çevrimi kullanarak güç üretimini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda enerji kullanım faktörü %46,2 ve %27,7 ekserji verimlilik olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları analizlerde de ekserji yıkımları ise ORC (Organik Rankine cycle) ekonomizerin de %8,6, jeneratörde %6,3, absorber de ise %5,5 olarak hesaplamışlardır. Başoğul (2019) yaptığı çalışmada bir jeotermal santralin enerji ve ekserji analizlerini yapmış ve bu santral için çevresel etkiyi de incelemiştir. Jeotermal santralin çevresel etkisi, ekserji ekonomik etkisi ve toplam çevresel faktörleri arasındaki bağıl farkları sırasıyla %122, %2,5, 2285 Pts/saat olarak bulmuştur. Ayrıca çevresel etkinin yaklaşık %98'i jeotermal santralin ekipmanlarından meydana geldiği analiz yöntemi ile göstermiştir. Ayhan vd (2019) yaptıkları çalışmalarında düşük sıcaklı jeotermal kuyu suyunun güneş kollektöründen geçirilerek ORC döngüsüyle elektrik üretimi ve ev ısıtmasında kullanılmasını amaçlamışlardır. Çalışma sıvısı olarak n-pentan, n-bütan, n-hekzan kullanmışlardır. Jeotermal saha olarak çalışmalarını Kula (63 °C), Saraycık (74 °C), Turgutlu (86 °C) bölgesinde yapmışlardır. Maksimum enerji ve ekserji verimliliği Turgutlu'da %6,92 ve %21,06 iken en düşük enerji ve ekserji verimini de %0,2 ve %2,19 olarak Kula' da bulmuşlardır. Maksimum ve minimum elektrik üretimini 19.46 kW (Turgutlu) ve 0,6168kW (Kula) olarak hesaplamışlardır. Koroneos vd. (2017) Yunanistan'daki Nisyros adasındaki jeotermal santralinin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Santralin fizibilitesinin %41 kısmının ekserji verimliliğini %12,8 olarak bulmuşlardır. Nami vd. (2017) Çift akışkanlı organik rankine çevrimi ile çalışan bir jeotermal santralin ekserji analizini yapmışlardır. Sistem bileşenlerin ekserji yıkımlarını ekipman bazında incelediklerinde düşük basınçlı buhar jeneratörünün %38,11, yüksek basınçlı buhar jeneratörünün %29,98, kondenserin %15,93 olarak bulmuşlardır. Ancak ileri seviye de ekserji analizini yorumladıklarında kondenserde sadece yıkımın %15 mertebesinde önlenebileceğini ifade etmişlerdir. Bina vd. (2018) çalışmalarında Sabalan jeotermal santralini incelemişlerdir. Santrale yaptıkları enerji ve ekserji analizine bağlı olarak ekserji ekonomik ve optimizasyon uygulamışlardır. Double (çiftli) flaş çalışma sistemleri için enerji verimliliği sırasıyla %16,26 dan %17,73 ekserji verimliliği ise %40,06 dan %50,89 iyileştirme olduğunu yöntemsel olarak ifade etmişlerdir. El-Emam ve Dincer (2013) yaptıkları çalışmada jeotermal santrallerde yeni bir tip rejenaratifli bir sistem öne sürmüşlerdir. Santralin türbin çıkışından aldıkları ıslak buharı rejenatörde ön ısıtıcı olarak kullanmış ve buna bağlı olarak enerji ve ekserji performansındaki değişimlerden bahsetmişlerdir. Bu yeni tip sistem önerisi için, enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla %16,37 ve %48,8 olarak bulmuşlardır. Ayrıca santralin termoeconomik analizini de yapmışlardır. Isı değiştiricilerinde optimizasyon üzerine çalışmalarının olduğu bu analizde 5 MWe alınabileceğini de belirtmişlerdir. Behnam vd. (2018) yaptıkları çalışmalarında Tatlı su hazırlama, ısıtma (sıcak su) ve elektrik üretimi için düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklarla yönlendirilen küçük ölçekli bir trijenerasyon sisteminin performansını termodinamik ve ekonomik açıdan araştırmışlardır. Çalışmaların sonucunda 100 °C jeotermal su kullanılarak önerilen sistem, 0,662 kg/s tatlı su, 161,5 kW güç ve 246 kW ısı yükü üretim kapasitesine sahip olduğunu hesaplamışlardır. Kanoglu (2002) çalışmasında 12,4 MW bir jeotermal santralin ekserji analizini yapmıştır. Tesisteki ekserji yıkımının nedenleri kondenserde kaybedilen akışkan, ön ısıtıcı, türbine bağlı olan pompada ve jeotermal kaynakta meydana geldiğini gözlemiştir. Ekserji yıkımları sırasıyla %22,16, %13,0, %13,9, %14,8 olarak bulmuştur. Cimşit (2019) çalışmasında jeotermal ısı kaynaklı organik rankine çevriminin farklı organik akışkanlar için termodinamik analizini yapmıştır. Çalışmasında kullandığı akışkanlar R-134a, R-123, R-124, R-125, R-404A, R-407C, R-410A, R- 600, R-600a ve R-290 olarak seçmiştir. En yüksek güç üretimi için termal verim değerinin R-123 akışkanına ait iken en düşük ise R-125 akışkanı olduğunu gözlemlemiştir.

Bu çalışma literatürle kıyaslandığında, düşük sıcaklıklarda güç üretiminin verimsel düşüklüğünü giderecek, ilave ısıtma sistemi tasarlanmış ve sistemin verimindeki gözle görülür artış ifade edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ülkemizde genellikle ege bölgesinin iç kısımlarında bulunan enerji potansiyeli düşük kuyulardan da güç üretilebileceği gösterilmiştir.

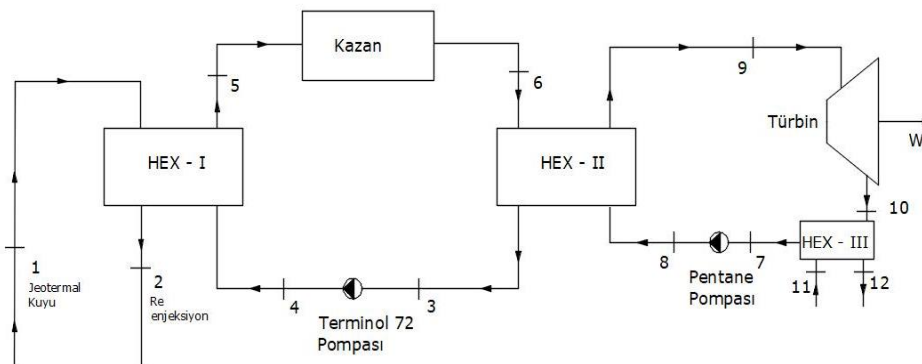
2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Düşük sıcaklıklara sahip jeotermal kuyulardan güç üretimi yapmak oldukça zor olmaktadır. Bu tasarlanan sistemde kuyu sıcaklığının 80 °C olduğu bir bölgeye ait jeotermal bir kuyu ele alınmıştır. Jeotermal kuyudan alınan sıcak su ilk önce Hex-I olarak ifade edilen ısı değiştiricisine girmektedir. Burada terminol 72 ısı transfer yağının ön ısıtılması planlanmaktadır. Kazan sistemlerinde ara ısıtma veya genel ısıtma proseslerinde yüksek basınç ve sıcaklıklarda suyun buhar fazında kontrol edilmesinin zorluklarından dolayı terminol 72 vb ısı transfer yağları tercih edilmektedir. Terminol 72 çalışma sıcaklığı aralığı -10 ile 380°C'dir (Chernikova vd., 2015). Terminol yağ pompası ile ısı değiştiriciye basılan yağ akışkan ısı değiştiricisinde 77 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Ön ısıtmaya tabii tutulan terminol 72 ısı transfer yağı, kazana girerek burada 204 C'ye kadar ısıtılmaktadır. Düşük sıcaklığa sahip ORC çevrimlerinde türbinde ıslak buhar sorununu önlemek amacıyla kuru ve izentropik durumda olan n-pentane akışkanı seçilmiştir (Jubori vd., 2016). Kazanda ısıtılan yağ akışkan ısısını n-pentane'a devretmek için Hex-II ısı değiştiricisine basılır. Buradan-pentane pompası ile yaklaşık 26 °C'deki akışkan ile temas ettirilerek pentanın türbin giriş sıcaklığına kadar ısıtılmasını sağlanmaktadır. Türbin girişinde 170 °C'ye ulaşan akışkan türbinde güç üretimi için genişleyerek Hex-III ile adlandırılan kondanser ısı değiştiricisine gelir ve burada yoğunlaşmaktadır. Bu şekilde çevrim tamamlanmış olur. Tablo 1'de çevrimde kullanılan ısı transfer yağı Terminol 72 ve n-pentan akışkanının özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. n-pentane ve Terminol 72 akışkanlarının özellikleri
(Properties of n-pentane and Terminol 72 fluids) (Qiu, 2012 ; Yilmazoglu 2016)

n- pentane	Formül	C ₅ H ₁₂
	Molekül Ağırlığı (g/mol)	72
	Kaynama Sıcaklığı (°C)	36
	Kritik Sıcaklığı (°C)	196,5
	Kritik Basınç (MPa)	3,36
	ODP	0
Terminol 72	GWP	20
	Minimum Sıcaklık (°C)	-9,44
	Maksimum Sıcaklık (°C)	379,4
	ρ (kg/m ³)	1084,1
	C _p (kJ/kg°C)	1,539
	ν (kg/ms)	0,018
	K (W/m°C)	0,1403

Jeotermal ön ısıtmalı yağ kazanı destekli bir güç üretim sisteminin şekli Şekil 1'de verilmiştir. Sisteme ait tüm ekipmanların termodinamik özellikleri Tablo 2 'de verilmiştir.



Şekil 1. Jeotermal ön ısıtmalı yağ kazanı destekli bir güç üretim sistemi (A geothermal preheated oil boiler assisted power generation system)

Tablo 2. Sistem ekipmanlarının termodinamik özellikleri (Thermodynamic properties of system equipment)

No	Akışkan	\dot{m} (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	Enerji (kW)	Ekserji (kW)
1	Jeotermal su	11,66	80	600	335,5	1,075	3911,13	253,5
2	Jeotermal su	11,66	47,46	600	199,2	0,6706	2322,672	57,05
3	Terminol 72	21	32	270	64,44	0,226	1353,24	8,928
4	Terminol 72	21	32,02	400	64,59	0,2261	1356,39	11,51
5	Terminol 72	21	77,93	400	140,2	0,4567	2944,2	170,9
6	Terminol 72	21	204,5	400	378,3	1,033	7944,3	1601
7	n-Pentane	10,44	26	71,51	0,2103	0,001741	2,195532	0,2044
8	n-Pentane	10,44	26,52	1001	2,209	0,003408	23,06196	15,93
9	n-Pentane	10,44	170,8	1001	633,6	1,666	6614,784	1488
10	n-Pentane	10,44	120,5	71,51	545,3	1,742	5692,932	331,5
11	Hava	78	22	101	92,37	0,3249	7204,86	0
12	Hava	78	39,45	101	165,3	0,5651	12893,4	164,7

Bu kısımda termodinamik yasalara göre bazı tanımlayıcı açıklamalar jeotermal sistemin analizi için verilmiştir. Kütle enerji ve ekserji denge denklemlerini kapsayan ilkeler sistemin performansı incelemek amacıyla sırasıyla aşağıda verilmiştir (Dincer ve Rosen 2012).

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

Burada “g” ve “ç” indisleri sisteme giren ve çıkan maddeyi göstermektedir. İncelemesi yapılan sistemin enerji dengesi termodinamiğin 1. Yasasına göre sistem içinde korunur. Potansiyel ve kinetik enerjilerinin ihmal edilmesiyle kararlı hal şartları için enerji denklemi aşağıdaki gibi verilir (Bejan vd., 1996).

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W}_{net} + \sum \dot{m}_ç h_ç \quad (2)$$

Ekserji analizi enerji kaynaklarının ekonomik ve etkin kullanımı oluşturmada destekleyicidir ve enerji üretim sistemlerinin tasarımlarının incelenmesinde kullanılır. Sistemin termodinamik analizi için kullanılan ekserji denge denklemi aşağıdaki gibi verilir (Dincer, 2012).

$$\sum_g \dot{m}_g ex_g + \dot{E}x_Q = \sum_g \dot{m}_ç ex_ç + \dot{E}x_W + \dot{E}x_Y \quad (3)$$

Burada $\dot{E}x$ ekserji transfer hızı $\dot{E}x_Q$ ise ısı transfer hızının ekserjisi ve $\dot{E}x_W$ iş ile alakalı ekserji ısı transfer hızıdır. Ekserji yıkımı $\dot{E}x_Y$ ile ifade edilmektedir. ex prosesin spesifik ekserjisidir. Bu kavramlar aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir

$$\dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_o}{T_g}\right) \dot{Q}_g \quad (4)$$

$$\dot{E}x_W = \dot{W} \quad (5)$$

$$ex = ex_{ke} + ex_{pe} + ex_{ph} + ex_{ch} \quad (6)$$

Yukarıda verilen ex_{ke} , ex_{pe} , ex_{ph} , ve ex_{ch} sırasıyla kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal enerjisinin ekserjileridir. Potansiyel, kimyasal ve kinetik enerjilerin ekserjileri ihmal edilebildiğinden fiziksel enerjinin ekserjisi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$ex_{ph,i} = (h_i - h_o) - T_o(s_i - s_o) \quad (7)$$

Isı eşanjörünün etkinliği, ısı transfer hızı ile termodinamik olarak maksimum ısı oranı arasındaki oran olarak ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_{sıcak}(T_{sıcak,giriş} - T_{sıcak,çıkış})}{C_{min}(T_{sıcak,giriş} - T_{soğuk,giriş})} \quad (8)$$

Veya

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_{soğuk}(T_{soğuk,çıkış} - T_{soğuk,giriş})}{C_{min}(T_{sıcak,giriş} - T_{soğuk,giriş})} \quad (9)$$

Sistemde sistemin verimi ve ekserji verimi aşağıdaki şekilde yazılır,

$$Q_{kazan,ex} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q_{kazan} \quad (10)$$

$$\eta_{sistem} = \frac{(W_{Türbin} - W_{Pompa,Pentan} - W_{Pompa,Terminol})}{(Q_{jeotermal} - Q_{kazan})} \quad (11)$$

$$\phi_{ex} = \frac{(W_{Türbin} - W_{Pompa,Pentan} - W_{Pompa,Terminol})}{(Q_{kazan,ex} + \dot{E}x_{jeotermal\ giren} - \dot{E}x_{jeotermal\ çıkan})} \quad (12)$$

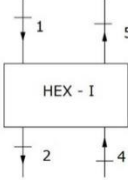
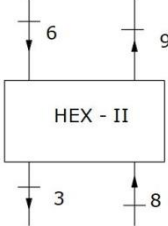

Ekserji çalışmalarında önemli hususlardan biri sistemin referans değerleridir. Çalışmada kabul edilen değerler Tablo 3'te ve verilmiştir.

Tablo 3. Sistemde kabul edilen referans değerleri (Reference values accepted in the system)
($\eta_{türbin} = 0,75$, $\eta_{n-pentane\ pompa} = 0,75$, $\eta_{Terminol\ 72\ pompa} = 0,8$)


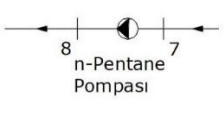
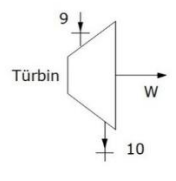
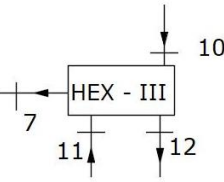
	T_0 (°C)	P_0 (kPa)	h_0 (kJ/kg)	s_0 (kJ/kgK)
Jeotermal Su	22	101,325	92,37	0,3249
Terminol 72	22	101,325	48,57	0,1736
n-pentane	22	101,325	-9,011	-0,02945
Hava	22	101,325	295,4	6,849

Jeotermal ön ısıtmalı yağ kazanı destekli bir güç üretim sistem ekipmanlarının kütle enerji ve ekserji dengeleri Tablo 4'te verilmiştir

Tablo 4. Sistem ekipmanlarının denge denklemleri (Balance equations of system equipment)

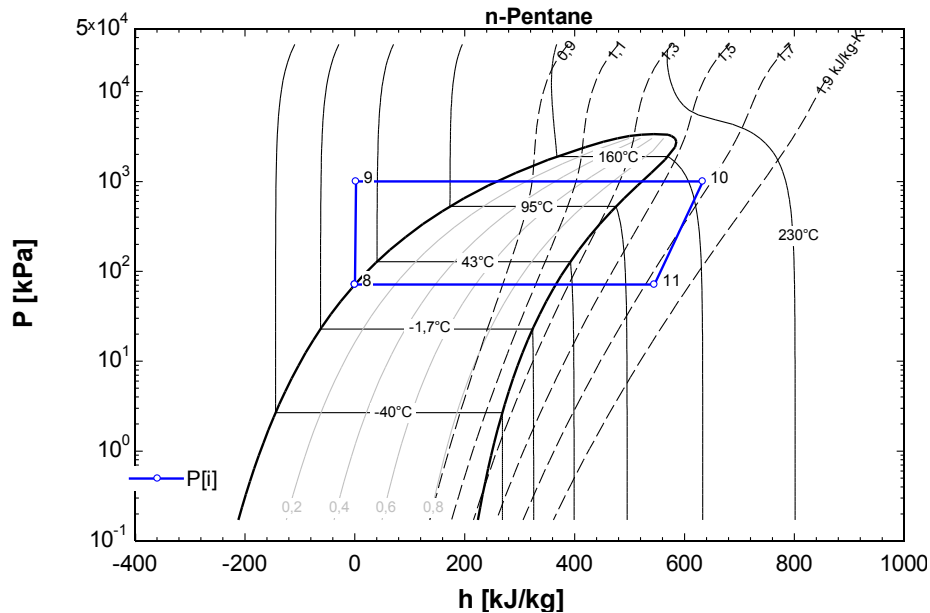
Isı Değiştiricisi I		$\dot{m}_1 + \dot{m}_4 = \dot{m}_2 + \dot{m}_5$ $\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_5 h_5$ $\dot{m}_1 s_1 + \dot{m}_4 s_4 + \dot{S}_{\dot{u}retim,Hex-I} = \dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_5 s_5$ $\dot{m}_1 ex_1 + \dot{m}_4 ex_4 = \dot{m}_2 ex_2 + \dot{m}_5 ex_5 + \dot{E}x_{yıkım,HEX-I}$
Isı Değiştiricisi II		$\dot{m}_6 + \dot{m}_8 = \dot{m}_3 + \dot{m}_9$ $\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_8 h_8 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_9 h_9$ $\dot{m}_6 s_6 + \dot{m}_8 s_8 + \dot{S}_{\dot{u}retim,Hex-II} = \dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_9 s_9$ $\dot{m}_6 ex_6 + \dot{m}_8 ex_8 = \dot{m}_3 ex_3 + \dot{m}_9 ex_9 + \dot{E}x_{yıkım,HEX-II}$
Terminol 72 Isıtma Kazanı		$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$ $\dot{m}_5 h_5 + \dot{Q}_{kazan} = \dot{m}_6 h_6$ $\dot{m}_5 s_5 + \dot{S}_{kazan} = \dot{m}_6 s_6$ $\dot{m}_5 ex_5 = \dot{m}_6 ex_6 + \dot{E}x_{yıkım,kazan}$

Tablo 4. Devamı (Continued)

Terminol 72 Pompası		$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$ $\dot{m}_3 h_3 + \dot{W}_{Terminol-pompa} = \dot{m}_4 h_4$ $\dot{m}_3 s_3 + \dot{S}_{\dot{u}retim, Terminol-pompa} = \dot{m}_4 s_4$ $\dot{m}_3 ex_3 + \dot{W}_{Terminol-pompa} = \dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{yikim, Terminol pompa}$
n-Pentane Pompası		$\dot{m}_7 = \dot{m}_8$ $\dot{m}_7 h_7 + \dot{W}_{n-Pentane-pompa} = \dot{m}_8 h_8$ $\dot{m}_7 s_7 + \dot{S}_{\dot{u}retim, n-Pentane-pompa} = \dot{m}_8 s_8$ $\dot{m}_7 ex_7 + \dot{W}_{n-Pentane-pompa} = \dot{m}_8 ex_8 + \dot{E}x_{yikim, n-Pentane pompa}$
Türbin		$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$ $\dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_{10} h_{10} + \dot{W}_{Türbin}$ $\dot{m}_9 s_9 + \dot{S}_{\dot{u}retim, Türbin} = \dot{m}_{10} s_{10}$ $\dot{m}_9 ex_9 = \dot{m}_{10} ex_{10} + \dot{W}_{Türbin} + \dot{E}x_{yikim, Türbin}$
Isı Değiştiricisi III		$\dot{m}_{10} + \dot{m}_{11} = \dot{m}_7 + \dot{m}_{12}$ $\dot{m}_{10} h_{10} + \dot{m}_{11} h_{11} = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_{12} h_{12}$ $\dot{m}_{10} s_{10} + \dot{m}_{11} s_{11} + \dot{S}_{\dot{u}retim, Hex-III} = \dot{m}_7 s_7 + \dot{m}_{12} s_{12}$ $\dot{m}_{10} ex_{10} + \dot{m}_{11} ex_{11} = \dot{m}_7 ex_7 + \dot{m}_{12} ex_{12} + \dot{E}x_{yikim, HEX-III}$

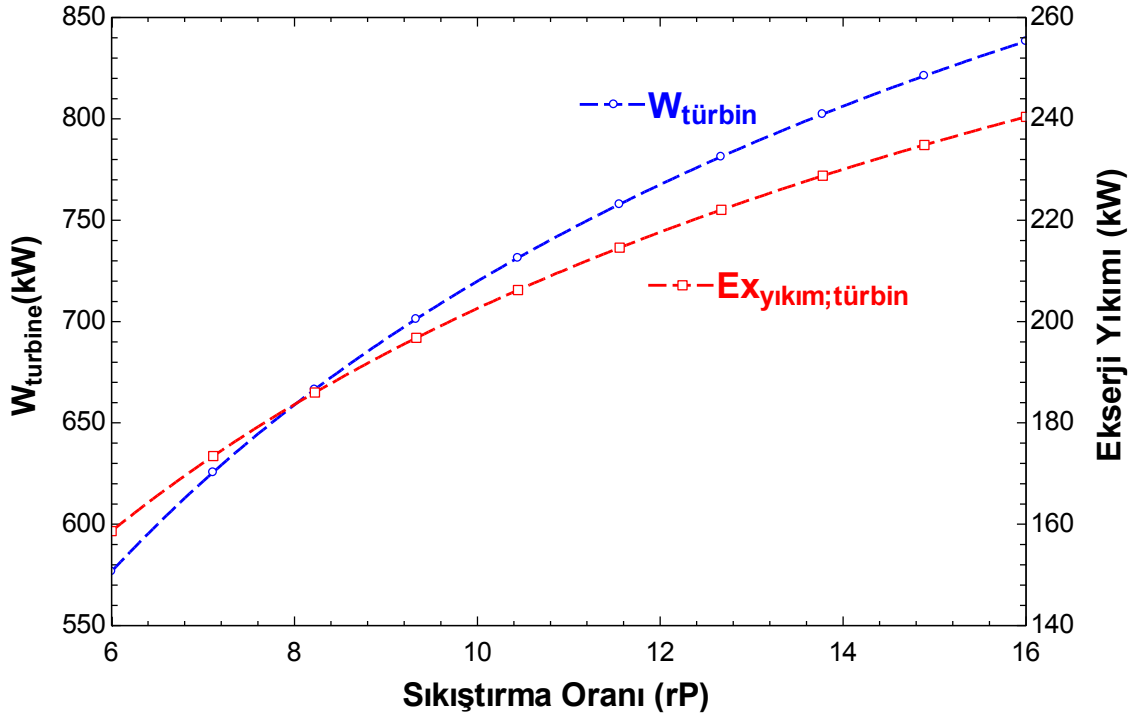
5. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Result and Discussion)

Düşük kaynaklı jeotermal kaynakları bir ORC çevriminde ön ısıtma yapmak amacıyla düzenlenmiş bu çalışmada, güç üretiminin sağlandığı türbinde de kullanılan n-Pentane akışkanına ait, sistemde çalışma aralıklarının gösterildiği P-h diyagramı Şekil 2'de aşağıdaki gibi verilmiştir.



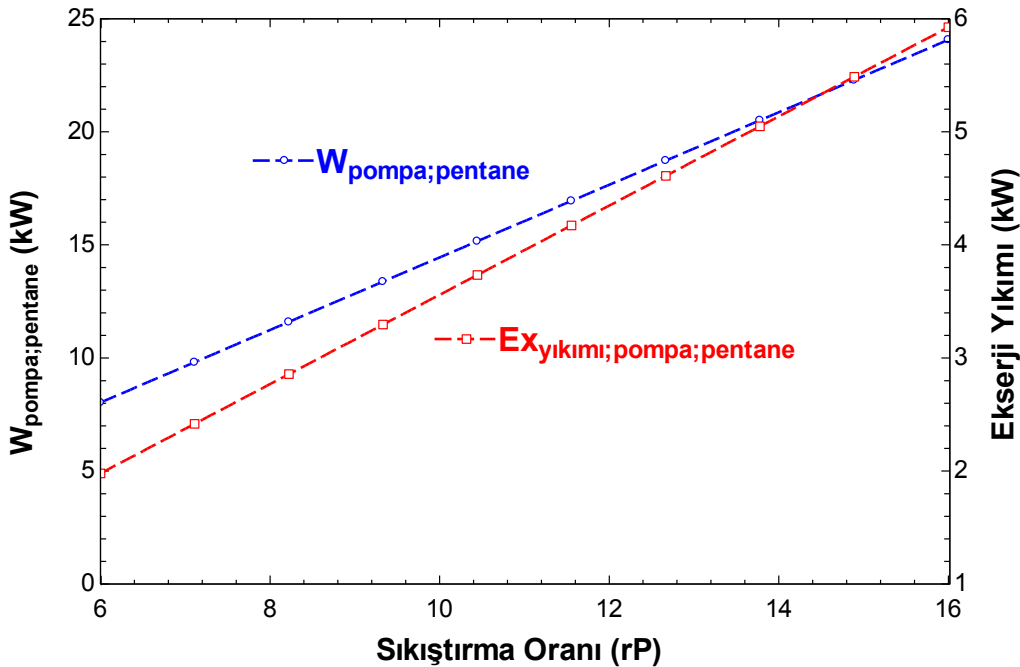
Şekil 2. Çevrim akışkanı n-Pentane'in P-h diyagramı (P-h diagram of the cycle fluid n-Pentane)

Yukarıdaki basınç aralığında çalışan bir çevrimde, sıkıştırma oranı çok önem taşımaktadır. Çevrim akışkanının sıkıştırma oranı arttıkça; doğal olarak türbine daha yüksek basınçta giren akışkan daha fazla güç üretimine sebep olacaktır. Ancak sıkıştırma oranının artırılması türbinde meydana gelecek entropi üretimin de arttıracığından dolayı, türbindeki ekserji yıkımı da buna bağlı olarak artacaktır. Türbinin sıkıştırma oranına bağlı güç üretimi ve ekserji yıkımını gösteren şekil, Şekil 3' te gösterilmiştir.



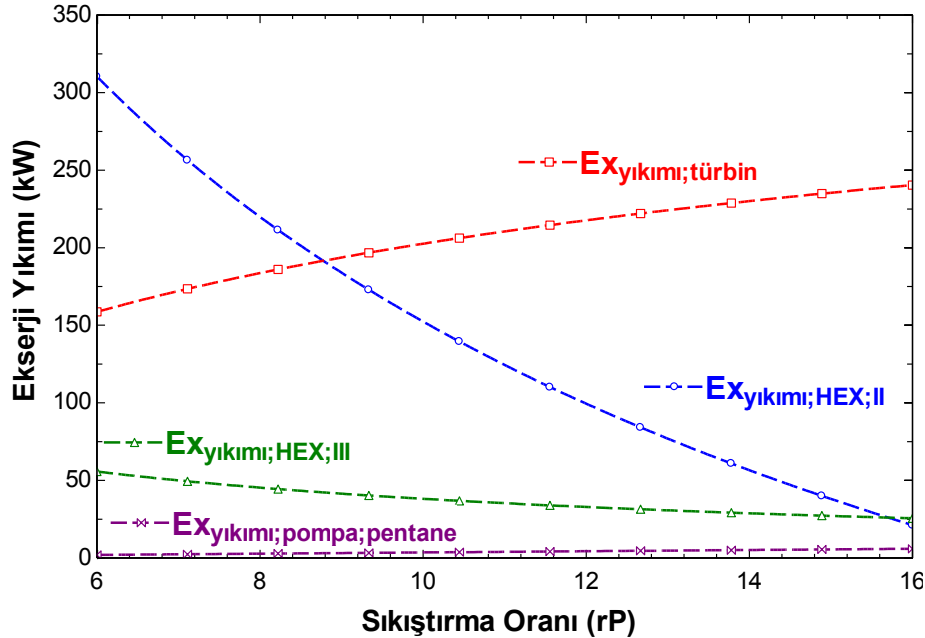
Şekil 3. Sıkıştırma oranına bağlı olarak güç üretimi ve Türbinin ekserji yıkım diyagramı
(Power generation and exergy destruction diagram of the turbine depending on the compression ratio)

Sıkıştırma oranına bağlı olarak güç üretiminin arttığı yukarıda görülmekteydi. Ancak bu sıkıştırma oranını sağlayacak sistem ekipmanı n-Pentane pompası olarak tanımlanan ORC pompasıdır. Doğal olarak sıkıştırma oranının artırmak, bu işlemi gerçekleştirecek olan pompanın çekeceği elektriksel gücünün de artmasına sebep olacaktır. Aynı zamanda buna paralel olarak pompa da üretilen entropi artışına bağlı, pompaya ait ekserji yıkımının da artmasına sebep olacaktır. Sistemdeki n-Pentane pompasının sıkıştırma oranına bağlı olarak güç tüketimindeki artışı ve pompaya ait ekserji yıkımındaki artışı gösteren diyagram Şekil 4 'te verilmiştir.



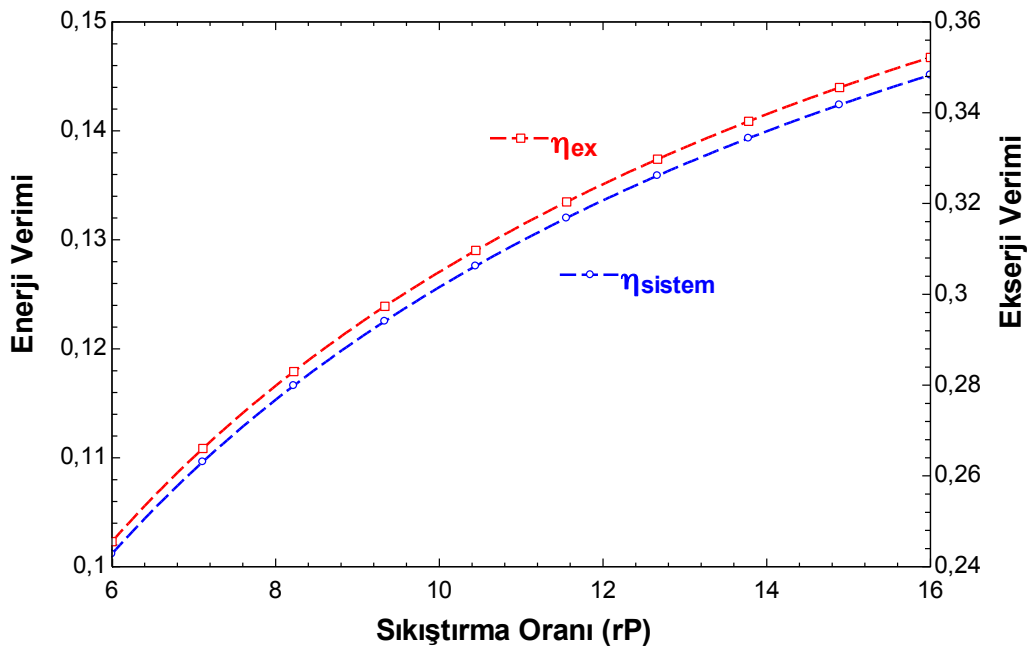
Şekil 4. Sıkıştırma oranına bağlı n-pentane pompasına ait güç tüketimi ve ekserji yıkım diyagramı
(Power consumption and exergy destruction diagram of n-pentane pump depending on compression ratio)

Sisteme ait ekipmanların, sıkıştırma oranı 14 olarak kabul edildiği hesaplamalarda, n-pentane pompasını 20 kW güç tüketimine karşılık olarak, türbinde üretilen güç miktarı ise 806,2 kW' tır. Bu sıkıştırma oranı ve bu orandaki değişimleri göz önüne aldığımızda tüm sistem ekipmanları da etkilenmektedir. Dolayısıyla sisteme ait ekipmanlardaki ekserji yıkımlarını da incelemek gerekmektedir. Bundan dolayı sıkıştırma oranının sistemin diğer ekipmanlarındaki ekserji yıkımlarına ait sonuçların grafiksel değerlendirmesi Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, türbinde ekserji yıkımı artarken, jeotermal kaynaktan ısının yağ hattına aktarılmasını sağlayan yani kazanda ısıtılacak olan yağın ön ısıtılmasını yapan ısı değiştiricisinde (HEX-I) sıkıştırma oranına bağlı olarak ekserji yıkımı azalmaktadır. Ayrıca terminol 72 yağının enerjisinin de aktarılmasını sağlayan ikinci ısı değiştiricisinde de (HEX-II) sıkıştırma oranına bağlı olarak ekserji yıkımı azalmaktadır.



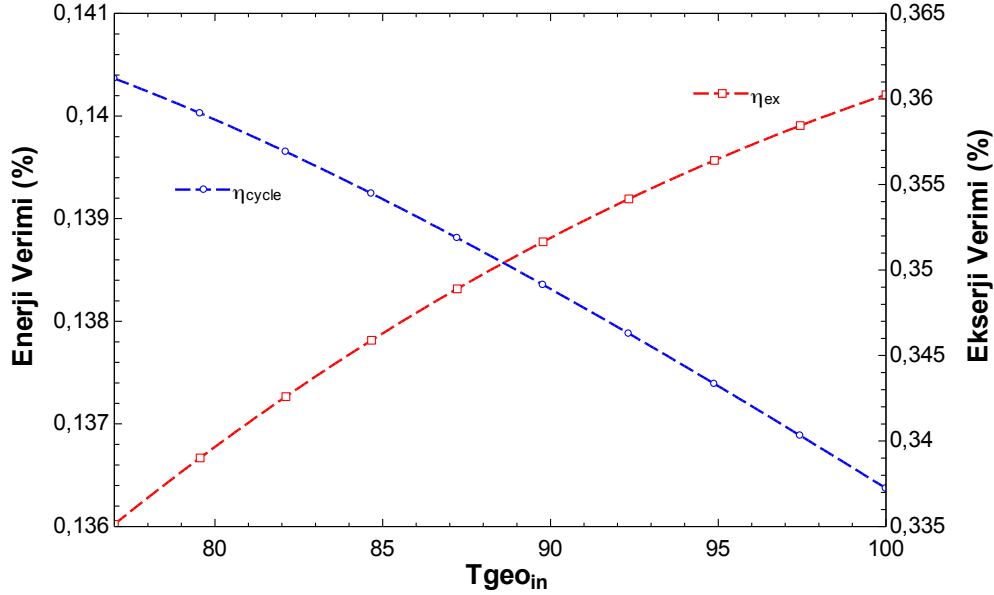
Şekil 5. Sıkıştırma oranına bağlı sistem ekipmanlarının ekserji yıkım diyagramı
(Exergy destruction diagram of system equipment depending on compression ratio)

Sıkıştırma oranı $rP=14$ için, sistemin birinci yasa verimi %14, ikinci yasa verimi ise %34 çıkmaktadır. Sıkıştırma oranı azaldığında, türbinde üretilen güç azalacağından sistemin enerji ve ekserji verimi de düşüş gösterecektir. Şekil 6' da sisteme ait sıkıştırma oranının enerji ve ekserji verimine etkisi görülmektedir.



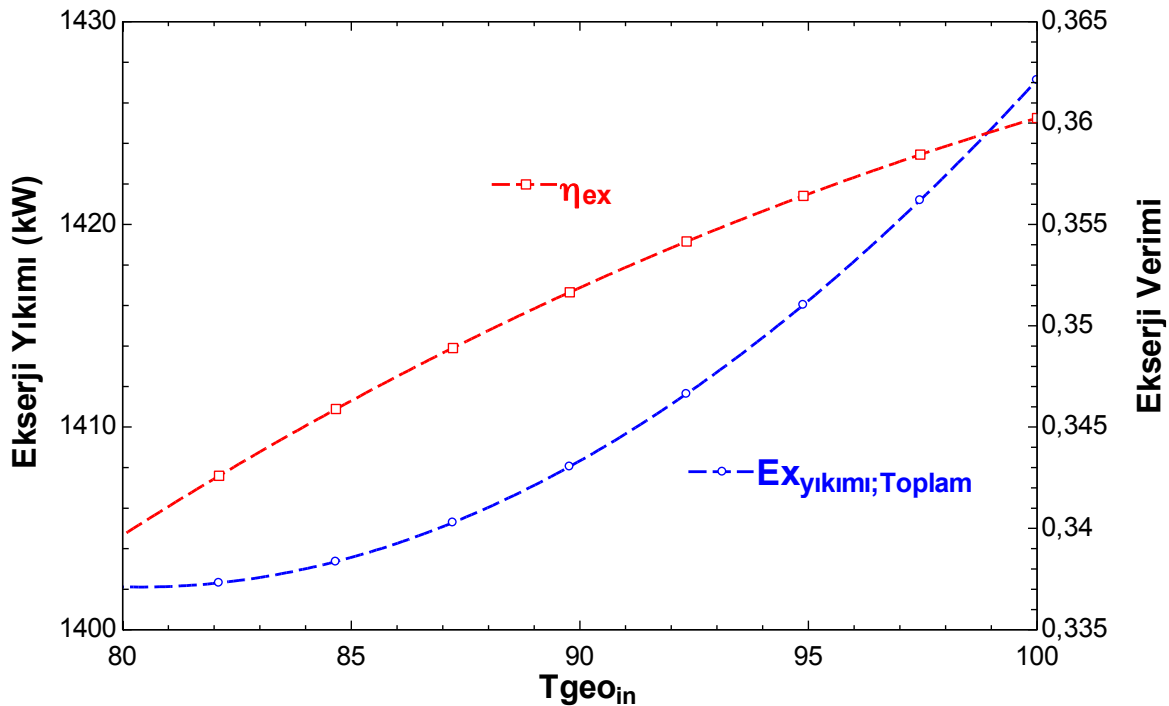
Şekil 6. Sıkıştırma oranına bağlı enerji ve ekserji verimleri
(Energy and exergy efficiencies depending on compression ratio)

Jeotermal kuyu suyu sıcaklığının 90 °C'den daha küçük olduğu kaynak sıcaklıklarında sistem verimini artırmak üzere mutlaka ilave kaynak girişi ile güç üretimi çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışma da jeotermal kuyu sıcaklığı 80 °C olan bir kuyu kaynağına, terminol 72 ile sıcaklık artışı sağlanarak bir ORC çevrimi incelenmektedir. Bu çevrimde türbin sıcaklığı 170 °C'ye kadar çıkılmaya çalışılmıştır. Üretim kapasitesinin 1MW civarlarında olabilmesi için yağ kazanı kapasitesi 4000 kW alınarak, güç üretimi 806,2 kW olarak hesaplanmıştır. Jeotermal kuyu sıcaklığının artması, sabit olan kazan kapasitesinden dolayı sistemin enerji veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Sistemin jeotermal kuyu sıcaklığına bağlı enerji ve ekserji verim grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 de görüldüğü gibi sistemde ön ısıtmanın sağlandığı jeotermal kuyu sıcaklığının artması çok küçük çapta enerji ve ekserji verimi değişikliklerine sebep olmaktadır.



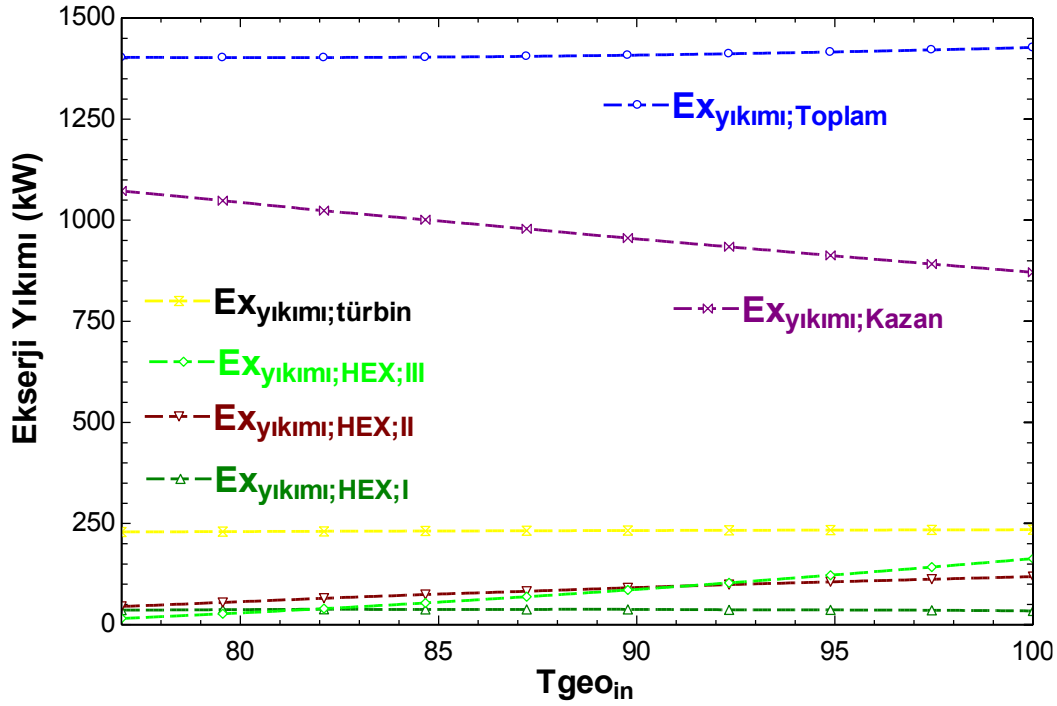
Şekil 7. Jeotermal kuyu sıcaklığının enerji ve ekserji verimine etkisi
(Effect of geothermal well temperature on energy and exergy efficiency)

Jeotermal kuyu sıcaklığının değişiminin sistemin ekserji verime ve toplam ekserji yıkımına etkisi Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8' de görüldüğü gibi düşük kuyu sıcaklığında sistemin ekserji verimi %34 civarında olmaktadır. Ekserji yıkımı ise, 1400 ile 1430 kW arasında kuyu sıcaklığına göre değişim göstermektedir.



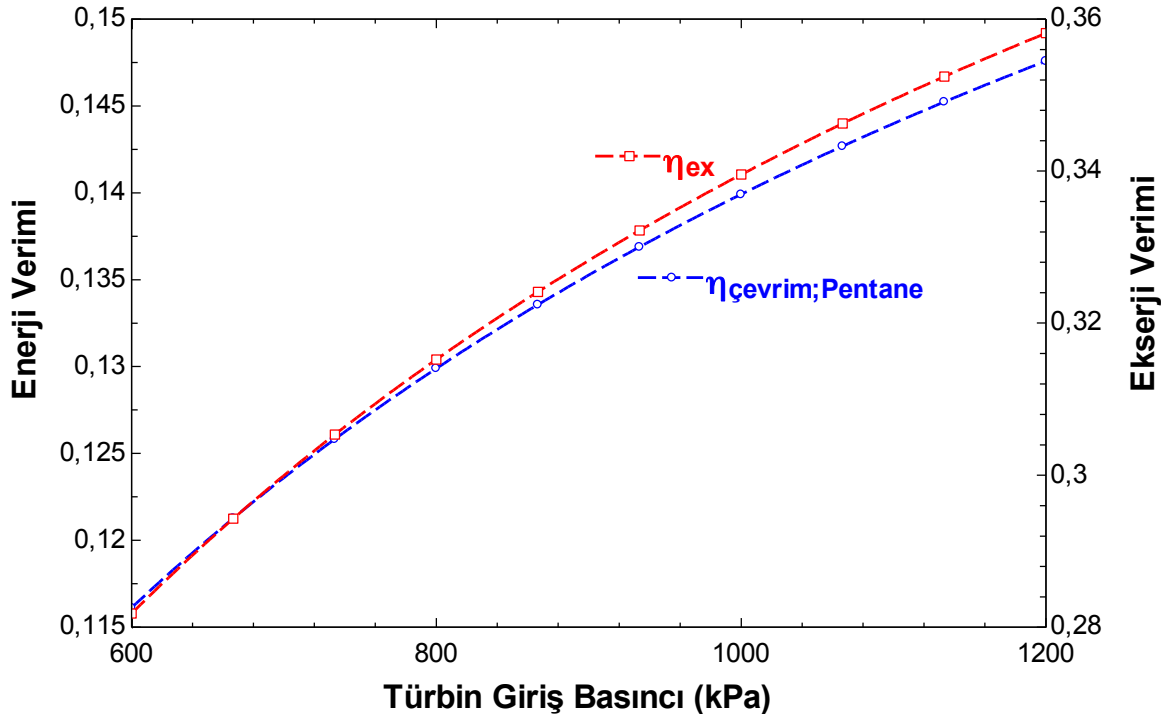
Şekil 8. Jeotermal kuyu sıcaklığının ekserji yıkımı ve ekserji verimine etkisi
(The effect of geothermal well temperature on exergy destruction and exergy efficiency)

Sistemin tüm ekipmanlarının ayrı ayrı ekserji yıkımlarına kuyu sıcaklığı açısından bakıldığında, en yüksek ekserji yıkımının kazanda olduğu görülmekte ve hatta kuyu sıcaklığının artışının kazana ek kazanç sağlamasından dolayı, sıcaklık artışının kazandaki ekserji yıkımına azaltıcı etkisi Şekil 9' da görülmektedir.



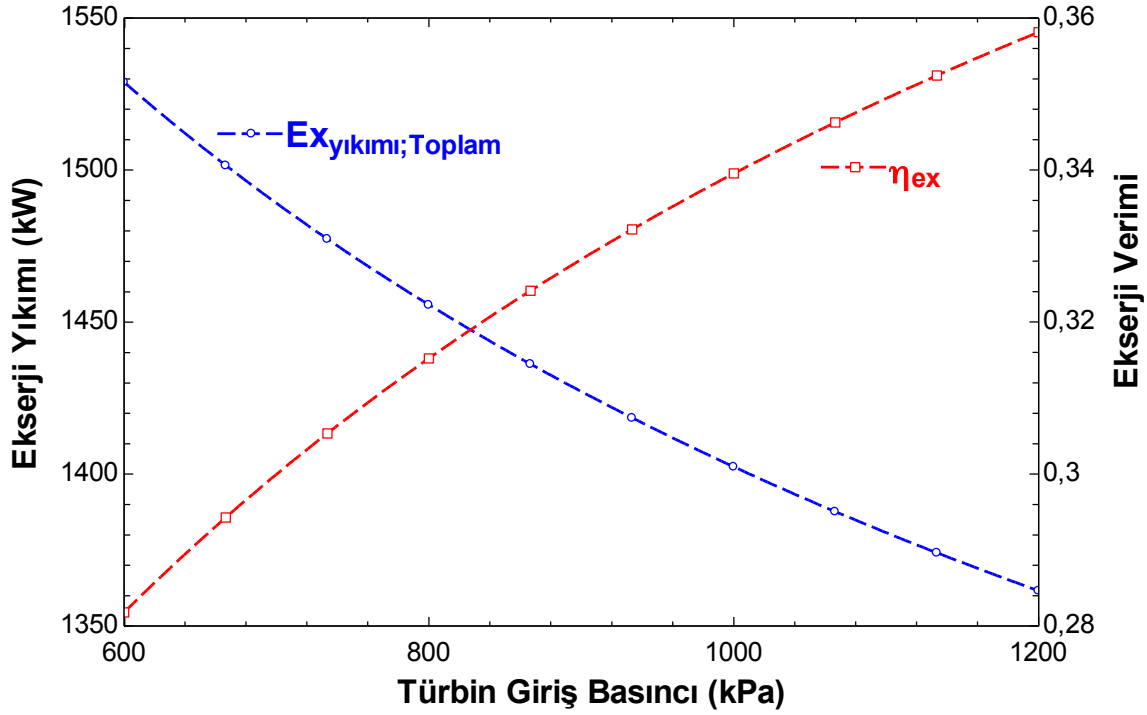
Şekil 9. Jeotermal kuyu sıcaklığının ekserji yıkımı ve ekserji verimine etkisi
(The effect of geothermal well temperature on exergy destruction and exergy efficiency)

Türbin giriş basıncının 600kPa -1200kPa aralığındaki değişiminin enerji verimini ve ekserji verimini arttırdığı Şekil 10 'da görülmektedir. N-pentane akışkanın 1000 kPa basınçta türbine girişinde sistem verimi %14 olarak görülmekte, buna bağlı olarak sistemin ekserji verimi de bakıldığında aynı basınçta %34 civarında olduğu aşağıda şekilde görülmektedir.



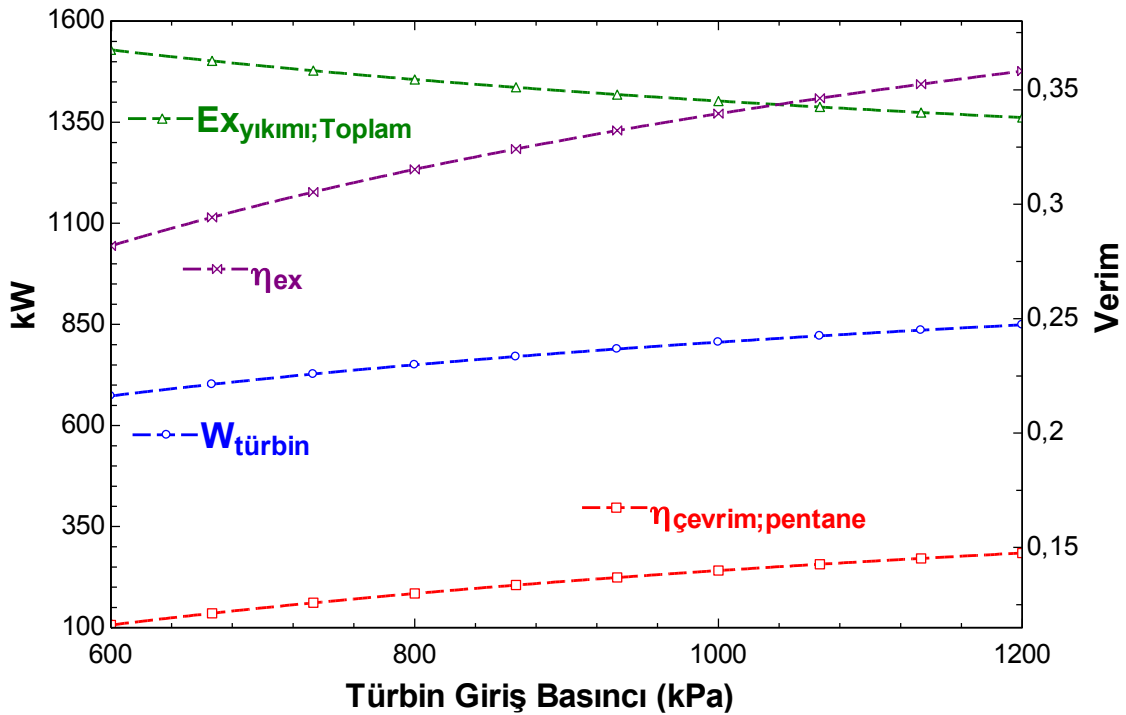
Şekil 10. Türbin giriş basıncının enerji ve ekserji verimine etkisi
(The effect of geothermal well temperature on exergy destruction and exergy efficiency)

Türbin giriş basıncının artırılması sistemin ekserji verimini artırırken buna bağlı olarak toplam ekserji yıkımının da azalmasına sebep olmaktadır. Türbinin giriş basıncının artırılmasının ekserji verimi ve toplam ekserji yıkımına etkisi Şekil 11’de gösterilmiştir.



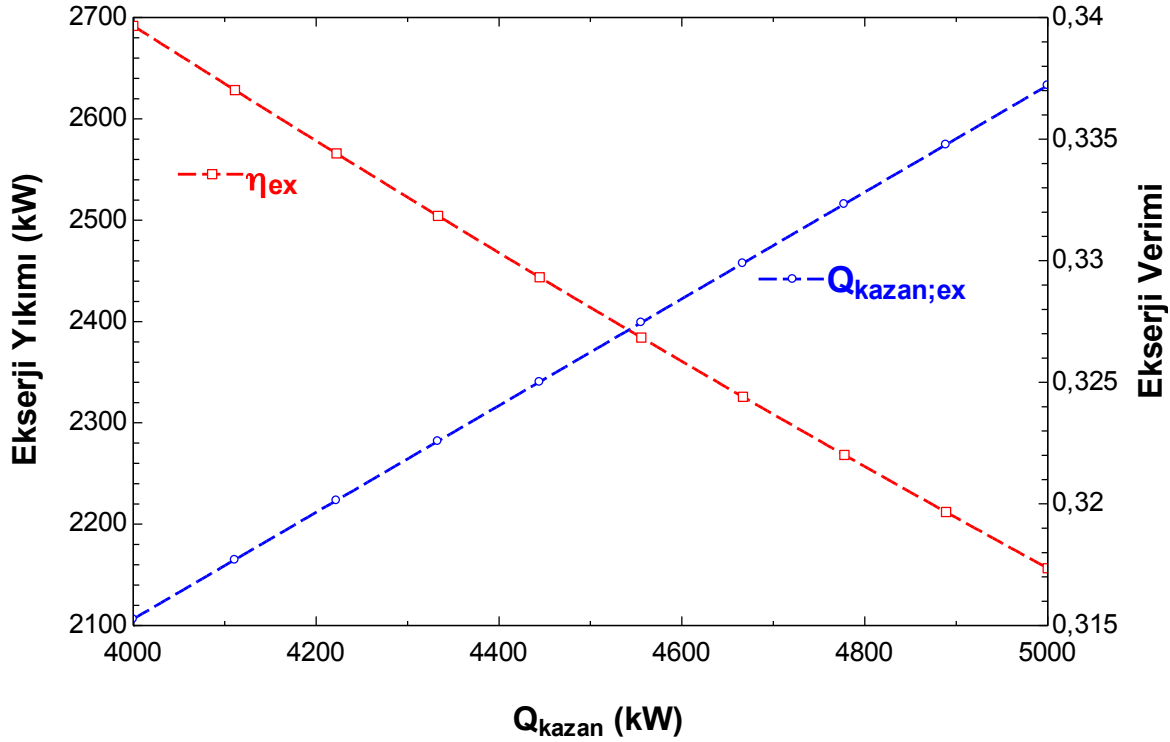
Şekil 11. Türbin giriş basıncının ekserji yıkımına ve ekserji verimine etkisi
(The effect of turbine inlet pressure on exergy destruction and exergy efficiency)

Türbin giriş basıncının artırılması sistemin güç üretimini de attırmaktadır. Dolayısıyla çıktı ürünü olarak kabul edilen türbin işi de artarak, sistemin enerji veriminin artmasına, buna da paralel olarak ekserji veriminin de artmasına sebep olmuştur. Bu artışlar istenilen artışlar olduğundan yani sistemin toplam entropisinde azalma görüldüğünden toplam ekserji yıkımı da azalmaktadır. Türbinin giriş basıncının; sistemin birinci yasa verimi, ikinci yasa verimi, güç üretimine etkisi ve ekserji yıkımına etkisi Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Türbin giriş basıncının güç üretimi, ekserji yıkımı ve verimlere ait değişimi
(Variation of turbine inlet pressure for power generation, exergy destruction and efficiencies)

Düşük jeotermal kaynaklardan ön ısıtma yapılmak suretiyle güç üretiminin denendiği bu çalışmada, akışkanın ısıtılması amacıyla terminol 72 yağı kazanda ısıtılmaktaydı. Kazan kapasitesinin artırılmasının ekserji yıkımına ve ekserji verimine etkisi Şekil 13'te gösterilmiştir. Kazan kapasitesinin artması, en çok entropi üretiminin olduğu kazanda artışa sebep olacağından ekserji yıkımının 2000 kW seviyelerinden 2700 kW seviyelerine kadar çıkmasına sebep olacaktır. Buna bağlı olarak da sistemin ekserji veriminin de azaldığı görülecektir.



Şekil 13. Kazan kapasitesinin ekserji yıkımına ve ekserji verimlerine ait değişimi
(Variation of the boiler capacity of exergy destruction and exergy efficiencies)

Sistemin çalışma şartlarındaki toplam ekserji yıkımlarının ekipman bazında dağılımı Şekil 14.'de verilmiştir. Şekle göre en yüksek ekserji yıkımı %74 ile kazanda meydana gelmektedir. Çünkü ısıl girdinin maksimum düzeyde olduğu ekipman kazandır. Ekserji yıkım dağılım grafiğine Şekil 14'e bakıldığında ikinci sırada en fazla ekserji yıkımı %16 ile türbinde görülmektedir. Daha sonra sistemde kullanılan ısı değiştiricileri %9 ile gelmekte, yağ pompası ve n-pentane pompası da bunları %1 ile takip etmektedir.



Şekil 14. Sistem ekipmanlarının toplam ekserji yıkımlarının bazında dağılımı
(Distribution of system equipment by total exergy destruction)

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, düşük kuyu sıcaklığına sahip bir jeotermal destekli bir ORC çevrimi incelemiş, akışkan olarak n-pentane tercih edilmiştir. N-pentane akışkanının kazanda direkt olarak ısıtılması gerçek şartlarda zor olmasından dolayı, arada ısı taşıma işlemi yapabilecek Terminol 72 ısı transfer yağı seçilmiştir. Yağı kazanda ısıtmadan önce, jeotermal kuyudan alınan düşük kaynak ısı ile ön ısıtılmaya tabii tutulmuştur. Düşük sıcaklıklı jeotermal kuyunun analiz ve araştırmaları EES (Engineering Equation Solver) yazılımı ile yapılmıştır (Klein 2011).

Jeotermal kuyu suyu sıcaklığının 90°C'den daha küçük olduğu kaynak sıcaklıklarında sistem verimini artırmak üzere mutlaka ilave kaynak girişi ile güç üretimi çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışma da jeotermal kuyu sıcaklığı 80°C olan bir kuyu kaynağına, Terminol 72 ısı transfer yağı ile sıcaklık artışı sağlanarak bir ORC çevrimi incelenmiştir. Bu çevrimde türbin sıcaklığı 170°C'ye kadar çıkarılmaya çalışılmıştır. Yağ kazanı kapasitesi 4000 kW alınarak, güç üretimi 806.2 kW olarak hesaplanmıştır. Jeotermal kuyu sıcaklığının değişiminin sistemin ekserji verimine ve toplam ekserji yıkımına etkisi de incelenmiş 80 °C düşük kuyu sıcaklığında sistemin ekserji veriminin %34 olduğu, ekserji yıkımının ise, 1405kW olduğu görülmüştür.

Türbin giriş basıncının 600kPa -1200kPa aralığındaki değişiminin enerji verimini ve ekserji verimini arttırdığı görülmüştür. N-pentane akışkanın 1000 kPa basınçta türbine girişinde sistem verimi %14 olarak görülmekte, buna bağlı olarak sistemin ekserji verimi de bakıldığında aynı basınçta %34 civarında olduğu yapılan hesaplamalarda ortaya çıkmıştır.

Sisteme ait ekipmanların, sıkıştırma oranı 14 olarak kabul edildiği hesaplamalarda, n-pentane pompasını 20 kW güç tüketimine karşılık olarak, türbinde üretilen güç miktarı ise 806,2 kW' dır. Bu sıkıştırma oranı ve bu orandaki değişimleri göz önüne aldığımızda tüm sistem ekipmanları da bu sıkıştırma oranından etkilenmektedir. Dolayısıyla sisteme ait ekipmanlardaki ekserji yıkımlarını da ayrı ayrı incelemesi yapılmıştır. Türbinde ekserji yıkımı artarken, jeotermal kaynaktan ısının yağ hattına aktarılmasını sağlayan yani kazanda ısıtılacak olan yağın ön ısıtılmasını yapan ısı değiştiricisinde (HEX-I) sıkıştırma oranına bağlı olarak ekserji yıkımı azalmaktadır. Ayrıca terminol 72 yağının enerjisinin de aktarılmasını sağlayan ikinci ısı değiştiricisinde de (HEX-II) sıkıştırma oranına bağlı olarak ekserji yıkımının azaldığı görülmüştür. Sıkıştırma oranı azaldığında, türbinde üretilen güç azalacağından sistemin enerji ve ekserji verimi de düşüş göstermiştir. Sistemin tüm ekipmanlarının ayrı ayrı ekserji yıkımlarına kuyu sıcaklığı açısından bakıldığında, en yüksek ekserji yıkımının kazanda olduğu görülmektedir. Sistemin çalışma şartlarındaki toplam ekserji yıkımlarına ekipman bazında bakıldığında, en yüksek ekserji yıkımı %74 ile kazanda meydana gelmektedir. Çünkü ısıl girdinin ve buna bağlı olarak entropi üretiminin maksimum düzeyde olduğu ekipman kazandır. Ekserji yıkım dağılımına bakıldığında ikinci sırada en fazla ekserji yıkımı %16 ile türbinde görülmektedir. Bunu takiben sistemde kullanılan ısı değiştiricileri %9 ile gelmekte, yağ pompası ve n-pentane pompası da bunları %1 ile takip etmektedir.

Yapılan çalışmalarda genellikle jeotermal kaynaklı güç üretim sistemlerinde enerji verimleri sistem tasarımına bağlı olarak %8,5-11 arasında değişmekte olduğu literatürde görülmektedir (Ganjehsarabi vd., 2012 ;). Bu çalışmada ön ısıtma işlemi jeotermal kuyudan sağlandığından dolayı sistemin enerji veriminin %14' e kadar çıkabileceği gösterilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalara da katkı olması amacıyla, düşük kaynaklı kuyuların da güç üretiminde ilave ekipmanlar kullanmak yardımıyla kullanılabilirliği ifade edilmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Aneke, M.C., Menkiti, M.C., 2016. Geothermal: History, Classification, and Utilization for Power Generation. *Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia*, 253-264.
- Atiz, A., Karakilcik, H., Erden, M., Karakilcik, M., 2019. Investigation energy, exergy and electricity production performance of an integrated system based on a low-temperature geothermal resource and solar energy. *Energy Conversion and Management*, 195, 798-809.
- Başoğlu, Y., 2019. Environmental assessment of a binary geothermal sourced power plant accompanied by exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 195, 492-501.
- Bejan, A, Tsatsaronis. G, *Thermal Design and Optimization*. John Wiley & Sons, 1996.

- Benham, P., Arefi, A., Shafii, M.B., 2018. Exergetic and thermoeconomic analysis of a trigeneration system producing electricity, hot water, and fresh water driven by low-temperature geothermal sources. *Energy Conversion and Management*, 157, 266-276.
- Bertani, R., 2016. Geothermal power generation in the world 2010–2014 update report. *Geothermics*, 60, 31-43.
- Bina, S.M., Jalilinasrabad S., Fujii, H., 2018. Exergoeconomic analysis and optimization of single and double flash cycles for Sabalan geothermal power plant. *Geothermics*, 72, 74-82.
- Cetin, T. H., Kanoglu, M., Yanikomer, N., 2019. Cryogenic energy storage powered by geothermal energy. *Geothermics*, 77, 34-40.
- Chernikova, E.A., Glukhov, L.M., Krasovskiy, V.G., Kustov, L.M., Vorobyeva, M.G., Koroteev, A., 2015. Ionic liquids as heat transfer fluids: comparison with known systems, possible applications, advantages and disadvantages, *Russian Chemical Reviews*. 84 (8), 875-890.
- Cimsit, C., 2019. Jeotermal ısı kaynaklı organik rankine çevriminin (ORC) farklı organik akışkanlar için termodinamik analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*. 39 (2), 169-177.
- Colonna, P., Casati, E., Trapp, C., Mathijssen, T., Larjola, J., Saaresti, T.T., Uusitalo, A., 2015. Organic Rankine Cycle Power Systems: From the Concept to Current Technology, Applications, and an Outlook to the Future. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 137 (10), 1-19.
- Dincer, I., Rosen, M. A. *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. Newnes, 2012.
- El-Emam, R.S., Dincer, I., 2013. Exergy and exergoeconomic analyses and optimization of geothermal organic Rankine Cycle. *Applied Thermal Engineering*, 59, 435-444.
- Ganjehsarabi, H., Gungor, A., Dincer, I., 2012. Exergetic performance analysis of Dora II geothermal power plant in Turkey. *Energy*, 46, 101-108.
- Islam, M.M., Hasanuzzaman, M., 2020. Introduction to energy and sustainable development. *energy for sustainable development*. 1-18.
- Jubori A.A., Daabo, A., Al-Dadah, R.K., Mahmoud, S., Ennil, A.B., 2016. Development of micro-scale axial and radial turbines for low-temperature heat source driven organic Rankine Cycle. *Energy Conversion and Management*, 130, 141-155.
- Kanoglu M., 2002. Exergy analysis of a dual-level binary geothermal power plant. *Geothermics* 31,709-724.
- Klein, S. A., *Engineering Equation Solver*, version 9.022-3D, F-Chart Software, 2011.
- Koroneos, C., Polyzakis, A., Xydis, G., Stylos, N., Nanaki, E., 2017. Exergy analysis for proposed binary geothermal power plant in Nisyros Island, Greece. *Geothermics*, 70, 38-46.
- Leonard, D.M., Michaelides, E.E., Michaelides, D.N., 2020. Energy storage need for the substitution of fossil power plants with renewables. *Renewable Energy*, 145, 951-962.
- Leveni, M., Manfrida, G., Cozzolino, R., Mendecka, B., 2019. Energy and exergy analysis of cold and power production from the geothermal reservoir of Torre Alfina. *Energy*, 180, 807-818.
- Nami, H., Nemati, A., Fard, F.J., 2017. Conventional and advanced exergy analysis of a geothermal driven dual fluid organic Rankine cycle (ORC). *Applied Thermal Engineering*. 122, 59-70.
- Yilmazoglu Z.M., 2016. Effects of the selection of heat transfer fluid and condenser type on the performance of a solar thermal power plant with techno-economic approach. *Energy Conversion and Management*, 111, 271-278.
- Qiu 2012. Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC. *Renewable Energy*, 48, 565-570.



EXACT SOLUTIONS FOR AXIAL STATIC ANALYSIS OF NANORODS USING WEIGHTED RESIDUALS

Mustafa Özgür YAYLI*, Uğur KAFKAS, Büşra UZUN

Bursa Uludağ University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Bursa, Turkey

Keywords

*Axial Static,
Nanorod,
Weighted Residual Methods,
Displacement Function,
Exact Solution.*

Abstract

In the present work, axial static analysis of nanorods under triangular loading is presented via Eringen's nonlocal differential model. Three weighted residual methods (Subdomain, Galerkin and Least squares methods) are used to obtain the exact static deflection. These methods require that the integral of the error with different assumptions over the domain be set to zero. The number of equations have to be equal to unknown terms. A cubic displacement function has been chosen for three weighted residual methods. Subdomain, Galerkin and Least squares methods yield identical solution as the exact solution. The plots of the solution are shown for different number of unknown coefficients.

AĞIRLIKLILIKLI ARTIKLAR KULLANILARAK NANOÇUBUKLARIN EKSENEL STATİK ANALİZİ İÇİN KESİN ÇÖZÜMLER

Anahtar Kelimeler

*Eksenel Statik,
Nanoçubuk,
Ağırlıklı Artık Yöntemleri,
Yer Değiştirme Fonksiyonu,
Gerçek Çözüm.*

Öz

Bu çalışmada, Eringen'in yerel olmayan diferansiyel modeli kullanılarak; üçgen yayılı yüklenmiş nano çubukların eksenel statik analizi verilmiştir. Üç ağırlıklı artık tabanlı yöntem (Subdomain, Galerkin ve Least squares yöntemleri) gerçek statik deplasmanı elde etmek için kullanılmıştır. Bu yöntemler bölgenin tamamında integral hatalarını minimize etme varsayımına dayanmaktadır. Sistem denklemleri çözümü aranan bilinmeyenler ile aynı sayıda değildir. Bu yüzden üç ağırlıklı artık yöntemi için de kübik polinomlar statik deplasmanı göstermek üzere seçilmiştir. Subdomain, Galerkin and Least squares yöntemleriyle gerçek çözümler ile aynı polinomlar olarak elde edilmiştir. Değişik sayıda bilinmeyen içeren sabitler ile grafikler çizdirilerek çözümler gösterilmiştir.

Alıntı / Cite

Yaylı, M.Ö., Kafkas, U., Uzun B., (2021). Exact Solutions For Axial Static Analysis Of Nanorods Using Weighted Residuals, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(2), 588-598.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.Ö. Yaylı, 0000-0003-2231-170X
U. Kafkas, 0000-0003-1730-7810
B. Uzun, 0000-0002-7636-7170

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	13.04.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

The analytical and computer-based modeling of the dynamical or static behavior of nanobeams (carbon nanotubes) have been come the focal points of researches in computational material physics over the recent years. Moreover, many researchers have studied a structural mechanics and continuum approaches for more efficient and practical modeling. For this purpose, beam, plate and rod theories have been employed by several researchers. In the literature, there have been several number of researches, both theoretical and atomistic, of the mechanical properties of nanobeams. The mechanical analysis of nanosized beams has been implemented using several types of classic elasticity theories, namely based on Euler Bernoulli or Timoshenko beam theories, frame models and plate-shell theories. However, these classical mechanics theories do not account for different phenomena that appear at the small size, such as molecular interactions of atoms and their effects. To overcome these shortcomings, different methods of non-classical elasticity models based on nonlocal elasticity theories have been

* İlgili yazar / Corresponding author: ozguryayli@uludag.edu.tr, +90-224-294-19-61

constructed and utilized to nanobeams in recent years. The classical continuum based models are not able to predict higher order effects due to the absence of the nonlocal parameter. To overcome these shortcomings, different nonlocal stress or strain gradient elasticity theories (modified couple stress theory, nonlocal elasticity theory, couple stress theory, strain gradient elasticity theory etc...) have been used to solve these non-classical problems.

Mechanical behavior of rods and nono rods is one of the most frequently studied topics (Arda and Aydogdu 2014; Arda and Aydogdu 2016; Aydogdu and Arda 2016; Arda and Aydogdu 2017; Arda and Aydogdu 2018; Akbaş 2019; Akgöz 2019; Uzun and Yaylı 2020a, Uzun et al. 2020a). More appropriate elasticity theories rather than local or classical shell, plate and beam theories are needed in investigating the size effect in nano-structures. So far several higher order elasticity models have been proposed to understand the small size effect (Li, 2014; Li et al., 2015; Li et al., 2017; Civalek and Demir, 2016; Liu et al., 2017; Kounadis et al., 2006; Akgöz and Civalek, 2013; ; Akgöz and Civalek, 2015; Ansari et al., 2013; Thai et al. 2018; Ebrahimi et al. 2019; Jalaei and Civalek 2019; Arefi et al. 2020; Demir and Civalek 2013; Dastjerdi et al. 2020, Uzun and Yaylı 2020b, Uzun et al. 2020b, c). From the academic studies in the literature, the mechanical methods adopted to explore the dynamical and atomistic behavior of nanobeams can be divided in to three main categories: the atomistic approaches, higher order elasticity theories (gradient elasticity, nonlocal elasticity, modified couple stress theory. etc.) and the classical continuum mechanics approaches. Since the several classical models can not predict the static deflection or dynamical behaviour of nanobeams, different higher elasticity theories have been recently presented to predict the material properties of nanotubes (nanobeams, nanorods) in recent years (Ece and Aydoğdu, 2007; Şimşek, 2010; Aydoğdu, 2009; Reddy and Pang, 2008; Aydoğdu, 2009; Yoon et al., 2003; Wang and Liew, 2007; Yaylı, 2017; Yaylı, 2016a; Yaylı et al., 2015; Yaylı, 2016b; Yaylı, 2014, Civalek et al. 2020, Uzun et al. 2020d, e).

In this work, with regard to the importance of analyzing the axial deflection of nanorods and their vast range of applications, the axial static analsis with linear loading conditions is investigated to predict the impact of small scale parameter on axial deflections of nanorods by wighted residuals. In this study therefore, based on the Eringen's nonlocal elasticity theory, the static problem of axial deformations of a nanorod is tackled and investigated with the weighted residuals methods (Galerkin, subdomain, least squares methods). Moreover, the effect of the number of terms used in the polynomial and the nonlocal parameter of axial deflection of the nanorod has been addressed. A number of graphical results for the axial deflections of a nanorod by using weighted results are presented.

2. Nonlocal Elasticity Theory

For homogenous-isotropic elastic solids, Eringen's nonlocal elasticity theory is defined by the following equations (Eringen and Edelen, 1972; Eringen, 1983):

$$\sigma_{kl,l} + \rho(f_l - \frac{\partial^2 u_l}{\partial t^2}) = 0 \quad (1)$$

$$\sigma_{kl}(x) = \int_V \alpha(|x-x'|, X) T_{kl}(x') dV(x') \quad (2)$$

$$T_{kl}(x') = \lambda \varepsilon_{mm}(x') \delta_{kl} + 2\mu \varepsilon_{kl}(x') \quad (3)$$

$$\varepsilon_{kl}(x') = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_k(x')}{\partial x'_l} + \frac{\partial u_l(x')}{\partial x'_k} \right) \quad (4)$$

in which, σ_{kl} is the nonlocal stress tensor, ρ is the mass density of the body, u_l is the displacement vector, $\alpha/x/$ can be displayed by a linear differential operator, f_l is the applied force density, $\tau_{kl}(x')$ is the Cauchy stress tensor at any point x' , $\varepsilon_{kl}(x')$ is the strain tensor, μ and λ are Lamé constants, V is the volume occupied by the body, t denotes the time $\alpha/x-x'/$ is the distance form of Euclidean. The following relation can be used in nonlocal elasticity (Eringen and Edelen, 1972; Eringen, 1983):

$$\Gamma \alpha(|x-x'|) = \delta(|x-x'|) \quad (5)$$

where $\delta[x]$ is the nonlocal distance. The following operator has been derived from equation (2):

$$\Gamma \alpha_{kl} = T_{kl} \quad (6)$$

In which $\alpha[x]$ is the nonlocal kernel. Furthermore, following relation can be derived from equation (1):

$$T_{kl,l} + \Gamma(f_i - \rho \ddot{u}_k) = 0 \tag{7}$$

the differential operator has been expressed as the following compact form:

$$\Gamma = (1 - (e_0 a)^2 \nabla^2) \tag{8}$$

in which $e_0 a$ is the nonlocal parameter, ∇^2 is the Laplacian. Then constitutive equation in Eringen's nonlocal elasticity may be expressed in terms of nonlocal parameter

$$[1 - (e_0 a)^2 \nabla^2] \sigma_{kl} = T_{kl} \tag{9}$$

3. Governing Equation

By using the relation in (9), the governing equation in terms of the axial deflection as follows (Aydoğdu, 2009):

$$EA \frac{d^2 u(x)}{dx^2} + q(x) - \mu \frac{d^2 q(x)}{dx^2} = 0 \tag{10}$$

$$(e_0 a)^2 = \mu \tag{11}$$

where $u(x)$ denotes the axial deflection, E is the modulus of elasticity, A is the cross sectional area. Eq. (10) is the governing differential equation for the static deflection of nanorod. Integrating the above equation with respect to x :

$$EA \frac{du(x)}{dx} - \mu \frac{dq(x)}{dx} = \int_0^x q(x) dx \tag{12}$$

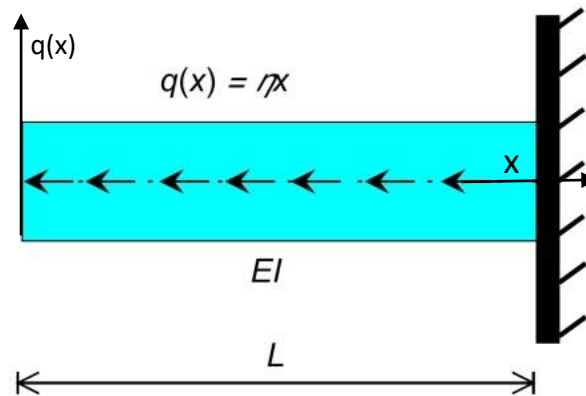


Figure 1. Axially loaded cantilever nanorod

Only one strict boundary condition was used in our study. When $x = L$, $u = 0$. For the other boundary condition, scientific debate continues that du / dx is zero when $x = 0$. It is clear that the derivative is not necessarily zero, as the force is the boundary condition here. In this study, the cantilever nanorod in Figure 1 carries a triangular axial load:

$$q(x) = \eta x \tag{13}$$

where η is a coefficient which represents the slope of triangular line load.

4. Weighted Residuals Methods

4.1. Least squares method

The method of least squares requires the integral over the domain residual function have to be minimized with respect to unknown terms:

$$\frac{\partial}{\partial c_i} \left(\int_0^L R^2 dx \right) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (14)$$

The above equation can be written as follows;

$$\left(\int_0^L R \frac{\partial R}{\partial c_i} dx \right) = 0 \quad (15)$$

Taking the slope $\eta=10$, the following relations can be written by using the Eq. 15:

$$\int_0^L AE(AE(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2) dx = 0 \quad (16)$$

$$\int_0^L AE2(x-L)(AE(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2) dx = 0 \quad (17)$$

$$\int_0^L AE3(x-L)^2(AE(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2) dx = 0 \quad (18)$$

Taking the definite integrals; following systems of linear equations are obtained:

$$A^2c_3E^2L^3 - A^2c_2E^2L^2 + A^2c_1E^2L + \frac{5}{3}AE L^3 - 10AE\mu L = 0 \quad (19)$$

$$-\frac{3}{2}A^2c_3E^2L^4 + \frac{4}{3}A^2c_2E^2L^3 - A^2c_1E^2L^2 - \frac{5}{6}AE L^4 + 10AE\mu L^2 = 0 \quad (20)$$

$$\frac{9}{5}A^2c_3E^2L^5 - \frac{3}{2}A^2c_2E^2L^4 + A^2c_1E^2L^3 + \frac{1}{2}AE L^5 - 10AE\mu L^3 = 0 \quad (21)$$

Solving the above equations, we obtain the unknown coefficients as follows:

$$c_1 = -\frac{5(L^2 - 2\mu)}{AE} \quad (22)$$

$$c_2 = -\frac{5L}{AE} \quad (23)$$

$$c_3 = -\frac{5}{3AE} \quad (24)$$

Substituting the symbolic values for the coefficients given in deflection function:

$$\bar{U}_{LSM} = \frac{5(L^3 - 6\mu L - x^3 + 6\mu x)}{3AE} \quad (25)$$

4.2. Subdomain Method

Subdomain method require the integral over the some selected domains residual function be set zero:

$$\int_0^{L/3} R dx = \int_0^{L/3} EA(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2 dx = 0 \quad (26)$$

$$\int_{L/3}^{2L/3} R dx = \int_{L/3}^{2L/3} EA(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2 dx = 0 \quad (27)$$

$$\int_{2L/3}^L R dx = \int_{2L/3}^L EA(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2 dx = 0 \quad (28)$$

Calculating the above integrals gives the following systems of equations;

$$\begin{aligned} \frac{19}{27} Ac_3 EL^3 - \frac{5}{9} Ac_2 EL^2 + \frac{1}{3} Ac_1 EL \\ + \frac{5L^3}{81} - \frac{10\mu L}{3} = 0 \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \frac{7}{27} Ac_3 EL^3 - \frac{1}{3} Ac_2 EL^2 + \frac{1}{3} Ac_1 EL \\ + \frac{35L^3}{81} - \frac{10\mu L}{3} = 0 \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{27} Ac_3 EL^3 - \frac{1}{9} Ac_2 EL^2 + \frac{1}{3} Ac_1 EL \\ + \frac{95L^3}{81} - \frac{10\mu L}{3} = 0 \end{aligned} \quad (31)$$

By combining these three equations as a system, these can be written in matrix form as follows:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{5L^3}{81} + \frac{10\mu L}{3} \\ -\frac{35L^3}{81} + \frac{10\mu L}{3} \\ -\frac{95L^3}{81} + \frac{10\mu L}{3} \end{pmatrix} \quad (32)$$

We have obtained the unknown coefficient expressions as same as the Eqs. 22, 23 and 24. Substituting these coefficients in deflection function then the same relation obtained from Eq. 25.

4.3. Galerkin Method

The method of Galerkin requires the residual function to be orthogonal to other weighting functions:

$$\left(\int_0^L R W_i dx \right) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (33)$$

In this study, the weighting function formulas are selected to be a part of deflection function. The title problem of this letter have three unknown coefficients (c_1, c_2, c_3), therefore following three weighting functions are chosen;

$$W_1 = x - L \quad (34)$$

$$W_2 = (x - L)^2 \quad (35)$$

$$W_3 = (x - L)^3 \quad (36)$$

Using the above approximation functions, the following relations are generated.

$$\int_0^L AE(AE(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2)(x-L) dx = 0 \quad (37)$$

$$\int_0^L AE2(x-L)(AE(3c_3(x-L)^2 + 2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2)(x-L)^2 dx = 0 \quad (38)$$

$$\int_0^L AE3(x-L)^2(AE(3c_3(x-L)^2+2c_2(x-L)+c_1)-10\mu+5x^2)(x-L)^3 dx = 0 \quad (39)$$

Computing the above integrals; the following systems equations are derived:

$$-\frac{3}{4}Ac_3EL^4 + \frac{2}{3}Ac_2EL^3 - \frac{1}{2}Ac_1EL^2 - \frac{5L^4}{12} + 5\mu L^2 = 0 \quad (40)$$

$$\frac{3}{5}Ac_3EL^5 - \frac{1}{2}Ac_2EL^4 + \frac{1}{3}Ac_1EL^3 + \frac{L^5}{6} - \frac{10\mu L^3}{3} = 0 \quad (41)$$

$$-\frac{1}{2}Ac_3EL^6 + \frac{2}{5}Ac_2EL^5 - \frac{1}{4}Ac_1EL^4 - \frac{L^6}{12} + \frac{5\mu L^4}{2} = 0 \quad (42)$$

We can write the above relations in a matrix form as follows:

$$\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{5L^4}{12} - 5\mu L^2 \\ -\frac{L^5}{6} + \frac{10\mu L^3}{3} \\ \frac{L^6}{12} - \frac{5\mu L^4}{2} \end{pmatrix} \quad (43)$$

Substituting the symbolic values for the coefficients given in deflection function:

$$\bar{U}_{GM} = \frac{5(L^3 - 6\mu L - x^3 + 6\mu x)}{3AE} \quad (44)$$

4.4. Two Parameter Solution

In this subsection two parameter solutions have been performed in order to assess the effects of residuals of each method. Following relations can be obtained for Sub-domain method:

$$\int_0^{L/2} R dx = \int_0^{L/2} EA(2c_2(x-L)+c_1)-10\mu+5x^2 dx = 0 \quad (45)$$

$$\int_{L/2}^L R dx = \int_{L/2}^L EA(2c_2(x-L)+c_1)-10\mu+5x^2 dx = 0 \quad (46)$$

c_1 and c_2 coefficients can be found from above relations as follows:

$$c_1 = -\frac{5(5L^2 - 12\mu)}{6AE} \quad (47)$$

$$c_2 = -\frac{5L}{2AE} \quad (48)$$

and the axial deflection function is derived:

$$\bar{U}_{SDM} = \frac{5(L-x)(-12\mu + 2L^2 + 3Lx)}{6AE} \quad (49)$$

Galerkin method, which minimize the residual, together with boundary conditions, defines the following definite integrals for two terms:

$$\int_0^L AE(AE(2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2)(x-L) dx = 0 \quad (50)$$

$$\int_0^L AE2(x-L)(AE(2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2)(x-L)^2 dx = 0 \quad (51)$$

The unknown terms can be found as follows:

$$c_1 = -\frac{7L^2 - 20\mu}{2AE} \quad (52)$$

$$c_2 = -\frac{2L}{AE} \quad (53)$$

The following axial deflection function can be written by using the above equations

$$\bar{U}_{GM} = \frac{(L-x)(-20\mu + 3L^2 + 4Lx)}{2AE} \quad (54)$$

In least squares method, following integral equations can be written by using the approximation function:

$$\int_0^L AE(AE(2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2) dx = 0 \quad (55)$$

$$\int_0^L AE2(x-L)(AE(2c_2(x-L) + c_1) - 10\mu + 5x^2) dx = 0 \quad (56)$$

The same relations in Eqs. 47, 48 and 49 are obtained from the results of these integrals. Exact solution can be found as;

$$\bar{U}_{Exact} = \frac{5(L^3 - 6\mu L - x^3 + 6\mu x)}{3AE} \quad (25)$$

5. Results and Discussions

Based on the formulations obtained above with the nonlocal rod model, the axial deflections of nanorod are discussed and investigated here. A computer code is developed based on the different weighted residuals methods. Sufficient number polynomial terms are employed to predict accurate nonlocal axial deflection results in the analysis.

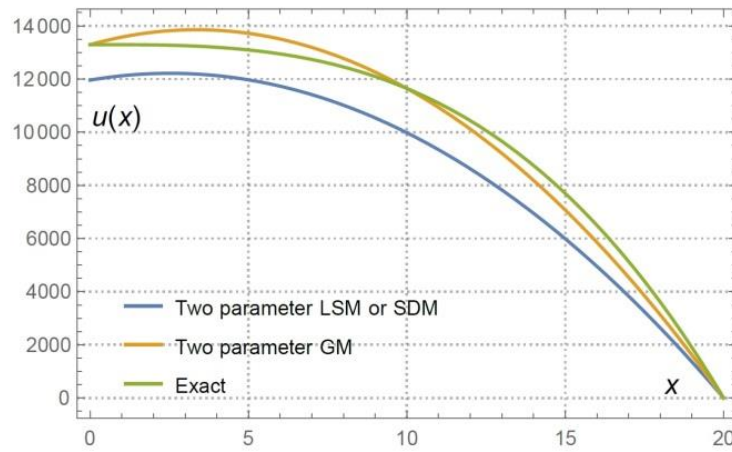


Figure 2. Weighted residuals method with exact solution using two parameters for $L = 20 \text{ nm}$

Figure 2 and 3 depict the variation of the axial deflection of nanorods with two different values of lengths. For this study modulus of elasticity is supposed to 1 nN/nm^2 . Cross sectional area $A = 1 \text{ nm}^2$, nonlocal parameter $\mu = 0.2 \text{ nm}^2$ are considered in the analysis.

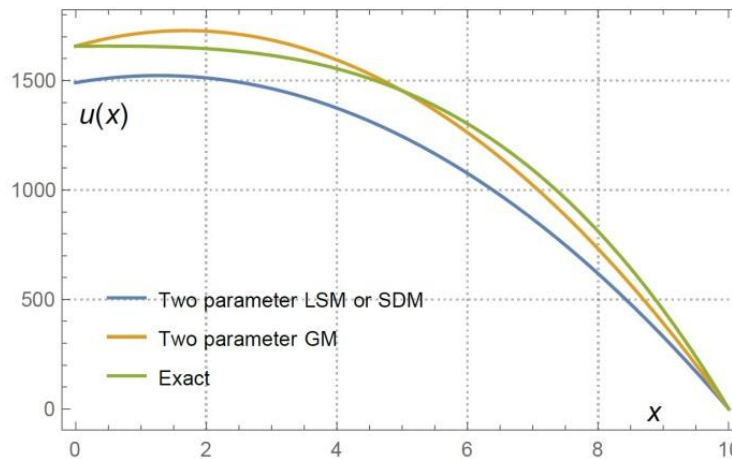


Figure 3. Weighted residuals method with exact solution using two parameters for $L = 10 \text{ nm}$

It is apparent from Figures 4 and 5 that, the computed results with minimal effort match closely with that of the exact approach for three terms of polynomials.

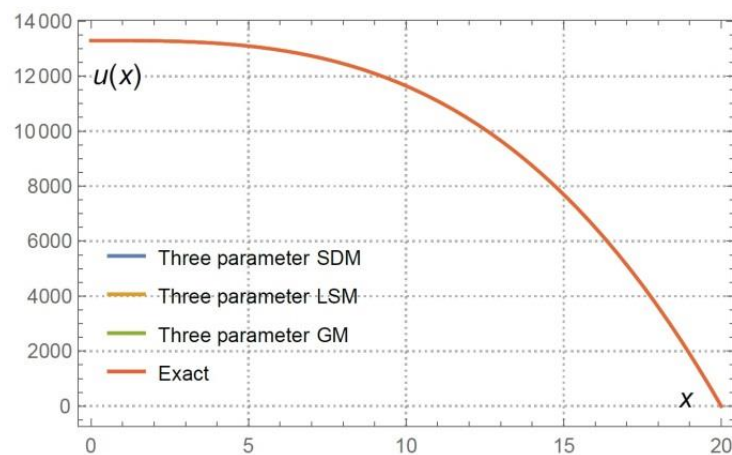


Figure 4. Weighted residuals method with exact solution using three parameters for $L = 20 \text{ nm}$

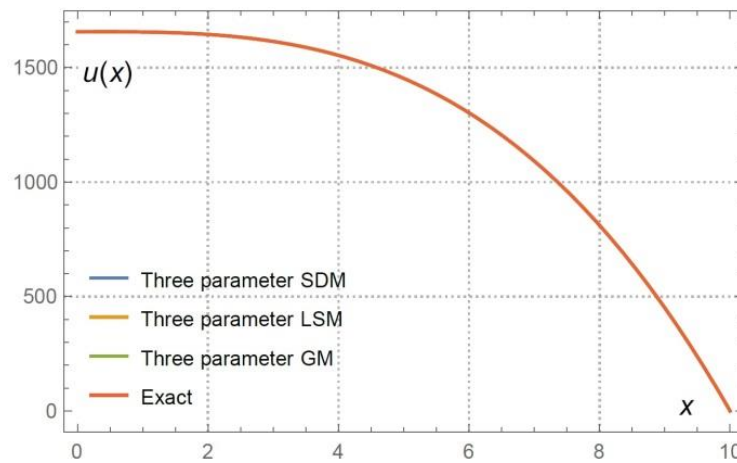


Figure 5. Weighted residuals method with exact solution using three parameters for $L = 10 \text{ nm}$

In Figure 6, axial deflections of a nanorod are obtained by applying three different weighted residual methods and the nonlocal parameter are taken as different values. For the second example similar values are used; cross sectional area $A = 1 \text{ nm}^2$, modulus of elasticity is 1 nN/nm^2 , nonlocal parameter $\mu = 0.2 \text{ nm}^2$ are utilized. It can be seen from the Figure 6 that lower elongation amounts are obtained when the non-local elasticity theory is used. The reason for this can be shown as the classical elasticity force boundary condition, which is used controversially in the literature, has never been used.

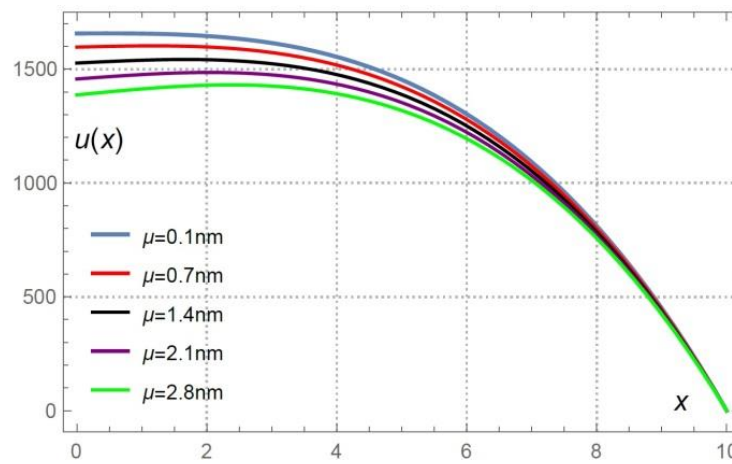


Figure 6. The effect of small scale parameter on the axial deflection for $L = 10 \text{ nm}$

The results exhibited certain difference in axial deflection response predictions between nonlocal elasticity and local elasticity, which becomes predominant when the length of nanorod is smaller than 4 nm^2 . One of the chief contributions of present paper is the derivation of an exact solution using the weighted residuals.

6. Conclusion

On the basis of the nonlocal elasticity theory, axial static analysis of nanorods under triangular axial loading conditions is investigated. A polynomial function that defines the axial deflection along the longitudinal axis of the continuum is proposed which satisfied the boundary conditions. The governing ordinary differential equation of the nanorod is solved with the weighted residuals methods (Galerkin, Subdomain, Least squares methods). Numerical values, graphical plots and the influence of the parameters in the polynomials on the axial deflection of the nanorod are presented.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akbaş, Ş. D. 2019. Longitudinal forced vibration analysis of porous a nanorod *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(4), 736-743.
- Akgöz, B. 2019. Ritz yöntemi ile değişken kesitli kolonların burkulma analizi *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 452-458.
- Akgöz, B., Civalek, Ö., 2013. Buckling analysis of linearly tapered micro-columns based on strain gradient elasticity. *Structural Engineering and Mechanics*, 48, 195–205.
- Akgöz, B., Civalek, Ö., 2015. Bending analysis of FG microbeams resting on Winkler elastic foundation via strain gradient elasticity. *Composite Structures*, 134, 294–301.
- Ansari, R., Gholami, R., Sahmani, S., 2013. Size-dependent vibration of functionally graded curved microbeams based on the modified strain gradient elasticity theory. *Arch Appl Mech*, 83, 1439–1449.
- Arda, M., Aydogdu, M., 2016. Bending of CNTs Under The Partial Uniform Load. *Int J Eng Appl Sci*, 8, 21–21.
- Arda, M., Aydogdu, M., 2017. Longitudinal Vibration of CNTs Viscously Damped in Span. *Int J Eng Appl Sci*, 9, 22–22.
- Arefi, M., Firouzeh, S., Bidgoli, E.M.R., Civalek, Ö. 2020. Analysis of Porous Micro-plates Reinforced with FG-GNPs Based on Reddy plate Theory. *Composite Structures*, 112391.
- Aydoğdu, M., 2009. Axial vibration of the nanorods with the nonlocal continuum rod model. *Physica-E Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 41, 861–864.
- Aydogdu, M., Arda, M., 2014. Torsional statics and dynamics of nanotubes embedded in an elastic medium. *Compos Struct*, 114, 80–91.
- Aydogdu, M., Arda, M., 2016. Forced vibration of nanorods using nonlocal elasticity. *Adv nano Res*, 4, 265–279.
- Aydogdu, M., Arda, M., Filiz, S., 2018. Vibration of axially functionally graded nano rods and beams with a variable nonlocal parameter. *Adv Nano Res*, 6, 257–278.
- Civalek, Ö., Demir, Ç., 2016. A simple mathematical model of microtubules surrounded by an elastic matrix by nonlocal finite element method. *Applied Mathematics and Computation*, 289, 335–352.
- Civalek, Ö., Uzun, B., Yaylı, M.Ö., Akgöz, B. 2020. Size-dependent transverse and longitudinal vibrations of embedded carbon and silica carbide nanotubes by nonlocal finite element method. *The European Physical Journal Plus*, 135(4), 381.
- Dastjerdi, S., Akgöz, B., Civalek, Ö. 2020. On the effect of viscoelasticity on behavior of gyroscopes. *International Journal of Engineering Science*, 149, 103236.
- Demir, C., Civalek, Ö. 2013. Torsional and longitudinal frequency and wave response of microtubules based on the nonlocal continuum and nonlocal discrete models. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 9355-9367.
- Ebrahimi, F., Barati, M.R., Civalek, Ö. 2019. Application of Chebyshev–Ritz method for static stability and vibration analysis of nonlocal microstructure-dependent nanostructures. *Engineering with Computers*, 1-12.
- Ece, M.C., Aydogdu, M., 2007. Nonlocal elasticity effect on vibration of in-plane loaded double-walled carbon nano-tubes. *Acta Mech.*, 190, 185–195.
- Eringen, A.C., Edelen, D.G.B., 1972. On nonlocal elasticity. *International Journal of Engineering Science*, 10, 233–248.
- Eringen, A.C., 1983. On differential equations of nonlocal elasticity and solutions of screw dislocation and surface-waves. *J. Appl. Phys.*, 54, 4703–4710.
- Jalaei, M.H., Civalek, Ö., 2019. A nonlocal strain gradient refined plate theory for dynamic instability of embedded graphene sheet including thermal effects. *Composite Structures*, 220, 209-220.
- Kounadis, A.N., Mallis, J., Sbarounis, A., 2006. Postbuckling analysis of columns resting on an elastic foundation. *Arch Appl Mech*, 75, 395–404.
- Li, C., Yao, L.Q., Chen, W.Q., Li, S., 2015. Comments on nonlocal effects in nano-cantilever beams. *International Journal of Engineering Science*, 87, 47–57.
- Li, C. 2014. A nonlocal analytical approach for torsion of cylindrical nanostructures and the existence of higher-order stress and geometric boundaries. *Composite Structures*, 118, 607–621.
- Li, C., Liu, J.J., Cheng, M., Fan, X.L., 2017. Nonlocal vibrations and stabilities in parametric resonance of axially moving viscoelastic piezoelectric nanoplate subjected to thermo-electro-mechanical forces. *Composites Part B-Engineering*, 116, 153–169.
- Liu, J.J., Li, C., Fan, X.L., Tong, L.H., 2017. Transverse free vibration and stability of axially moving nanoplates based on nonlocal elasticity theory. *Applied Mathematics and Computation*, 45, 65–84.
- Reddy, J.N., Pang, S.D., 2008. Nonlocal continuum theories of beam for the analysis of carbon nanotubes. *Journal of Applied Physics*, 103, 1–16.
- Şimşek, M., 2007. Vibration analysis of a single-walled carbon nanotube under action of a moving harmonic load based on nonlocal elasticity theory. *Physica-E Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 43, 182–191.
- Thai, S., Thai, H.T., Vo, T.P., Lee, S., 2018. Postbuckling analysis of functionally graded nanoplates based on nonlocal theory and isogeometric analysis. *Composite Structures*, 201, 13-20.
- Uzun, B., Yaylı, M.Ö., 2020a. A solution method for longitudinal vibrations of functionally graded nanorods. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12, 78-87.
- Uzun, B., Yaylı, M.Ö. 2020b. Nonlocal vibration analysis of Ti-6Al-4V/ZrO₂ functionally graded nanobeam on elastic matrix. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(4), 1-10.
- Uzun, B., Kafkas, U., Yaylı, M.Ö. 2020a. Axial dynamic analysis of a Bishop nanorod with arbitrary boundary conditions. *ZAMM- Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, e202000039.
- Uzun, B., Yaylı, M.Ö., Deliktaş, B. 2020b. Free vibration of FG nanobeam using a finite-element method. *Micro & Nano Letters*, 15(1), 35-40.
- Uzun, B., Civalek, Ö., Yaylı, M.Ö. 2020c. Vibration of FG nano-sized beams embedded in Winkler elastic foundation and with various boundary conditions. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1-20.

- Uzun, B., Kafkas, U., Yaylı, M.Ö. 2020d. Free vibration analysis of nanotube based sensors including rotary inertia based on the Rayleigh beam and modified couple stress theories. *Microsystem Technologies*, 1-11.
- Uzun, B., Kafkas, U., Yaylı, M.Ö. 2020e. Stability analysis of restrained nanotubes placed in electromagnetic field. *Microsystem Technologies*, 1-12.
- Wang, Q., Liew, K.M., 2007. Application of nonlocal continuum mechanics to static analysis of micro and nano-structures. *Phys. Lett. A*, 363, 236–242.
- Yaylı, M.Ö., 2014. On the axial vibration of carbon nanotubes with different boundary conditions. *IET Micro and Nano Letters*, 9, 807–811.
- Yaylı, M.Ö., Yanik, F., Kandemir, S.Y., 2015. Longitudinal vibration of nanorods embedded in an elastic medium with elastic restraints at both ends. *IET Micro and Nano Letters*, 10, 641–644.
- Yaylı, M.Ö., 2016a. Buckling analysis of a microbeam embedded in an elastic medium with deformable boundary conditions. *IET Micro and Nano Letters*, 11, 741–745.
- Yaylı, M.Ö., 2016b. A compact analytical method for vibration analysis of single-walled carbon nanotubes with restrained boundary conditions. *Journal of Vibration and Control*, 22, 2542–2555.
- Yaylı, M.Ö., 2017. Buckling analysis of a cantilever single-walled carbon nanotube embedded in an elastic medium with an attached spring. *IET Micro and Nano Letters*, 12, 255–259.
- Yoon, J., Ru, C.Q., Mioduchowski, A., 2003. Vibration of an embedded multiwall carbon nanotube. *Compos Sci Technol*, 63, 1533–1542.



İÇ ORTAM SICAKLIĞININ ISITMA VE SOĞUTMA DERECE SAAT DEĞERLERİNE ETKİSİNİN SAKARYA İÇİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa ERTÜRK*

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Sakarya, İç Ortam Referans Sıcaklığı, Isıtma Derece Saat, Soğutma Derece Saat, Enerji Değişimi, Enerji Tasarrufu.</i>	Bu çalışmada Sakarya son otuz altı yıllık meteorolojik veri seti ve geliştirilen yazılımlar kullanılmıştır. Bu veri seti ve yazılımlarla yılın on iki ayı için dış hava sıcaklık dağılımları, aylık ve sezonluk ısıtma ve soğutma derece saat değerleri farklı Referans İç Ortam Sıcaklığı(RİOS)'na göre hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre; Sakarya'da Isıtma dönemi ekim ayında başlamakta nisan ayında son bulmakta, soğutma dönemi ise mayıs ayında başlayıp ekim ayında sonlanmaktadır. Ek olarak seçilen iç ortam referans sıcaklığının 1-11°C üzerinde veya altında olması durumunda ısıtma ve soğutma derece saat değerlerindeki değişimler ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Isıtma dönemi analiz sonuçlarına göre; 24 °C seçilen RİOS, 28 °C yükseltildiğinde Isıtma Derece Saat (IDS) değeri % 27,6 artmakta, 20 °C düşürüldüğünde ise %26,9 azalmaktadır. Soğutma dönemi analiz sonuçlarına göre; 25 °C seçilen RİOS, 27 °C'ye çıkarıldığında Soğutma Derece Saat (SDS) değeri % 107 azalmakta, 20 °C düşürüldüğünde ise %55 artmaktadır.

INVESTIGATION INTO EFFECT OF INDOOR TEMPERATURE ON HEATING AND COOLING DEGREE HOUR VALUES FOR SAKARYA

Keywords	Abstract
<i>Sakarya, Indoor Reference Temperature, Heating Degree Hour, Cooling Degree Hour, Energy Change, Energy Saving.</i>	In this study, the last thirty-six years Sakarya meteorological data set and developed software are used. Based on this data set and software, outdoor temperature distributions, monthly and seasonal heating and cooling degree hour values are calculated for twelve months of the year according to different Indoor Reference Temperatures (IRTs). The results indicate that the heating period in Sakarya are from October to April inclusive. In addition, if the selected indoor reference temperature is 1°C -11°C above or below then the changes in the heating and cooling degree hours are analyzed in detail. According to the analysis results of the heating period, when the IRT is selected at 24°C then there is increase up to 28°C. Furthermore, the Heating Degree Hour (HDH) value increases by 27.6%, and when it is reduced to 20 °C, it decreases by 26.9%. The analysis results imply during the cooling period, if the RİOS is as 25°C then the increase reaches to 27°C, but the Cooling Degree Hour (CDH) value decreases by 107%, and when it is reduced to 20°C, then the increase appears as 55%.

Alıntı / Cite

Ertürk, M., (2021). İç Ortam Sıcaklığının Isıtma ve Soğutma Derece Saat Değerlerine Etkisinin Sakarya İçin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 599-605.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Ertürk, 0000-0002-0517-6940

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.08.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.03.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Küresel baz da enerji talebinin çoğu fosil türü kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu enerji talebi fosil türü yakıtların yeniden oluşmasına göre çok hızlı olması yakıt rezervlerinin sürekli olarak azalmasına neden olmaktadır. Bu

* İlgili yazar / Corresponding author: mustafaerturk@subu.edu.tr, +90-264-6160221

durum hem atmosfer havasını kirletmekte hem de küresel olarak ısınmaya neden olmaktadır. Nüfus artışı ve gelirleri artan insanlar enerjiye olan talebi sürekli olarak artırmaktadır.

Yeryüzü bitkilerinin fotosentezi ve okyanus, atmosfer etkileşiminden dolayı yaklaşık 204 milyar ton karbondioksit atmosfere her yıl çekilmektedir. Buna karşılık yeryüzünde bitkiler, hayvanlar ve toprağın soluması, fosil yakıt salınımlar, ormansızlaştırma ve okyanus atmosfer etkileşiminden dolayı her yıl yaklaşık 207 milyar ton karbondioksit atmosfere salınmaktadır. Bu durum yılda 3 milyar ton dolayında karbondioksit atmosfere fazladan ilave edilmesi atmosferdeki karbondioksit düzeyini 5-10 katına çıkmasına neden olmuş ve denge bozulmuştur. Bu fazlalık insanların fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosfere salınan karbon dioksit miktarına eşit olmaktadır (http://www.haberbilgi.com/bilim/cevre/kuresel_ismama03.html). İstanbul için yapılan bir çalışmada kış döneminde iç ortam sıcaklığı 24°C yerine 23°C seçilirse Türkiye bazında karbondioksit azaltma etkisi %1,258 azalmakta, karbondioksit azaltma oranı da %18,93 azalmaktadır (Ertürk vd. 2012). Türkiye'nin gelişen ekonomisi dünyanın önemli enerji tüketicileri arasına girmesine neden olmuştur. 2016 yılında, Türkiye'nin birincil enerji arzında petrol %31 (2007 yılında %30,9 ve 2011 yılında %26,6), kömür %28,2 (2007 yılında %28,7 ve 2011 yılında %31,3) ve doğal gaz %28,1 (2007 yılında %31,5 ve 2011 yılında %32,2) paya sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %12,7 (2007 yılında %8,9 ve 2011 yılında %9,7) olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, birincil enerji arzında karbon yoğunluğu bakımından Türkiye OECD ortalamasının üzerinde yer almaktadır (<http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/On-Birinci-Kalkinma-Plani.pdf>). Türkiye'de konutlarda tüketilen toplam enerjinin %70'i ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Avrupa birliğinde ise bu rakam %57 olup bu enerjinin ve %25'i sıcak su üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca eski binalarda enerji tüketimi 200-250 kWh/m² iken yeni binalarda bu değer 100-150 kWh/m² ile sınırlandırılmak istenmektedir (Dilmaç ve Kesen, 2003). Türkiye'de ısıtma amaçlı enerji tüketimini azaltmak için yapılması gerekenler; (i) Isıtma ve soğutma yüklerini azaltmak için konfor şartlarını bozmadan hem alışkanlıkların değiştirilmesi hem de yalıtım yapılması (ii) Yüksek verimli ısıtma ve soğutma sistemleri kullanımı; ısıtma ve soğutma yüklerine göre kapasite kontrol sistemleri kullanılması. iii) Binalarda yenilenebilir enerji kullanımının artırılması (Coşkun vd., 2009). Enerji tüketim ve üretim tahmini, ulusal baz da kısa, uzun dönemli enerji planlaması ve tesis yatırımları için önem arz etmektedir. Günlük veya saatlik tahminler enerji üretiminin kontrolü ve programlanması için gereklidir. Ayrıca yük akışının analizinde giriş verisi olarak kullanılır. Orta ve uzun dönemli tahminler (haftalık veya yıllık) bakım programları ve işletme planlaması için gereklidir. Bu tahminler toplam enerji tüketimi içinde konut sektörünün payını bulmada ve aileler için ekonomik, verimli ısıtma sistemini belirlemede de kolaylık sağlaması önem arz etmektedir (Durmayaç ve Kadioğlu M, 2003).

Bu çalışmada iç ortam sıcaklığının ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi Sakarya için ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Konfor ortamını bozmadan alışkanlıklardaki küçük değişimlerin konut bazlı enerji tüketiminin azaltılması, ülkenin enerji bağımlılığının azaltılması, çevre-hava kirliliğinden dolayı oluşan küresel ısınmanın azaltılması amaçlanmıştır. Ayrıca Sakarya ilinde bulunan kamu, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve insanların enerji tüketimi konusunda farkındalık oluşturacağı hedeflenmiştir.

2. Hesaplama Yöntemi ve Analiz (Calculation Method and Analysis)

Mahallerin ısıtma ve soğutma amaçlı mevsimsel enerji ihtiyacı binaların mimari tasarım, malzeme karakteristikleri, meteorolojik sıcaklık ölçümlerine göre belirlenmektedir. Belirli bir zaman aralığında bir mahalin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacı derece zaman yöntemiyle tahmin edilmektedir. Bu yöntemde, ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacının iç ve dış ortamların sıcaklık farkı ile doğru orantılı olduğu kabul edilmektedir (Nakicenovic vd 1998). Derece zaman yöntemleriyle (i) binaların ısıtma-soğutma yükleri hesaplanmakta (ii) her il için ısıtma ve soğutma sezonlarındaki toplam enerji miktarı ve sezondaki her ay için tüketilecek enerji miktarı tahmin edilmekte (iii) doğal gaz taşıma boru hattı çapları hesaplanmakta (iv) konutlarda ısıtma amaçlı yakıt miktarı yıllık ve sezondaki her ay için ve soğutma döneminde sezonluk ve aylık enerji tüketimi belirlenmekte (v) ülke bazlı yıllık yakıt tüketimi hesaplamalarında (vi) ömür maliyet analizi yöntemine göre optimum dış duvar yalıtım kalınlıkları bulunmakta (vii) tarımda ekim, dikim, hasat zamanları belirlenip ürünün nerede yetiştirileceği belirlenmekte (viii) zirai mücadelenin ise hangi günlerde olacağı tahmin edilmesinde kullanılmaktadır (Ertürk, 2012).

Literatürde derece zaman yöntemiyle ilgili üç farklı (bin, derece gün, derece saat) yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada daha hassas olduğu için derece saat yöntemi kullanılmıştır. Derece saat yöntemiyle kapalı hacimlerin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacı tahmin edilmektedir. Derece saat yönteminde, öncelikle en az on yıllık geçmiş yıllara ait yıllık (8760 saat) kayıt altına alınmış dış hava sıcaklıklarının olması gereklidir (Bulut vd., 2002). Bu sıcaklıklar analiz edilip belirli bir denge noktasına göre derece saat değerleri tespit edilmektedir. Denge noktası sıcaklığı, bir binada ısıtmaya veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı durumdaki dış ortam sıcaklığıdır. Genelde, yalıtımsız bir bina için derece saat değerleri ısıtmada 18°C, soğutmada ise 22°C denge sıcaklığı için hesaplanır. IDS değeri ve SDS değeri aşağıdaki eşitliklerle belirlenir [Dilmaç ve Kesen, 2003].

$$IDS = (1 \text{ saat}) \sum \text{saatler}(T_b - T_d) + \quad [^\circ\text{C. saat}] \quad (1)$$

$$SDS = (1 \text{ saat}) \sum \text{saatler}(T_d - T_b) + \quad [^\circ\text{C. saat}] \quad (2)$$

T_b: Saatlik iç ortam sıcaklığı [°C]

T_d: Saatlik dış ortam sıcaklığı [°C]

Denklemlerdeki parantezin üzerindeki '+' işareti sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını göstermektedir. IDS ve SDS değerleri kullanılarak, aylık veya yıllık ısıtma enerjisi Q_i, soğutma enerjisi gereksinimi Q_s gereksinimi, kWh olarak aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir (Durmayaç A., Kadioğlu M., 2003).

$$Q_i = \frac{K_{top}}{\eta} IDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$Q_s = \frac{K_{top}}{COP} SDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

K_{top}: Binanın toplam ısı transfer katsayısı [W/m²K]

η : Binada kullanılan ısıtma sistemi verimi,

COP: Binada kullanılan soğutma sistemi etkinlik katsayısı.

Q_i: Isıtma enerjisi gereksinimi [kWh]

Q_s: Soğutma enerjisi gereksinimi [kWh]

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1972-2018 yılları arasında Sakarya için kayıt altına alınan dış hava sıcaklığı meteorolojik veri seti kullanılmıştır. Geliştirilen iki yazılımla Sakarya için ısıtma ve soğutma sezonlarındaki her ay için ve sezonluk olarak derece saat değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları basit tablolar haline dönüştürülerek iç ortam sıcaklığının ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi Sakarya ili için literatüre kazandırılmıştır.

3. Bulgular (Findings)

Konutlar için RİOS; ısı kaybı hesaplamalarında 20°C (TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği), ısı kazancı hesaplamalarında ise 25 °C olarak alınmaktadır (Bulut vd., 2006). Bu bölümde ısıtma amaçlı 20°C seçilen RİOS'nun artırılması durumunda ısıtma enerjisindeki artış, 20°C'nin altında seçilen RİOS'nun artırılması durumunda ise ısıtma enerjisindeki azalma oranı ortaya konulmuştur. Ayrıca soğutma amaçlı 25°C seçilen RİOS'nun artırılması durumunda ısıtma enerjisindeki azalma oranı, 25°C'nin altında seçilen RİOS'nun soğutma enerjisindeki azalma oranı ortaya konulmuştur. Bu bölümde ısıtma ve soğutma amaçlı RİOS'nun enerji tüketimine etkisi ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1 Sakarya Isıtma Derece Saat Değerlerinin Hesaplanması (Calculation Of Heating Degree Hour Values for Sakarya)

Analiz sonuçlarına göre Sakarya için ısıtma dönemi ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan ayları olduğu belirlenerek ısıtma dönemi IDS değerleri on bir farklı (18-28 °C) RİOS'na göre sezonluk ve her ay için hesaplanarak Tablo 1'de verilmiştir. Aylık IDS değeri hesaplamaları sezonluk IDS değerine göre oransal olarak belirlenmiştir. Aylık ve sezonluk IDS değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de on bir farklı RİOS' göre en yüksek IDS değeri ocak ayında, en düşük IDS değeri de ekim ayında olacağı görülmektedir.

Tablo 1'de 22 °C RİOS' na göre sezonluk IDS 62447 derece saat olarak verilmiştir. Sezonluk her ay için IDS değerleri Eşitlik 5'le hesaplanabilir.

$$\text{Aylık IDS} = \text{Sezonluk IDS} \times \text{aylık oransal IDS} \quad [^\circ\text{C. Saat}] \quad (5)$$

Tablo 1'de 22 °C RİOS'na göre oransal olarak IDS değeri Ocak ayı için 0,185, Ekim ayı içinse 0,079 olarak verilmiştir. Ocak ve ekim ayları IDS değeri Denklem 6-7 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Ocak IDS} = 62447 \times 0,185 = 11553 \quad [^\circ\text{C. Saat}] \quad (6)$$

$$\text{Ekim IDS} = 62447 \times 0,079 = 4933 \quad [^\circ\text{C. Saat}] \quad (7)$$

Tablo 1. Farklı Referans İç Ortam Sıcaklığına Göre Aylık ve Sezonluk Isıtma Derece Saat Değerleri (Monthly and Seasonal Heating Degree Hour Values According to Different Indoor Reference Temperatures)

RİOS (°C)	Sakarya Isıtma Sezonu Aylar							Sezonluk IDSD (°C-saat)
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık	
	Ayların toplam içindeki yüzdelik dağılımı (%)							
18	19,9	19,5	16,1	9,8	5,9	12,0	16,8	43525
19	19,5	19,1	16,0	10,1	6,4	12,2	16,7	48126
20	19,1	18,8	15,9	10,3	7,0	12,4	16,5	52825
21	18,8	18,4	15,7	10,6	7,5	12,6	16,4	57604
22	18,5	18,2	15,6	10,8	7,9	12,7	16,3	62447
23	18,2	17,9	15,5	11,0	8,3	12,8	16,2	67342
24	18,0	17,7	15,5	11,2	8,7	12,9	16,1	72275
25	17,7	17,5	15,4	11,4	9,0	13,0	16,0	77238
26	17,5	17,3	15,3	11,6	9,3	13,1	15,9	82225
27	17,4	17,1	15,3	11,7	9,6	13,2	15,8	87228
28	17,2	17,0	15,2	11,8	9,8	13,3	15,7	92244

Bu yaklaşımla farklı iç ortam sıcaklığına göre ısıtma sezonundaki her ay ve sezonluk IDS değeri ortaya konulmuştur.

3.2. İç Ortam Sıcaklığının Isıtma Yüklerine Etkisinin Araştırılması (Investigation of the effect of indoor temperature on heating loads)

Tablo 1'deki sezonluk IDSdeğerleri baz alınarak iç ortam sıcaklığındaki $\pm 1^\circ\text{C}$ farkın ısıtma enerjisindeki değişimin yüzde olarak etkisi analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablonun 1 inci sütununda RİOS, son sütunda ise sezonluk IDS değeri, iç sütunlarda ise Değiştirilmesi İstenen İç Ortam Sıcaklığı (DİİOS) değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Farklı Referans İç Ortam Sıcaklığına Göre Isıtma Derece Saat Değerinin Yüzde Olarak Değişimi (Percentage Change in Heating Degree Hour Values According to Different Indoor Reference Temperatures)

RİOS [°C]	SAKARYA											IDS [°C hour]
	DİİOS [°C]											
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
18	0,0	-9,6	-17,6	-24,4	-30,3	-35,4	-39,8	-43,6	-47,1	-50,1	-52,8	43525
19	10,6	0,0	-8,9	-16,5	-22,9	-28,5	-33,4	-37,7	-41,5	-44,8	-47,8	48126
20	21,4	9,8	0,0	-8,3	-15,4	-21,6	-26,9	-31,6	-35,8	-39,4	-42,7	52825
21	32,3	19,7	9,0	0,0	-7,8	-14,5	-20,3	-25,4	-29,9	-34,0	-37,6	57604
22	43,5	29,8	18,2	8,4	0,0	-7,3	-13,6	-19,1	-24,1	-28,4	-32,3	62447
23	54,7	39,9	27,5	16,9	7,8	0,0	-6,8	-12,8	-18,1	-22,8	-27,0	67342
24	66,1	50,2	36,8	25,5	15,7	7,3	0,0	-6,4	-12,1	-17,1	-21,6	72275
25	77,5	60,5	46,2	34,1	23,7	14,7	6,9	0,0	-6,1	-11,5	-16,3	77238
26	88,9	70,9	55,7	42,7	31,7	22,1	13,8	6,5	0,0	-5,7	-10,9	82225
27	100,4	81,2	65,1	51,4	39,7	29,5	20,7	12,9	6,1	0,0	-5,4	87228
28	111,9	91,7	74,6	60,1	47,7	37,0	27,6	19,4	12,2	5,8	0,0	92244

Tablo 2'de; DİİOS ile RİOS'un aynı sütun ve satır rakamlarının kesiştiği yerin sıfır olduğu görülmektedir. 0.0 değerinin üst satırına bakıldığında ısıtma yükündeki oransal azalma (-) , alt satırına bakıldığında ise ısıtma yükündeki artış yüzde olarak görülmektedir. Sezonluk IDS değerleri ise son sütunda görülmektedir. Örnek olarak Tablo 2'de görüleceği üzere RİOS 24°C iken DİİOS 28°C' ye çıkarıldığında % 27,6 ısıtma yükünün artacağı, RİOS 24°C'den DİİOS 20°C düşürüldüğünde ise ısıtma yükünün % 26,9 azalacağı görülmektedir.

3.3 Sakarya Soğutma Derece Saat Değerlerinin Hesaplanması (Calculation Of Cooling Degree Hour Values for Sakarya)

Analiz sonuçlarına göre Sakarya için soğutma dönemi mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül ve ekim ayları olduğu belirlenerek soğutma dönemindeki her ay için ve sezonluk SDS değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'te soğutma sezonundaki her ay için SDS değeri sezonluk SDS değerine göre oransal olarak verilmiştir. Tablo 3'te on bir farklı RİOS na göre en yüksek SDS değeri temmuz ayında, en düşük SDS değeri de ekim ayında olacağı görülmektedir.

Tablo 3. Farklı Referans İç Ortam Sıcaklığına Göre Aylık ve Sezonluk Soğutma Derece Saat Değerleri (Monthly and Seasonal Cooling Degree Hour Values According to Different Indoor Reference Temperatures)

Referans Sıcaklık [°C]	Sakarya Soğutma Sezonu Aylar							Sezonluk SDS [°C-saat]
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim		
	Ayların toplam içindeki yüzdelik dağılımı (%)							
18	8,6	19,4	27,0	26,1	13,9	5,0		14446
19	8,3	19,5	27,6	26,5	13,4	4,7		11884
20	8,0	19,6	28,1	26,9	13,0	4,4		9616
21	7,7	19,7	28,6	27,2	12,6	4,1		7649
22	7,5	19,9	29,1	27,5	12,2	3,8		5981
23	7,2	20,1	29,6	27,8	11,8	3,6		4588
24	6,9	20,4	30,0	28,1	11,3	3,4		3441
25	6,6	20,6	30,4	28,3	10,9	3,2		2515
26	6,4	21,0	30,7	28,4	10,5	3,0		1783
27	6,2	21,5	30,8	28,2	10,3	2,9		1220
28	6,1	22,2	30,9	27,9	10,2	2,7		802

Tablo 3'te 25 °C RİOS' na göre sezonluk SDS değeri 2515 derece saat olarak verilmiştir. Sezonluk her ay için SDS değeri de Denklem 8' le hesaplanabilir.

$$\text{Aylık SDS} = \text{Sezonluk SDS} \times \text{aylık oransal SDS} \quad [^{\circ}\text{C. Saat}] \quad (8)$$

25 °C RİOS na göre temmuz ve ekim ayı SDS değerleri Denklem 9-10' la hesaplanarak aşağıda verilmiştir.

$$\text{Temmuz SDS} = 2515 \times 0,304 = 765 \quad [^{\circ}\text{C. Saat}] \quad (9)$$

$$\text{Ekim SDS} = 2515 \times 0,032 = 81 \quad [^{\circ}\text{C. Saat}] \quad (10)$$

Bu yaklaşımla farklı iç ortam sıcaklığına göre soğutma sezonundaki her ay için ayrı ayrı ve sezonluk SDS değerleri için, kullanımı basit tablo yaklaşımı getirilmiştir. Bu yaklaşımla RİOS'nın soğutma enerji ihtiyacına etkisi açıklanmıştır.

3.4 İç Ortam Sıcaklığının Soğutma Yüklerine Etkisinin Araştırılması (Investigation of the effect of indoor temperature on coling loads)

Tablo 3'deki sezonluk SDS değerleri baz alınarak iç ortam sıcaklığındaki $\pm 1^{\circ}\text{C}$ farkın soğutma enerjisindeki yüzde olarak etkisi analiz edilerek analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Bu tablonun 1 inci sütununda RİOS, son sütunda ise sezonluk SDS değeri, iç sütunlarda ise DİİOS verilmiştir.

Tablo 4'te; RİOS ile DİİOS'in aynı sütun ve satır rakamlarının kesiştiği yerin sıfır olduğu görülmektedir. 0.0 değerinin sağ ve sol tarafına bakılarak enerji talebindeki azalma ve artma yüzdesel olarak görülmektedir. Mevcut iç ortam referans sıcaklığına göre referans alınacak sıcaklık yüksek seçildiğinde değişimin oransal olarak azaldığı, mevcut iç ortam referans sıcaklığına göre referans alınacak sıcaklık düşük seçildiğinde değişimin oransal olarak arttığı görülmektedir.

Tablo 4 .Farklı Referans İç Ortam Sıcaklığına Göre Soğutma Derece Saat Değerinin Yüzde Olarak Değişimi (Percentage Change in Cooling Degree Hour Values According to Different Indoor Reference Temperatures)

RİOS [°C]	DİİOS [°C]											Sezonluk SDS [°C-saat]
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
18	0,0	-21,6	-50,2	-88,9	-141,5	-214,9	-319,8	-474,4	-710,2	-1084,1	-1701,2	14446
19	17,7	0,0	-23,6	-55,4	-98,7	-159,0	-245,4	-372,5	-566,5	-874,1	-1381,8	11884
20	33,4	19,1	0,0	-25,7	-60,8	-109,6	-179,5	-282,3	-439,3	-688,2	-1099,0	9616
21	47,1	35,6	20,5	0,0	-27,9	-66,7	-122,3	-204,1	-329,0	-527,0	-853,7	7649
22	58,6	49,7	37,8	21,8	0,0	-30,4	-73,8	-137,8	-235,4	-390,2	-645,8	5981
23	68,2	61,4	52,3	40,0	23,3	0,0	-33,3	-82,4	-157,3	-276,1	-472,1	4588
24	76,2	71,0	64,2	55,0	42,5	25,0	0,0	-36,8	-93,0	-182,0	-329,1	3441
25	82,6	78,8	73,8	67,1	58,0	45,2	26,9	0,0	-41,1	-106,1	-213,6	2515
26	87,7	85,0	81,5	76,7	70,2	61,1	48,2	29,1	0,0	-46,1	-122,3	1783
27	91,6	89,7	87,3	84,1	79,6	73,4	64,5	51,5	31,6	0,0	-52,1	1220
28	94,4	93,3	91,7	89,5	86,6	82,5	76,7	68,1	55,0	34,3	0,0	802

Örnek olarak Tablo 4’de görüleceği üzere RİOS 22°C iken DİİOS 26°C’ ye çıkarıldığında SDS değerinin % 235,4 azalacağı, RİOS 22°C iken DİİOS 20°C’ ye düşürüldüğünde ise SDSA’nın % 37,8 artacağı görülmektedir.

4. Sonuç (Result)

Sakarya için yapılan bu çalışmayla iç ortam referans sıcaklığının İSDS ve SDSA’lerine etkisi ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ısıtma ve soğutma amaçlı ikişer tablo olmak üzere kullanımı basit dört tablo halinde literatüre sunulmuştur.

Isıtma amaçlı sunulan Tablo1’de, ısıtma dönemi başlangıç, bitiş ayları, bu ayların her birisi için aylık bazda İDS değerleri, sezonluk İDS değerleri ortaya konulmuştur. Tablo 2’de on bir farklı RİOS’nın ısıtma yüklerine etkisi ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

Soğutma amaçlı sunulan Tablo 3’te soğutma dönemi başlangıç, bitiş ayları, bu ayların her birisi için aylık bazda SDS değerleri, sezonluk SDS değerleri ortaya konulmuştur. Tablo 4’te ise on bir farklı RİOS’nın soğutma yüklerine etkisi ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre;

Isıtma sezonu şubat ayı için İORS 20 °C sabit tutulduğunda İDS değeri 9931 İDS, İORS; 26°C’ye çıkartıldığında İDS değeri 14225 İDS, 19°C düşürüldüğünde ise İDS değeri 9384 İDS olmaktadır.

Isıtma sezonunda 22 °C RİOS 27°C çıkarıldığında İDS değeri % 40 artmakta, 19 °C’ye düşürüldüğünde ise İDS değeri %23 azalmaktadır.

Soğutma sezonu temmuz ayı için İORS 25 °C sabit tutulduğunda SDS değeri 764,56 SDS, İORS; 27°C’ye çıkartıldığında SDS değeri 178.5 SDS, 19°C düşürüldüğünde ise SDS değeri 2136.5 SDS olmaktadır.

Soğutma sezonunda 25 °C RİOS 27°C çıkarıldığında SDS değeri % 106 azalmakta, 23°C düşürüldüğünde ise %45 azalmaktadır.

Sakarya için ilk defa literatüre kazandırılan bu çalışmayla RİOS’ nın ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine etkisi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu yaklaşımla ısıtma-soğutma sistemleri kullanıcıları, makine mühendisleri, sanayicilere hatta enerji ve çevre konusunda çalışan akademisyenlere kullanımı basit bir kaynak olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, fert ve ülke ekonomisine, enerji ithalatının azaltılmasına ve küresel ısınmanın azaltılmasına önemli katkıda bulunacağı öngörülmektedir

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Bulut H., Buyukalaca O., Yilmaz, T., 2002. Determination and application of the data used in energy estimation methods for Istanbul. 5th International HVAC&R Technology Symposium 1-11. İstanbul.
- Bulut H., Durmaz F., Aktacir M.A., 2006. İklimlendirme Sistemleri İçin Soğutma Yüğü Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması. VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu. 1-12. İstanbul.
- Coşkun C., Oktay Z., Ertürk M., 2009. Konutların Isıtma Sezonunda Seçilen İç Ortama Sıcaklık Parametresinin Enerji-Maliyet-Çevre Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama Örneği, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1: 529-538. İzmir.
- Dilmaç ve Kesen. 2003. A Comparison of New Turkish Thermal Insulation in Building. Energy and Building, 35 (2): 161 – 174.
- Durmayaz A., Kadioğlu M., 2003. Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey, Energy Conversion and Management, 44 (7) : 1177-1192.
- Ertürk M., 2012. Isıtma ve Soğutma Derece Saat Hesaplamalarında Farklı Bir Yöntemin Araştırılması ve Geliştirilmesi,. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Balıkesir, Türkiye.
- Ertürk M., Coskun C., Çay Y., Koçyiğit A., Oktay., 2012. Isıtma Amaçlı Enerji Değişiminin Karabük İli İçin Araştırılması. Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi 171-184.
- http://www.haberbilgi.com/bilim/cevre/kuresel_isinma03.html. Erişim Tarihi 20.06.2020
- <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/10/20081009-2.htm>. Erişim Tarihi 20.06.2020.<http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/On-Birinci-Kalkinma-Plani.pdf>9. Erişim Tarihi 20.06.2020
- Nakicenovic N., Grübler A., Mcdonald A., 1999. Global Energy Perspectives, Cambridge University. Environmental Progress & Sustainable Energy, 18 (3):151-230.
- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği, 9 Ekim, Perşembe, 2008, Sayı : 27019. Erişim Adresi



TERSİNE MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA SOLIDWORKS SCAN TO 3D MODÜLÜ KULLANARAK TARAMA DATASINDAN KATI MODEL OLUŞTURULMASI

İsmet ÇELİK*, Ebru IŞIK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Tersine Mühendislik,
Bilgisayar Destekli Tasarım,
3 Boyutlu Tarama.*

Öz

Tersine mühendislik; CAD dataları olmayan parçaların üretilmesi, uzun süre kullanım sonucu yıpranan ya da hasar gören parçaların tamiri ya da yeniden üretilmesi, CAD dataları mevcut parçalar üzerinde yenilik veya düzeltmeler yaparak yeni parçaların ortaya çıkarılması, seri üretimine başlanacak parçaların kalite kontrolünde yararlanılması gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Tersine mühendislikten makine, arkeoloji, tıp, diş hekimliği, tekstil ve daha birçok bilim dalı yararlanmaktadır. Tersine mühendislik işlemleri genellikle tersine mühendislik için özel hazırlanan programlar ile yapılmaktadır. Günümüzde endüstride tasarım için yaygın kullanılan CAD programları ile de tersine mühendislik işlemleri belirli bir seviyeye kadar yapılabilir hale gelmiştir. Ancak endüstride bu CAD programlarının tersine mühendislik için de kullanılabildiği pek fazla bilinmemektedir. Bu çalışma kapsamında endüstride tasarım için yaygın kullanılan SolidWorks programının tersine mühendislik için kullanılabileceği gösterilmek istenmiştir. Araştırmada endüstriyel parça öncelikle optik tarama cihazıyla taranmıştır. Taramadan elde edilen veriler nokta bulutu ya da STL (Standard Triangle Language) formatında bilgisayar ortamına aktarılmıştır. CAD programının tersine mühendislik modülünde veriler düzenlenmiş ve parçanın katı modeli oluşturulmuştur.

CREATING SOLID MODELS WITH SCANNED DATA BY USING SOLIDWORKS SCAN TO 3D MODULE AT REVERSE ENGINEERING

Keywords

*Reverse Engineering,
Computer Aided Design,
3D Scanning.*

Abstract

Reverse engineering is used for many purposes; as a way to make new parts when CAD data is not available, to repair parts which is damaged cause of long term use or reconstructing, to add new features or re-arrangements on existing parts which have already CAD data, to benefit from quality control of parts which will be started to serial production. Machinery, archaeology, medicine, dentistry, textile and more branches of sciences can benefit from reverse engineering. Reverse engineering operations are usually made by softwares which is designed specially for reverse engineering. In present days, reverse engineering process can be done up to a level with widely used CAD programmes. But in the industry it is not known enough that CAD programmes can be also used for reverse engineering. In this study, it has been wanted to show that solidwork programme -which is widely used in industry- can be used for reverse engineering. In this search, firstly, industrial part has been scanned with an optical scanner. And then data, obtained from scanning process, has been transferred to computer environment as STL (Standard Triangle Language) format. S ubsequently, data -which has been transferred to the computer environment before- has been arranged and solid model of the part has been created at reverse engineering module of CAD programme.

Alıntı / Cite

Çelik, İ., Işık, E., (2021). Tersine Mühendislik Çalışmalarında Solidworks Scan to 3d Modülü Kullanarak Tarama Datasından Katı Model Oluşturulması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 606-615.

* İlgili yazar / Correyasponding author: ismet.celik@dpu.edu.tr, +90 274-433-4178

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
İ. Çelik, 0000-0002-6564-0880	Başvuru Tarihi / Submission Date	09.11.2020
E. Işık, 0000-0002-6328-8166	Revizyon Tarihi / Revision Date	08.03.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	01.05.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Tersine mühendislik fiziksel modellerden geometrik modellerin oluşturulması, mevcut bir parçanın yeniden tasarlanması ve boyutlarının analizi için sistematik bir yaklaşımdır (Eren vd., 2018). Tersine mühendislikte amaç, ortada hiçbir CAD model yok iken, bir nesnenin gelecek çalışmalarda kullanılmak üzere başarılı bir şekilde 3B CAD modelini oluşturmaktır (Şahin vd., 2017). Tersine mühendislik işlemlerinde ilk olarak belirlenen bir ürün optik ya da lazer tarama cihazlarıyla taranarak elde edilen veriler tarama cihazı ile entegre çalışan bir programa aktarılır. Bu programda kayıt altına alınan nokta bulutu verileri bilgisayar ortamına aktarılır. Bilgisayar ortamında nokta bulutu verileri düzenlenir. Düzenlenmiş nokta bulutu verilerinden ürünün katı modeli oluşturulur. Katı modeli oluşturulan ürün imal edilmek istenirse hızlı prototipleme ya da klasik yöntemlerle imal edilerek tersine mühendislik işlemleri tamamlanır.

Tersine mühendislik, ürünün üretim süreçleri de dahil olmak üzere özelliklerinin ve ürünü oluşturan bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkisinin analiz edilmesidir (Chikofsky vd.,1990: İşbilir F. vd.'den,2018).

Tersine mühendislik bir nesnenin kopyasını ya da fonksiyonel olarak yeniden konstrüksiyonunu yapmak için bir ölçme, analiz ve test süreci olarak tanımlanabilir (Önçağ vd., 2017). Bu yaklaşım bir ürünün yüzey verilerinin elde edilmesini, bu veriler ile CAD modelinin oluşturulmasını ve sonrasında imalatını kapsayan bir süreçtir.

Tersine mühendislikten makine, arkeoloji, tıp gibi birçok alanda faydalanılır. Makine endüstrisinde CAD datası mevcut olmayan ya da karmaşık şekilli parçalar tekrar üretilmek istendiğinde parçaların yeniden tasarımını yapmak uzun zaman alacağından tersine mühendislik yaklaşımıyla mevcut parçanın CAD dataları hızlı bir şekilde oluşturulabilir. Örneğin; helis dişlilerin diş profili karmaşık yapıldığından tasarımı zahmetlidir ve tasarım uzun zaman almaktadır. Şahin ve arkadaşları karmaşık şekle sahip hasarlı helis dişlisinin tekrar oluşturulması çalışmasında tersine mühendisliğin sunduğu kolaylıklardan dolayı tersine mühendislik yaklaşımından faydalanmışlardır (Şahin vd.,2017). Tersine mühendislik yaklaşımı arkeoloji alanında dijital arşivlemede kullanılır. Tarihi eserler 3 boyutlu tarama cihazlarıyla taranarak eserlerin CAD dataları elde edilir, ürün hasar gördüğünde daha önce tersine mühendislik ile elde edilen datalar yardımıyla eserlerin hasar gören parçaları aslına uygun olarak onarılabilir. Bu kapsamda Bursa Büyükşehir Belediyesi, olası bir felakete karşı Bursa Ulu Cami ve diğer tarihi yapıları lazer taraması ile bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Tıp alanında protez ve implant imalatında kişiye özel tasarım oluşturulurken tersine mühendislikten faydalanılır. Kişiye özel tasarımlar hastanın daha hızlı bir şekilde iyileşmesini sağlar ve hastanın hayat kalitesini artırır. Çelebi ve arkadaşları çalışmalarında kişiye özel implant tasarımı yapmak için tersine mühendislik yaklaşımı kullanmışlardır. Kafatası hasar görmüş bir hastanın bilgisayarlı tomografisinden kafatasının .stl verilerini elde etmişlerdir. Kafatasının dijital verileri ile hasarlı bölüm için hastaya özel implant tasarlamışlardır. (Çelebi vd.,2017)

Tersine mühendislik işlemi temel olarak aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir (Sarı, 2019). İlk aşama tarama veya diğer adıyla dijitalleştirilmedir. Model yüzeyi optik ya da lazer tarayıcılar yardımıyla taranır. Optik tarama cihazlarıyla küçük çapta delik içermeyen ve yüzeyi üzerinde daha az detay bulunan parçalarda tercih edilirken; lazer tarama cihazları daha kompleks parçaların taranmasında tercih edilir. Model yüzeyinden alınan veriler nokta topluluğu şeklindedir bu nokta topluluğuna nokta bulutu denir. Alınan veriler nokta bulutu veya noktaların örüntülediği mesh yapısı şeklinde kaydedilir. Tarama cihazları ile entegre çalışan yazılımlar doğrudan mesh yapıyı da çıktı olarak verebilir. Bu durumda CAD ortamına meshli veri aktarılabilir. CAD programına aktarılan stl veya ply formatındaki tarama verilerinin mesh yapıları üzerinde düzenlemeler yapılabilir. Stl (Standard Triangle Language) veri formatı parça yüzeyinin, noktaların üçgenlerle birleştirildiği yüzey tanımlamasıdır. Her üçgen üç nokta ve yüzeyinin bir yön vektörü ile tanımlandığı bir yapıdadır. Normal vektör ve noktalar x, y ve z koordinatlarıyla temsil edilir (Manmadhachary vd., 2016).

Tarama verisi CAD programlarında nokta bulutu ya da mesh yapı olarak açılabilir. Açılan dosyalar CAD modeli yapısı olmayıp üzerinde herhangi bir CAD işlemi yapılamaz. Verinin işlenerek düzenlenmesi ve CAD katı modeline dönüştürülmesi gerekir. Bu işlemler tersine mühendislik kapsamında yapılır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Tersine mühendislik alanında yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

Sarı, çalışmasında hali hazırda kullanılan statik üst ekstremite ortezlerinin (el, kol, ön kolda işlev kaybı ya da işlevde azalma olduğunda kullanılan yardımcı eleman) ciltte zedelenme, kontraktürler, enfeksiyon vb. komplikasyonlara neden olduğuna değinmiştir. Bu komplikasyonları en aza indirmek ya da ortadan kaldırmak amacıyla statik üst ekstremite ortezlerinin tersine mühendislik yaklaşımı kullanılarak tasarımı ve 3B yazıcı vasıtasıyla üretimini amaçlamıştır. Çalışmasının sonucunda her hastaya özel hafif, zarif, su ile temas edebilen, terlemeyen, koku yapmayan, bakteri ve mikrop oluşumunun yaşanmadığı, rahat ve konforlu ortezler elde etmiştir (Sarı, 2019).

Demir çalışmasında, uyluk (femur) ve kaval (tibia) kemik doku kaybı olan bir hastanın tomografik görüntüsünden faydalanılarak kişiye özel diz protezi ve protezin takılmasında kullanılacak kemik kesi kılavuz parçalarının tasarımı ve üretimi için kemik geometri dokusunun sayısallaştırıcı programlar kullanılarak 3B model görünümünün elde edilmesine çalışmıştır. Tasarımı ve teknik çizimi imkansız gibi görünen insana ait prototip uyluk kemiğinin 3B model görünümü ve teknik çiziminin tersine mühendislik yöntemiyle nasıl elde edilebileceği örnekle açıklanmıştır (Demir, 2018).

Önçağ ve arkadaşları sanayide kullanımı fazla olan mekanik parçaların yeniden tasarım ya da onarımı için tersine mühendislik yöntemi kullanan literatür çalışmalarını incelemiş ve bir iş akışı oluşturmuşlardır. Oluşturdukları iş akışını bir turboşarj dirseği üzerinde uygulamışlardır. Tersine mühendislik yaklaşımıyla elde ettikleri katı modeli birebir ölçekte 3D yazıcılarda basmışlardır. Çalışmada kullanılan örnek parçayı akış şemasına göre değerlendirmişlerdir. 3D yazıcı kullanımının tersine mühendislik uygulamalarının standart bir parçası haline gelebileceği sonucuna ulaşmışlardır (Önçağ vd., 2018).

Çetinel, çalışmasında iki ya da üç boyutlu nesnelerin ölçümünü fotoğraf verileri ile yapan bir teknik olan Fotogrametri yöntemini kullanarak tersine mühendislik çalışmaları yapmıştır. Fotogrametrik yöntemi için gerekli yazılım kodlarını oluşturmuş ve mevcut kodları derlemiştir. Farklı uygulamalar için adapte edilebilecek esnek ve basit algoritmalar geliştirmiştir. Tezde araştırılan teorik konular ve uygulamaların pratikte nasıl gerçekleştirilebileceği, gerçek bir örnek ile gösterilmiştir (Çetinel, 2008).

Kaplan, çalışmasında, bakım çalışmaları yapılan bir hidroelektrik santralinde bulunan su türbini çark kanatlarının onarımında tersine mühendislik işlemlerinden faydalanmıştır. Karmaşık yapıya sahip parçaların klasik ölçüm aletleriyle (kumpas, mikrometre vb.) teknik bilgilerinin çıkarılmasının olanaksız olduğunu belirtmiştir. Tersine mühendislik yönteminde ise optik tarayıcılar yardımıyla gerekli teknik veriler toplanıp tersine mühendislik programlarıyla kolayca bu veriler işlenebileceğinden Kaplan çalışmasında tersine mühendislik yöntemini seçmiştir. Tersine mühendislik yöntemi kullanarak su türbini çark kanatlarının onarımını gerçekleştirilmiştir (Kaplan, 2016).

Literatür çalışmaları incelendiğinde klasik yöntemlerle üretilen ortezlere nazaran daha kullanışlı kişiye özel statik üst ekstremite ortezlerinin tersine mühendislik yöntemi ile tasarımı ve 3 boyutlu yazıcılarla üretimi, tersine mühendislik yöntemiyle kişiye özel diz protezi ve protezin takılmasında kullanılacak kemik kesi kılavuz parçalarının tasarımı, mekanik parçaların tersine mühendisliğine yönelik iş akış şemasının oluşturulması konularında yukarıda da açıklanan çalışmalar tersine mühendislik yazılımları kullanılarak yapılmıştır.

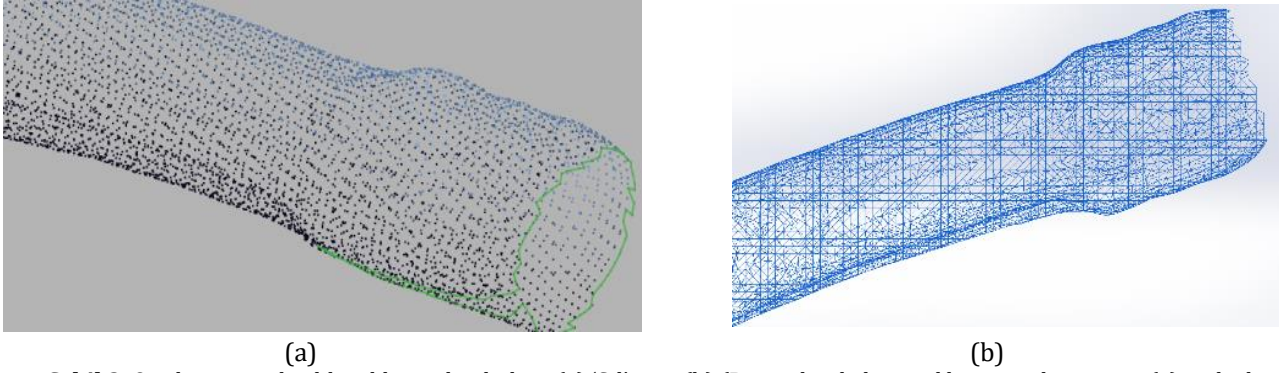
Bu makalede sunulan çalışmada ise tersine mühendislik için özel olarak tasarlanmış (Geomagic, Space Claim vb. gibi) programlarda yapılan tersine mühendislik uygulamalarının, tasarım için kullanılan 3D CAD programlarında yapılabilirliği araştırılmıştır. Endüstriyel olarak seçilen örnek parçaların taraması yapılmış ve taranan parçalardan elde edilen nokta bulutunun tasarım için yaygın kullanılan SolidWorks programında tersine mühendislik işlemleri uygulanarak katı modelinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada bir otomobile ait yağlama borusu optik tarama ile taranmış ve elde edilen tarama datası SolidWorks'un tersine mühendislikte kullanılan modülü ile işlenerek CAD katı modeli oluşturulmuştur. Şekil 1'de kullanılan optik tarama cihazı ve model taraması verilmiştir. Tarama datası nokta bulutu ya da tarama cihazlarının yazılımlarından elde edilen üçgen mesh yapı (stl formatı) şeklinde olabilir. Modelin nokta bulutu Şekil 2(a) ve 'stl' yapıdaki görünümü Şekil 2(b)'deki gibidir.



Şekil 1. Modelin optik taramayla taranması (Scanning of the model with optical scanner)



Şekil 2. Optik tarama ile elde edilen nokta bulutu (a) 'Stl' yapı (b) (Point cloud obtained by optical scanning (a) and stl structure (b))

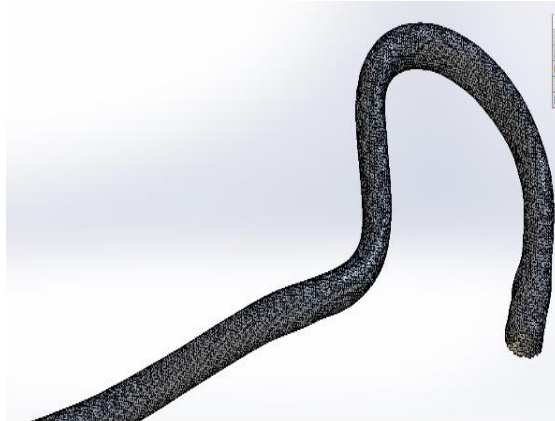
Parçanın taranmasından elde edilen tarama datası verisi SolidWorks programına Scan to 3D modülü yardımıyla aktarılır. Şekil 3'de SolidWorks ortamında açılan mesh yapı görülmektedir.

3.2. Tersine Mühendislikte Kullanılan Scan to 3D Eklentisi (Scan to 3D Add-in Used in Reverse Engineering)

Programına aktarılan meshli yapı Şekil 4'te ve Scan to 3D eklentisi seçenekleri Şekil 5'te verilmiştir. Seçenekler Mesh Hazırlık Sihirbazı, Mesh Düzenleme, Eğri Sihirbazı, Yüzey Sihirbazı ve Sapma Analizi olmak üzere 5 modül içerir. Bu modüllerin fonksiyonları ve parçaya uygulanan işlemler aşağıda açıklanmıştır.

Mesh Hazırlık Sihirbazı (Mesh Prep Wizard)

Mesh Hazırlık Sihirbazı üç boyutlu tarama cihazıyla taranıp CAD programına aktarılan nokta bulutunu/mesh yapıyı düzenlemek için çeşitli seçenekler sunar. Mesh yapıyı düzenleme seçenekleri sırasıyla; Mesh Oryantasyonu, Dışarıdan Veri Çıkarma, Basitleştirme, Düzleştirme ve Boşluk Doldurmadır.

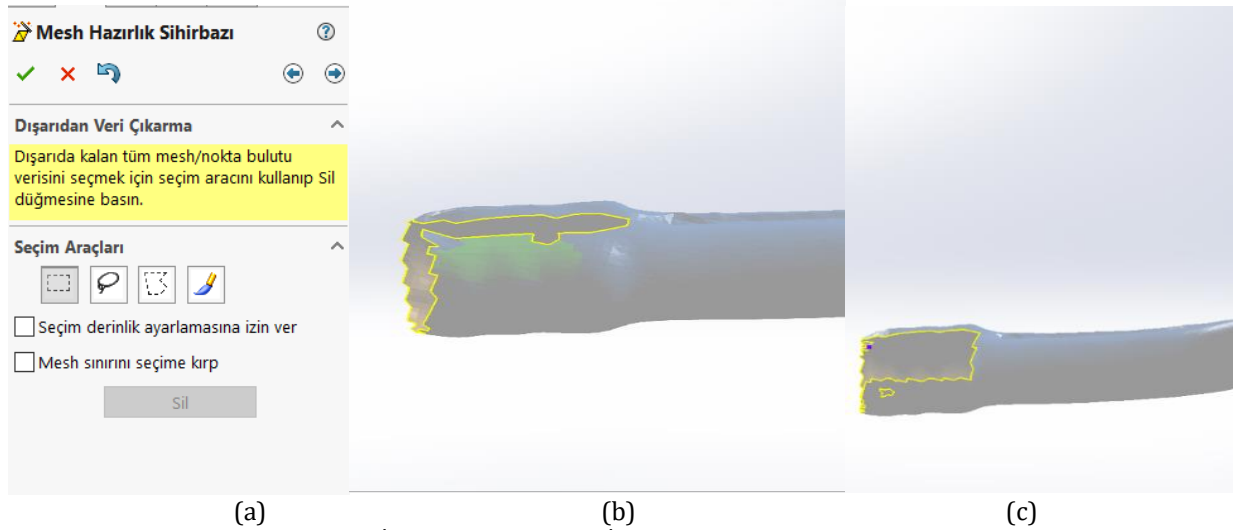


Şekil 3. Meshli yapının programa aktarılması (Transfer of mesh structure into programme)



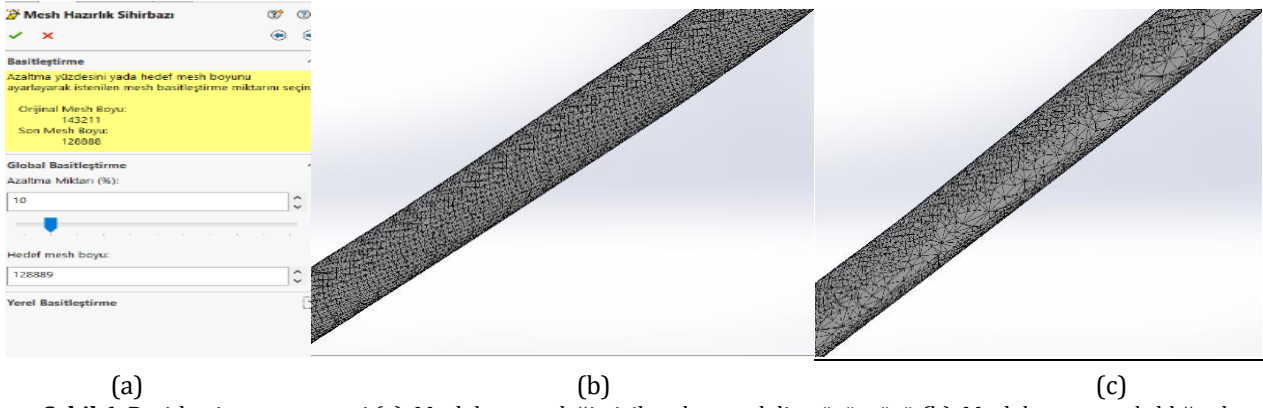
Şekil 4. Scan to 3D modülleri (Modules of Scan to 3D)

Nokta Bulutu Oryantasyonu/Mesh Oryantasyonu komutu nokta bulutunun/mesh yapının yerleşiminin x, y, z eksenlerinde hareket ettirme veya döndürme gibi seçenekleri ile değiştirilmesine yardımcı olur. Dışarıdan veri çıkarma komutuyla; model çevresinde veya üzerinde, hatalı taramadan kaynaklı, düzgün elde edilemeyen veriler temizlenir. Örneğin Şekil 5 (b)'de yağlama borusunun baş kısmında yer alan veriler, hatalı taramadan kaynaklı düzgün elde edilememiş veri barındırdığından bu bölüm dışarıdan veri çıkarma komutuyla düzgün bir şekilde kesilerek tasarımın kalanıyla uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 5(a)'da dışarıdan veri çıkarma penceresi, Şekil 5(b)'de tarama hatası olan bölge, Şekil 5(c)'de ise bu bölgenin silinmesi verilmiştir. Parça üzerinde ya da parça etrafında istenmeyen veriler bu pencerede bulunan kutu, kement, çokgen gibi seçim araçlarıyla seçilir yine aynı pencerede bulunan sil komutuna tıklanarak temizlenir. Hatalı bir işlem yapıldığında pencerede bulunan geri alma komutuna tıklanarak işlem iptal edilir.



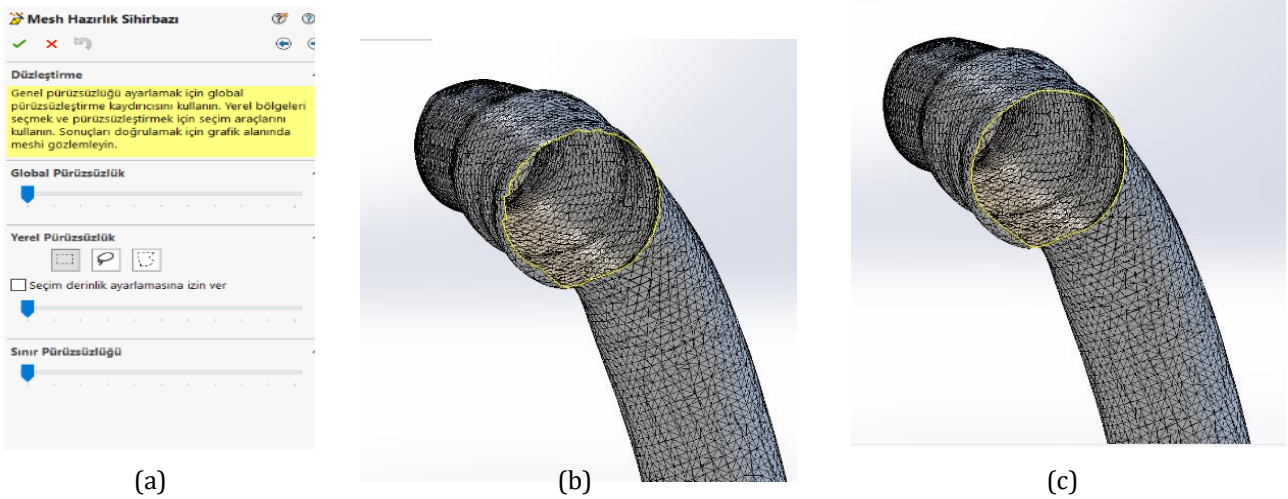
Şekil 5. Veri temizleme penceresi (a), İstenilmeyen veri (b), İstenilmeyen verilerin temizlenmesi (c) (Data cleaning window (a), Unwanted data(b), Cleaning of unwanted data(c))

Mesh boyutun küçültülmesi model üzerinde yapılacak işlemleri hızlandırır ancak mesh boyutunu küçültmek bazen model üzerinde şekil bozukluklarına neden olmaktadır. Şekil 6(a)'da basitleştirme penceresi, Şekil 6(b)'de mesh boyutu azaltılmadan üçgen yapıların görüntüsü, Şekil 6(c)'de mesh boyutu azaltıldığında oluşan şekil bozukluğu görülmektedir. Bu çalışmada mesh boyutunu küçültmek şekil bozukluğuna neden olduğundan mesh boyutu küçültme işlemi yapılmamıştır. Basitleştirme penceresinde global basitleştirme ve hedef mesh boyutu olmak üzere iki komut bulunur. Global basitleştirme komutunda bulunan seçim ile ilk mesh boyutunun azaltma oranı yüzde olarak belirlenir program tarafından otomatik olarak mesh boyutu azaltılır. Hedef mesh boyutu komutunda ulaşılmak istenen son mesh boyutu elle girilir ve enter tuşuna basılır.



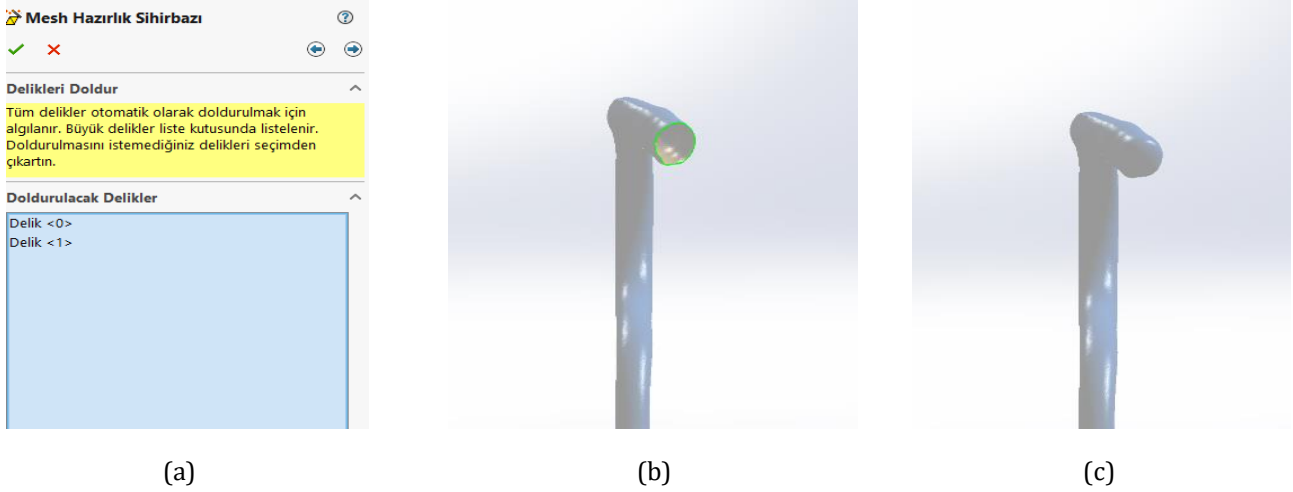
Şekil 6. Basitleştirme penceresi (a), Mesh boyutu değiştirilmeden modelin görüntüsü (b), Mesh boyutu azaltıldığında modelde oluşan şekil bozukluğu (c) (Simplification window (a), View of the model before mesh scale cahnged (b), Shape deformity of the model when mesh scale is reduced (c))

Taranan modelin yüzeyi pürüzlü ise pürüzsüzleştirme işlemi yapmak daha sonra yapılacak işlemleri kolaylaştırır. Bu çalışmada model yüzeyi pürüzsüzleştirme işlemi gerektirmemektedir ancak model sınırlarında girintili çıkıntılı bir yüzey görülmektedir. Sınırlardaki bu pürüzlülüğü gidermek için mesh hazırlık sihirbazının dördüncü penceresi olan pürüzsüzleştirme seçeneğindeki sınır pürüzsüzleştirme modülü kullanılmış, sınırlar daha pürüzsüz bir yapıya dönüştürülmüştür. Şekil 7(a)'da düzeltme penceresi, Şekil 7(b)'de pürüzsüzleştirme işleminden önceki sınırların görüntüsü ve Şekil 7(c)'de pürüzsüzleştirme işlemi sonrası modelin görüntüsü verilmiştir. Düzeltme penceresinde global pürüzsüzlük, yerel pürüzsüzlük ve sınır pürüzlülüğü olmak üzere üç komut bulunur. Global pürüzsüzlük komutu modelin tüm yüzeylerinde pürüzsüzleştirme işlemi yapmak için kullanılır. Global pürüzsüzlük komutunda bulunan hassasiyet değeri artırılıp azaltılarak modelin pürüzsüzlük değeri değiştirilir, hassasiyet değerine bağlı olarak program modelin pürüzsüzlük değerini otomatik değiştirir. Yerel pürüzsüzlük komutunda pürüzsüzleştirmek istenilen bölge kutu, kement veya çokgen seçim araçlarıyla seçilir komutun altında bulunan hassasiyet değeri ayarlanarak model üzerinde belli bir bölgenin pürüzsüzlük değeri belirlenir. Sınır pürüzsüzlüğünde komutun altında bulunan hassasiyet değeri ayarlanarak program tarafından otomatik sınır düzenlemeleri yapılır.



Şekil 7. Düzeltme penceresi (a), Pürüzsüzleştirme işlemi öncesi sınırlar(b),Pürüzsüzleştirme işlemi sonrası sınırlar(c) (Smoothing property manager (a), Borders before smoothing process (b), Borders after smoothing process (c))

Mesh hazırlık sihirbazında açılan beşinci pencere delik doldurmadır. Mesh hazırlık sihirbazının son aşamalarında model üzerinde doldurulması gerekli boşluklar doldurulur. Şekil 8(a)'da delik doldurma penceresi, Şekil 8(b)'de boşluk doldurma işlemi öncesi modelin görüntüsü, Şekil 8(c)'de boşluk doldurma işlemi sonrası modelin görüntüsü verilmiştir. Program model üzerindeki boşlukları otomatik olarak belirler. Program tarafından numaralandırılmış boşluklar delik doldurma penceresinde açılır. Doldurulması istenmeyen boşluklar seçilip silinir. Silinmeyen boşluklar bir sonraki pencereye geçildiğinde program tarafından otomatik doldurulur.



Şekil 8. Delik doldurma penceresi (a), Boşluk doldurma öncesi modelin görünümü (b), Boşluk doldurma sonrası modelin görünümü (c) (Fill holes property manager (a), View of the model before filling (b), View of the model after filling (b))

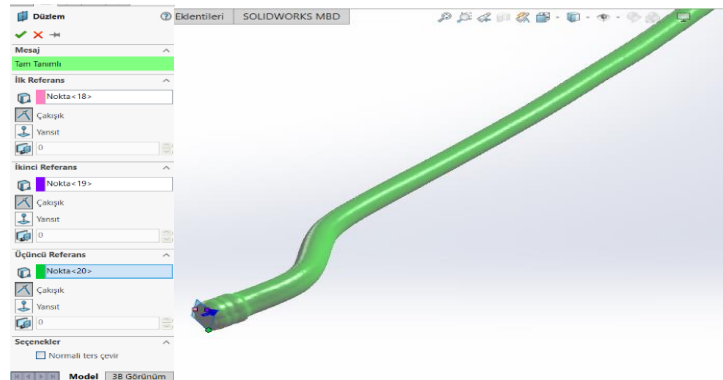
Mesh Düzenleme (Surface Wizard Property Manager)

Scan to 3D eklentisindeki bu modül ile asıl mesh yapı x, y ya da z yönünde öteleme uzaklığı ve döndürme açısı belirlenerek taşınabilir ve ölçeklendirme yapılabilir. x, y veya z yönünde öteleme uzaklığı ve döndürme açısı girilerek asıl mesh ile kopya arasındaki uzaklık ve açı belirlenir.

Eğri sihirbazı (Curve Wizard Property Manager)

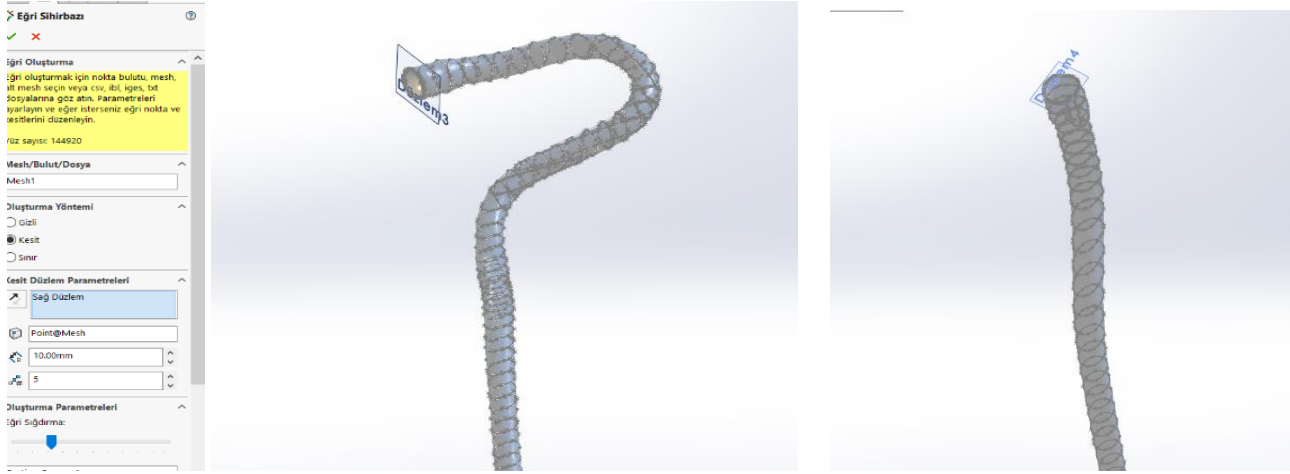
Eğri sihirbazı modülü kullanılarak modelin iki boyutlu üç boyutlu çizimleri ve istenilen düzlem ile model üzerinden iki boyutlu üç boyutlu kesit çizgileri alınır. Bu modülün kesit ve sınır olmak üzere iki komutu vardır. Kesit komutu tıklandığında altta açılan pencereye kesit alınmak istenilen düzlem ve kesit alınmaya başlamak istenilen nokta girilir. Kullanıcı tarafından belirlenen düzlem ve başlangıç noktasına uygun olarak program iki boyutlu, üç boyutlu kesit çizgilerini oluşturur. Sınır komutu tıklandığında program otomatik modelin sınırlarını belirler ve iki boyutlu, üç boyutlu sınır çizgilerini otomatik oluşturur.

Yapılan uygulamada kesit komutu ile eğri sihirbazı kullanılmıştır. CAD modeli oluşturabilmek için gereken yüzeylere düzlemler atanarak modelden kesitler alınmıştır. Düzlem oluşturma işleminde unsurlar modülündeki referanslar komutundan düzlem seçilir. Açılan pencerede düzlem oluşturmak için gerekli üç nokta belirlenir ve düzlem oluşturulur. Şekil 9'da düzlem oluşturma işlemi verilmiştir.



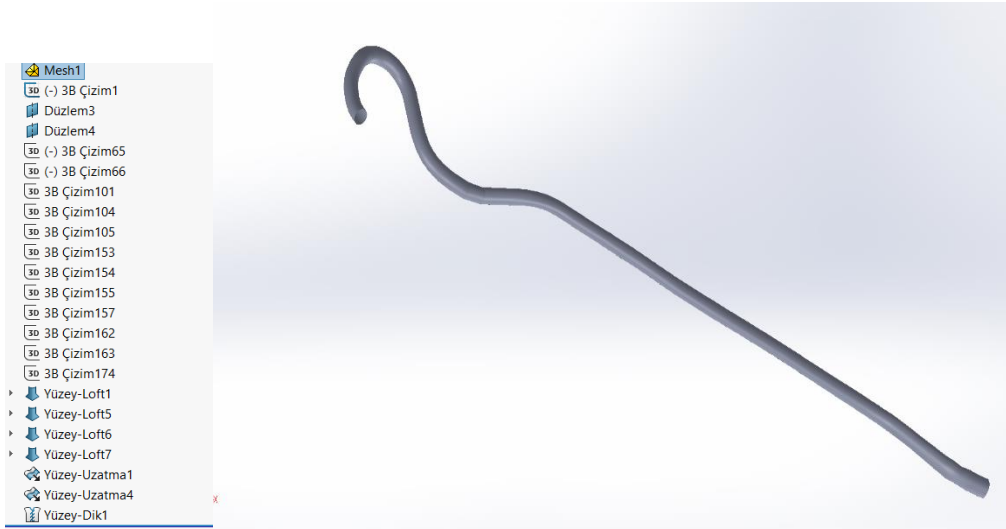
Şekil 9. Düzlem Oluşturma Penceresi ve düzlem oluşturma (Reference geometry window and creating of a plane)

Şekil 10'da eğri sihirbazı penceresi ve eğri sihirbazı modülündeki kesit komutuyla oluşturulan kesitler görülmektedir. Eğri sihirbazı modülü açılır, eğri sihirbazı penceresinde gizli, kesit, sınır komutlarından kesit komutu seçilir. Kesit alınmak istenilen düzlem ve kesitlerin başlangıç noktası belirlenir. Kesit alınmak istenilen düzlem belirlendikten sonra iki boyutlu, üç boyutlu kesit çizgileri program tarafından otomatik olarak oluşturulur.



Şekil 10. Eğri sihirbazı penceresi ve modelden elde edilen kesitler (Curve wizard window and sections obtained from model)

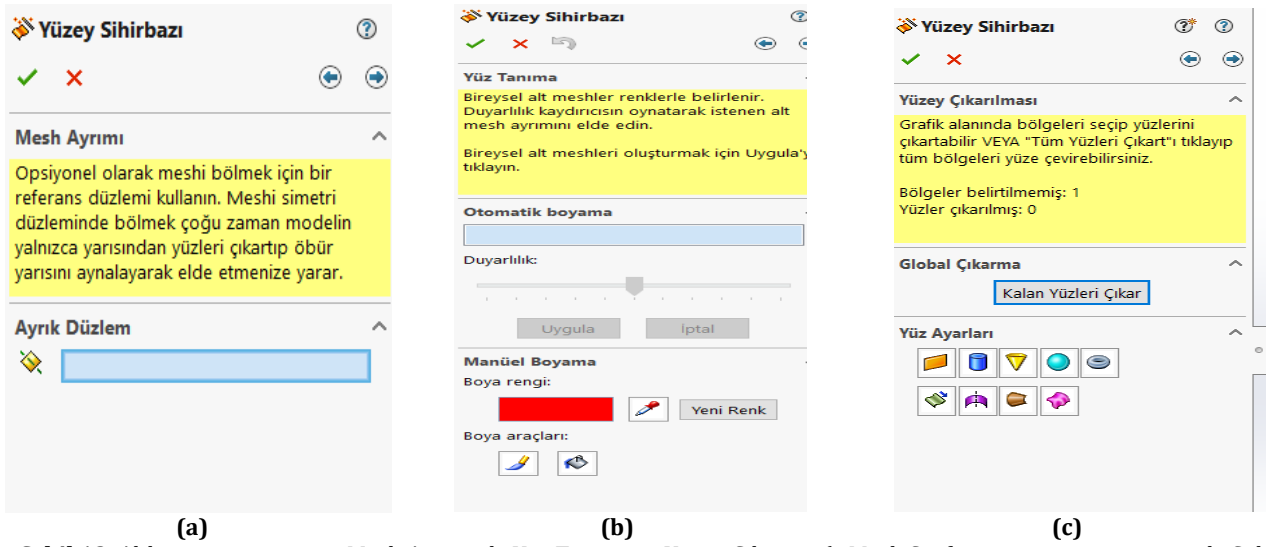
Programda bulunan çizim ve yüzeyler modülleriyle gerekli düzenlemeler yapılmış, yüzey oluşturulmuş, modelin dataları elde edilmiştir. Şekil 11’de çalışma sonucu elde edilen yüzey verilmiştir. Çizim modüllerinden spline düzenleme komutlarıyla kesit çizgileri düzenlenmiştir. Yüzey modüllerinden loftlu yüzey komutuyla düzenlenmiş kesit çizgileri kullanılarak modelin yüzeyi oluşturulmuştur.



Şekil 11. Çalışma sonucunda oluşturulan yüzey (Created surface after the study)

Yüzey Sihirbazı (Surface Wizard Property Manager)

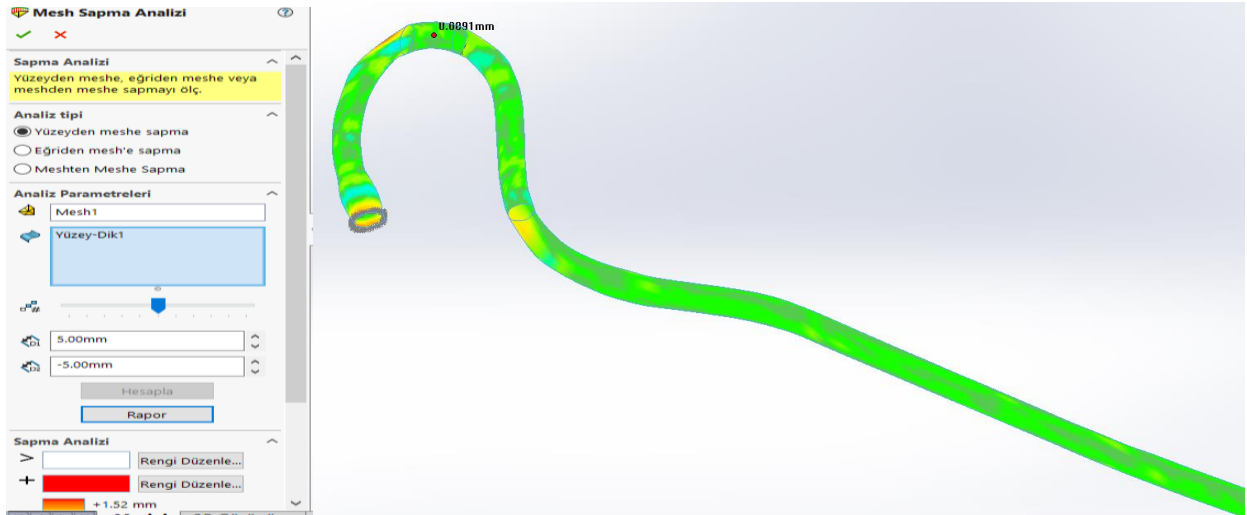
Scan to 3D eklentisindeki bu modül yüzey oluşturmak için kullanılır. Yüzey Sihirbazı Modülü iki farklı yüzey oluşturma seçeneği sunar. Bunlardan biri Otomatik Oluşturma seçeneği diğeri Yönlendirilmiş Oluşturma seçeneğidir. *Otomatik Oluşturma* seçeneğinde mesh yapı program tarafından otomatik olarak yüzeye dönüştürülür, manuel herhangi bir düzenleme yapılmasına olanak sağlamaz. *Yönlendirilmiş Oluşturma* komutunda, kullanıcı yüzey şekillerini düzenler ve programın verdiği geometrik yapılarla manuel olarak mesh yüzeyini kaplar. Yönlendirilmiş Oluşturma komutu içerisinde aynalama için *Mesh Ayrımı*, yüzey tanıma işlemlerine yüzey giydirilmesi için alt mesh gruplarına bölme işlemi yapan *Yüz Tanıma* ve belirlenen alt mesh gruplarına otomatik yüzey oluşturmak için *Yüzey Çıkarılması* seçenekleri kullanılır. Şekil 12’de bu Yönlendirilmiş Oluşturma komutunun alt komut pencereleri verilmiştir.



Şekil 12. Altkomut penceresi a. Mesh Ayrımı, b. Yüz Tanıma, c. Yüzey Çıkarma (a.Mesh Surface extraction property, b. Split Property, c. Face identification property)

Sapma Analizi (Deviation Analysis)

Scan to 3D eklentisindeki Sapma Analizi modülü üç boyutlu tarama ile elde edilen veri ile Scan to 3D eklentisi komutları kullanılarak oluşturulan katı modelin arasındaki sapmayı belirlemek için kullanılır. Şekil 13'de komutun kullanım penceresi ve sapma değerleri ekran görüntüsü verilmiştir. Uygulamalardaki uzmanlık, tecrübe ve parçanın kompleksliğine göre sapma oranları değişmektedir.



Şekil 13. Mesh Sapma Analizi komut penceresi ve parça üzerindeki uygulaması (Deviation Analysis command window and implementation on part)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Tersine mühendislik uygulamaları için kullanılan Geomagic, Space Claim vb. gibi spesifik programlar mevcuttur. Bu programlar nokta bulutundan katı modele dönüşüm işlemlerini yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada ise belirlenen parçaların tarama dataları üzerinde tersine mühendislik uygulamalarının SolidWorks CAD programı ile yapılabilirliği araştırılmıştır.

Bu amaçla tersine mühendislik ihtiyacı duyulan bir araca ait eğrisel formlu yağ borusu üzerinde SolidWorks programının Scan to 3D eklentisinin mesh hazırlık sihirbazı, mesh düzenleme ve eğri sihirbazı komutları kullanılarak başarılı bir tersine mühendislik uygulaması yapılmıştır. Yüzey oluşturma işlemlerinde kullanılan yüzey sihirbazı komutu ise kullanılmamıştır. Çalışmada amaç yağ borusunun eğrisel formunun tersine mühendislik yoluyla elde edilmesidir. Taraması yapılan gerçek yağ borusunun çapı 10 mm'dir. Eğri sihirbazı ile elde edilen çemberlerin çaplarının kullanılan kesit düzlemlerine göre farklılık gösterdiği saptanmıştır. Bu doğrultuda eğri sihirbazı ile elde edilen çemberler parçanın eğrisel formunu oluşturmak için kullanılmıştır. Eğrisel

formlu yağ borusunun çapı manuel olarak 10 mm girilmiştir. Kompleks ve detay içeren parçalarda ise daha yoğun çalışma ve tecrübe gerekmektedir.

Optik veya lazer tarama cihazlarından alınan ve stl veya ply formatındaki endüstriyel parçaların tarama dataları üzerinde SolidWorks CAD yazılımının Scan to 3D modülü ile tersine mühendislik işlemlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada üzerinde çok fazla detay olmayan parçaların sorunsuz bir şekilde CAD dataları oluşturulabilmektedir. Endüstride tasarım için yaygın kullanılan SolidWorks, Catia, Unigraphics gibi CAD programları ile çok kompleks olmayan parçaların tarama dataları üzerinde tersine mühendislik çalışmalarının kolaylıkla yapılabileceği görülmüştür. Çok kompleks parçalar için ise tersine mühendislik için geliştirilen spesifik yazılımlar kullanılmalıdır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Teşekkür (Acknowledgements)

Bu çalışmanın yapılmasında donanım ve yazılım altyapısını kullandığımız Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezi (DPÜ-İLTEM) ne teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar (References)

- Celebi, A., Tosun, H. ve Önçağ A.Ç. (2017). Hasarlı Bir Kafatasının Üç Boyutlu Yazıcı ile İmalatı ve İmplant Tasarımı, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*,1:1,27-35.
- Çetinel, M. (2008). Tersine Mühendislik ile Üç Boyutlu Cisimlerden Grafik Model İçin Veri Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,142s.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Taşdemirci, Ç. (2019). Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Hızlı Prototip Uygulamaları için Farklı Materyaller Aracılığıyla Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2019),1627-1643.
- Demir, H. (2018). CAD Datası Olmayan Parçaların Tersine Mühendislik Metodu ile CAD Datalarının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 114s.
- Eren, O., Sezer, H. K. Ve Börklü, H. R. (2018). Tersine Mühendislik Tasarımı: Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Lisans Öğrencileri için Teknik Seçmeli Ders, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 2-3(2018), 1-11.
- İşbilir F., Çelik B., Özsan, A. ve Kaynak M. F. (2018). Tersine Mühendislik Temelli Araç Üstyapı Tasarım, Analiz ve Üretimini İncelenmesi, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 72-79.
- Kaplan, A. (2016). Francis Tipi Türbin Çarkının Tersine Mühendislik ile Tasarımı ve Rehabilitasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 102s.
- Manmadhachary A., Ravi Kumar Y. ve Krishnanand L. (2016). Improve the Accuracy, Surface Smoothing and Material Adaption in STL File for RP Medical Models, *Journal of Manufacturing Processes*, 21(2016), 46-55.
- Önçağ, A. Ç., Tekcan, Ç. Ve Özden, H. (2017). Mekanik Parçaların Tersine Mühendislik ile Modellenmesinin Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 43-49.
- Sarı, M. İ. (2019). Tersine Mühendislik Yaklaşımı ile Antibakteriyel Antimikrobiyal Ortez Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 98s.
- Şahin, İ., Şahin, T., Gökçe, H. ve Eren, O. (2017). Hasarlı Dişlilerin Tersine Mühendislik Yaklaşımıyla Yeniden Oluşturulması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2017), 485-495.



AYLIK VE SEZONLUK YİRMİ DÖRT SAAT ISITMA DERECE SAAT DEĞERLERİNİN SAKARYA İÇİN TAHMİN EDİLMESİ

Yusuf ÇAY, Mustafa ERTÜRK*

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Sakarya,
Saatlik Dış Hava Sıcaklık
Dağılımı,
Sezonluk Yirmi Dört Saatlik
Isıtma Derece Saat,
Aylık Yirmi Dört Saatlik
Isıtma Derece-Saat,
İki Zaman Dilimi Arasında
Isıtma Derece Saat,
Isıtma Sistemlerinin Aylık ve
Sezonluk Çalışma Süresi.

Öz

Bu çalışmada Sakarya için son otuz altı yıllık meteorolojik veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti ile 8760 saat içerisinde dış hava sıcaklığı 18 °C altında olan her ay için yirmi dört saatlik dış hava sıcaklık dağılımları tespit edilerek ısıtma dönemi ayları (kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan) belirlenmiştir. Bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki herhangi bir ayın; herhangi bir saatinde, herhangi iki zaman dilimi arasında, toplam aylık olarak Isıtma Derece Saat (IDS) değeri tahmin edilmiştir. Ayrıca sezonluk, sezondaki herhangi bir saatteki ve herhangi iki zaman dilimi arasındaki IDS değeri de tahmin edilmiştir. Sakarya ili için en yüksek ısıtma enerji ihtiyacı üç farklı İç Ortam Referans Sıcaklığı (İORS) içinde ocak ayında 06:00- 07:00 saatleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Sakarya'daki bir binada ısıtma sezonu boyunca İORS 25°C seçildiğinde IDS değeri 61112.3 °C saat, İORS 22°C seçildiğinde IDS değeri 54567.3 °C saat, 20°C seçildiğinde IDS değeri 46516.3 °C saat olacağı tahmin edilmiştir. Getirilen bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki her ayın 24 saati için 11 farklı İORS'na göre IDS değerleri ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

ESTIMATION OF MONTHLY AND SEASONAL TWENTY-FOUR-HOUR HEATING DEGREE HOUR VALUES FOR SAKARYA

Keywords

Sakarya,
Hourly Outside Temperature
Distribution,
Twenty-Four Hours Of
Seasonal Heating Degree
Hours,
Twenty-Four Hours Of
Heating Degree-Hour Per
Month,
Heating Degree Hour
Between Two Time Zones,
Monthly And Seasonal
Working Time Of Heating
Systems.

Abstract

In this study, the Sakarya meteorological dataset for the last thirty-six years was used. With this dataset, within 8760 hours, the distribution of twenty-four-hour external air temperature below 18°C for each month were identified and the heating period months were determined (November, December, January, February, March, April). With this approach, for any month in the heating period, in any hour and between any two time periods the total monthly Heating Degree Hour (HDH) values were estimated. Additionally, the seasonal HDH value for any hour in the season and between any two time periods was predicted. The highest heating energy requirements for Sakarya province were identified to be between 06:00-07:00 in January for three different Indoor Reference Temperatures (IRT). During the heating season for a building in Sakarya, when the IRT is chosen as 25 °C, the HDH value is predicted to be 61112.3 °C hours; when IRT is chosen as 22 °C, the HDH value is predicted as 54567.3 °C hours; and when the IRT is chosen as 20 °C, the HDH value is predicted to be 46516.3 °C hours. With this approach, the HDH values are revealed in detail according to 11 different IRT for 24-hour periods in every month of the heating period.

Alıntı / Cite

Çay, Y., Ertürk, M., (2021). Aylık ve Sezonluk Yirmi Dört Saat Isıtma Derece Saat Değerlerinin Sakarya İçin Tahmin Edilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 616-627.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Çay, 0000-0003-4007-6168
M. Ertürk, 0000-0002-0517-6940

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.08.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.03.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: mustafaerturk@subu.edu.tr, +90-264-6160221

1. Giriş (Introduction)

Ulusal bazda kısa, uzun dönemli enerji tüketim, üretim tahmini ve modellemesi, tesis ve yatırımlar için en önemli parametrelerdendir. Saatlik tahmini enerji tüketimi üretim kontrolü ve planlaması için gereklidir. Günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak yapılan tahminler ise bakım programları ve tesis planlaması için gereklidir. Bu tahminlerle toplam enerji tüketimi içinde konut sektörünün payını ortaya çıkarmada ve aileler için uygun verimli ısıtma sistemini belirlemede de kolaylık sağlayacağı için önem arz etmektedir (Dilmaç, 2009). Kapalı hacimlerin ısıtılması amacıyla sezonluk enerji ihtiyacı mimari tasarım, malzeme karakteristikleri, meteorolojik dış hava sıcaklık ölçümleri ve bölge nüfusuna bağlı olarak belirlenebilir (Durmayaç ve Kadioğlu, 2003). Isıtma ve soğutma sistemlerinin tasarımı hesaplamalarında, kapalı hacimlerde enerji analizi hesaplamalarında iklim verileri en önemli parametrelerden birisidir (Bulut vd., 2002). Farklı enerji analizleri için farklı meteorolojik dış hava sıcaklık verileriyle yapılmaktadır. Enerji ve iklimlendirme sistemlerinin analizinde dış hava sıcaklık verileri son derece önem arz etmektedir (Büyükalaca ve Bulut, 2003). Binalarda ve iklimlendirme sistemleri için çeşitli enerji tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin verdikleri sonuçların gerçeğe uygunlukları karmaşıklık derecelerine göre değişmektedir. Genel olarak bu yöntemler ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi doğrulukları ve sonuçları açısından sınırlı olmasına rağmen derece gün, derece saat ve bin yöntemlerini içine alan statik yöntemlerdir. Diğeri ise binanın dinamik davranışı göz önüne alınan dinamik yöntemler olup daha çok bina enerji simülasyonu olarak bilinirler (Büyükalaca vd., 2001). Kapalı hacimlerde iç ortam sıcaklığındaki küçük değişiklikler ısıtma amaçlı enerji tüketiminin azalmasına sebep olmaktadır (Oktay vd., 2011) Isıtma amaçlı enerjisi tüketiminde azalma sera gazı salınımını azalmasına neden olmaktadır (Coşkun, 2010). Isıtma ve soğutma amaçlı tüketimi hesaplamalarında derece-gün, derece-sat yöntemleri kullanılmaktadır (Sarak ve Satman, 2001). Avustralya'da yapılan bir araştırmada, iç ortam sıcaklıklarındaki değişikliklerle ısıtma amaçlı enerji tüketiminde %15 ile %30'luk enerji tasarrufu yapılabileceği ortaya konulmuştur (Haas vd., 1998). Derece-saat değerleriyle ısıtma-soğutma amaçlı enerji ihtiyacından, duvarlarda ve borularda optimum izolasyon kalınlığı hesaplamalarına, doğal gaz boru çapları hesaplamalarına kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır (Coşkun vd., 2009). Derece-saat değerleriyle ısıtma-soğutma amaçlı enerji ihtiyacından, duvarlarda ve borularda optimum izolasyon kalınlığı hesaplamalarına, doğal gaz boru çapları hesaplamalarına kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır (Budescu vd., 1999; Durmayaç vd., 2000). Literatürde ısıtma ve soğutma derece-saat değerleri sezonluk olarak iç ortam referans sıcaklıklarına göre hem Türkiye'deki şehirler (Coşkun vd., 2009; Sarak ve Satman, 2003) hem de dünyanın birçok şehirleri (Dombaycı, 2009) için olmasına rağmen ısıtma sezonundaki her ayın herhangi bir zamanındaki veya iki zaman dilimi arasındaki derece-saat değerleri konusunda çalışma sayısı sınırlıdır. Bu çalışmada Sakarya için 18-28 °C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma mevsimindeki aylar, bu aylar içerisindeki 24 saatlik IDSD, aylık IDSD, ısıtma dönemi IDSD tablolar ve grafikler halinde açıklanmıştır

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 1972-2018 yılları arasında Sakarya için temin edilen meteorolojik veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti Sakarya'da bulunan tüm meteorolojik istasyonlardan kayıt altına alınan 8760 saatlik dış hava sıcaklık dağılımlarıdır. Bu veri seti yazılan visual basic tabanlı geliştirilen iki adet yazılıma aktarılarak Sakarya için ısıtma dönemindeki her ay için ve sezonluk yirmi dört saatlik ayrıntılı hesaplamalar tablolar halinde literatüre kazandırılmıştır. Bu yaklaşımla; ısıtma dönemindeki herhangi bir ayın herhangi iki zaman dilimi arasında, aylık veya istenilen ayların istenilen saatlerinde veya iki zaman dilimi arasında on bir farklı iç ortam referans sıcaklığına göre IDS değeri tahmin edilmiştir

2.1 Saatlik Bazda Dış Hava Sıcaklık Dağılım Tahmini (Estimation of Outdoor Temperature Distribution on Hourly Basis)

Isı kaybı ve ısı kazancı hesaplamalarında kullanılan dış ortam referans sıcaklık değerleri sırasıyla belirli bir tekrar frekansına karşılık gelen sıcaklıklar olarak tespit edilir. Isıtma ve soğutma amaçlı tespit edilen DORS değerleri sezon boyunca sabit olarak alınmaktadır (Büyükalaca ve Bulut, 2003). Yalıtımsız binada dış hava sıcaklığı 18°C ve altında ısıtma ihtiyacı olmaktadır (Büyükalaca vd., 2001). Bu çalışmada Sakarya'daki binaların yalıtımsız olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında Meteorolojik veri setindeki 24 saatlik dış hava sıcaklıkları birinci yazılıma aktarılarak her ayın 24 saati için ayrı ayrı ve sezonluk olmak üzere Yıllık Ortalama Dış Hava Sıcaklık Dağılımı (YODHSD) 24 adet analiz çalışmasıyla tahmin edilmiştir. Bu dağılım geliştirilen ikinci yazılıma taşınarak 18°C ve altındaki dış hava sıcaklıkları 8760 saat içerisinde görülme sayısı günün yirmi dört saati için ayrı ayrı 24 analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Sakarya için ısıtma mevsimi kasım ayında başlamakta nisan ayında sona erdiği tespit edilmiştir. Analiz sonuçları soğutma dönemindeki tüm aylar ve sezonluk olmak üzere 24 saatlik YODHSD 24 adet tablo haline dönüştürülmüştür. Bu tablolarla yılın on iki ayı ve yıllık 24 saatlik ortalama dış ortam sıcaklıkları o ay içerisinde 8760 saat içerisinde görülme sıklıkları (yüzde olarak sayısı) 1°C farkla ortaya konulmuştur. DHSD'leriyle ilgili 24 adet tablo üçüncü yazılıma giriş olarak hazırlanmıştır. Örnek olarak 23:00 -24:00 saatleri arasındaki analiz sonuçları Tablo 1' de verilmiştir. Tablo 1'de her ay için 8760 saat

içerisinde görülme sayısı ve ısıtma dönemindeki tüm ayların Yıllık Ortalama Dış Hava Sıcaklık Dağılımı YODHSD % olarak verilmiştir.

Tablo.1 Sakarya 23:00 -24:00 Saatleri arasında Yıllık Ortalama Dış Hava Sıcaklık Dağılımı (Annual Average Outdoor Air Temperature Distribution between 23:00 - 24:00 for Sakarya)

SAKARYA SAAT 23:00-24:00								
DHSD [°C]	SAATLİK BAZDA AYLARA GÖRE ORTALAMA DHSD [%]							YODHSD [%]
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık	
-8,5	0	0	0	0	0	0	0	0
-7,5	0	0,09	0	0	0	0	0	0,012857
-6,5	0,08	0,09	0,09	0	0	0	0	0,037143
-5,5	0,08	0,45	0	0	0	0	0	0,075714
-4,5	0,25	0,18	0	0	0	0	0,2	0,09
-3,5	0,42	0,81	0,26	0	0	0	0,1	0,227143
-2,5	1,02	1,35	0,17	0	0	0	0,3	0,405714
-1,5	1,53	2,61	0,61	0	0	0	0,4	0,735714
-0,5	3,47	3,77	0,52	0	0	0,1	1,81	1,381429
0,5	6,19	5,75	3,91	0,1	0	0,94	4,52	3,058571
1,5	6,44	6,65	4	0,62	0	1,77	5,13	3,515714
2,5	9,49	6,47	5,83	0,21	0,1	3,12	6,13	4,478571
3,5	8,47	7,19	7,48	1,77	0,4	4,89	6,93	5,304286
4,5	7,88	7,91	9,39	2,29	0,3	5,09	7,34	5,742857
5,5	7,63	7,55	9,57	4,05	0,7	5,93	11,26	6,67
6,5	5,25	6,83	7,13	6,34	1,11	5,61	9,45	5,96
7,5	6,27	4,22	7,83	11,02	3,32	7,59	8,14	6,912857
8,5	4,41	4,22	6,96	11,85	4,23	10,29	7,74	7,1
9,5	2,97	3,14	4,17	11,23	7,14	8,42	6,23	6,185714
10,5	2,88	1,89	4,26	10,6	7,44	11,64	5,33	6,291429
11,5	2,2	2,34	4,43	8,73	8,55	7,69	4,42	5,48
12,5	2,03	1,98	3,57	8,11	9,66	7,8	3,92	5,295714
13,5	1,61	1,08	1,65	6,03	12,98	6,34	2,71	4,628571
14,5	1,27	1,35	1,3	4,99	11,57	4,05	2,31	3,834286
15,5	1,1	0,72	0,87	3,85	12,07	2,39	2,21	3,315714
16,5	0,68	0,99	0,7	3,01	7,75	1,87	1,31	2,33
17,5	0,17	0,18	0,35	1,46	4,83	1,14	0,5	1,232857
18,5	0,08	0,81	0,17	0,83	3,32	1,14	0,6	0,992857
19,5	0,08	0,45	0,52	1,14	1,71	0,73	0,3	0,704286
20,5	3,56	0,18	0	0,42	0,91	0,62	0,2	0,841429
21,5	3,98	4,22	0,26	0,1	0,91	0,31	0,2	1,425714
22,5	3,98	4,76	0,09	0,31	0,3	0,1	0	1,362857
23,5	4,49	4,85	0,09	0,42	0,1	0,1	0,1	1,45
24,5	0	4,94	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,777143
25,5	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0,028571
26,5	0	0	0	0,1	0	0	0	0,014286
27,5	0	0	0,09	0	0	0,1	0	0,027143
28,5	0	0	3,74	0,1	0	0,1	0	0,562857
29,5	0	0	4,26	0,1	0	0	0	0,622857
30,5	0	0	3,57	0,1	0,1	0	0	0,538571
31,5	0	0	2,17	0	0,1	0	0	0,324286
32,5	0	0	0	0	0,1	0	0	0,014286

2.2.1 Derece Zaman Hesaplama Yöntemleri (Degree Time Calculation Methods)

Literatürde derece zaman yöntemiyle ilgili üç farklı yöntem (bin, derece gün, derece saat) bulunmaktadır (Badescu, V., Zamfir, 1999). Derece zaman yöntemleri hesaplamalarında derece saat yöntemi en hassas yöntem olduğu için (Büyükalaca vd., 2001) bu çalışmada tercih edilmiştir.

2.2.1.1 Derece Saat Yöntemi (Degree Hour Method)

Kapalı hacimlerin ısıtılması veya soğutulması için gerekli enerji IDS yöntemi ile kolaylıkla tahmin edilebilir. Bu yöntemde ısıtma ve soğutma amaçlı gerekli olan enerjinin, dış ortam sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığı arasındaki farkla orantılı olduğu kabul edilir. IDS yönteminde, en az on yıl geçmişe yönelik yıllık 8760 saatlik ortalama ölçüm

değerlerinin olması gereklidir. Denge noktası sıcaklığı, bir binada ısıtmaya veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı durumdaki dış ortam sıcaklığıdır. Genelde, yalıtımsız bir bina için derece saat değerleri ısıtmada 18°C denge sıcaklığı için hesaplanır. IDS hesaplamalarında bunun içinde bir yıl içerisinde toplam 8760 saatlik ölçüm değerlerinin olması gerekir. IDS değeri aşağıdaki denklemlerle belirlenir (Durmaz vd., 2000).

$$IDS = (1 \text{ saat}) \sum \text{saatler}(T_b - T_d) + \quad [^\circ\text{C} \cdot \text{saat}] \quad (1)$$

T_b : Saatlik iç ortam sıcaklığı [°C].

T_d : Saatlik dış ortam sıcaklığı [°C].

Denklemlerdeki parantezin üzerindeki '+' işareti sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını göstermektedir. Isıtma derece saat (IDS), aylık veya yıllık ısıtma enerjisi gereksinimi, Eşitlik 2'den hesaplanabilir.

$$Q_i = \frac{K_{top}}{\eta} IDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

Q_i ; ısıtma enerjisi gereksinimi,

η ; ısıtma sistemi verimini,

K_{top} ; dış duvarın toplam ısı transfer katsayısını [W/m²K] ifade etmektedir

3. Bulgular (Findings)

Bu bölümde ikinci yazılımla ısıtma dönemi her ayı ve her saati için ayrı ayrı elde edilen 24 adet YODHSD üçüncü yazılıma aktarılmıştır. Üçüncü yazılımla 11 farklı iç ortam sıcaklığına göre soğutma döneminin her ayı için 24 saatlik IDS değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları örnek Tablo 1-14 ve Şekil 1-2'de verilmiştir.

3.1 Soğutma Dönemi Ayları ve Sezonluk Isıtma Derece Saat (IDS) Değerlerinin Saatlik ve Yirmi Dört Saatlik Olarak Tahmin Edilmesi (Hourly and Twenty-four-hour Estimation of Cooling Period Months and Seasonal Heating Degree Hour (HDH) Values)

Bu çalışmada YODHSD günün her saati için ayrı ayrı visual basic tabanlı geliştirilen üçüncü yazılıma aktarılmıştır. Bu yazılım, Sakarya için soğutma dönemi her ayı ve sezonu için 11 farklı (18-28°C) iç ortam referans sıcaklığına göre saatlik bazda IDS değerlerini 24 saatlik olarak birer saat aralıklarla hesaplayıp tablo haline getirmektedir. Bu yaklaşımla Sakarya için 11 farklı (18-28°C) İORS'na göre soğutma dönemi aylarının her biri için ve soğutma sezonu olmak üzere 24 saatlik ve her saat için IDS değeri ayrı ayrı hesaplanmıştır. IDS değeri sezondaki her ay, günün 24 saati için ayrı ayrı olarak verilmesi aylık bazdaki değişimi ayrıntılı olarak ortaya koymaktadır.

Sakarya 20°C İORS'na IDS değeri sezondaki her ay (kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan) için 24 saat (00:00-01:00 ve 23:00-24:00) olmak üzere sezondaki her ayın istenilen saatinde, iki zaman dilimi arasında, aylık toplam olmak üzere hesaplanmıştır. Ayrıca sezonluk olarakta hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 2- 'de verilmiştir. Bu tabloların kullanımıyla ilgili açıklama Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablonun 1. sütununda günün 24 saati (birer saat aralıklarla), iç sütunlarda soğutma dönemi ayları ve son sütunda ise sezondaki tüm ayların saatlik ve 24 saatlik toplam IDS değerleri verilmiştir. Bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki her ayın herhangi bir saatindeki IDS, herhangi iki zaman dilimi arasındaki IDS değeri, her ay için toplam IDS değeri ve ısıtma dönemi 24 saatlik IDS değeri Sakarya için literatüre kazandırılmıştır.

Tablo 2. 20°C İORS' na Göre Dört Saatlik IDS Değeri (Four Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 20 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya

Sakarya 20°C İORS Göre Dört Saatlik (13:00- 17:00) IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 4 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
13:00-14:00	174,7	298,3	312,1	304,8	248,2	119,6	1457,7
14:00-15:00	180,4	301,9	331,4	330,0	251,9	124,4	1520,0
15:00-16:00	196,4	315,9	321,3	335,5	263,1	135,7	1567,9
16:00-17:00	224,8	337,4	368,6	355,6	282,2	152,0	1720,5
4 saatlik toplam IDS değeri	776,3	1253,5	1333,4	1325,9	1045,4	531,7	6266,2

Tablo 2'de 13:00 -17:00 arasında 20°C İORS göre her ay ve dört saat için ayrı ayrı olmak aylık ve sezonluk IDS değerleri verilmiştir. Bu tabloda aylık bazda istenilen saat aralığında, herhangi iki ay arasında IDS değerleri ve sezonluk IDS değerleri bulunabilmektedir. Örnek olarak; 13:00-14:00 ile 16:00-17:00 saatleri arasında IDS değeri farkı kasım ayında 50.1 IDS iken ocak ayında 56.5 IDS, nisan ayında 32.4 IDS olarak istenilen iki zaman dilimi

arasındaki IDS değerlerinin farkı alınarak hesaplanabilir. Tablo 3'te Sakarya 20°C İORS'na göre 24 Saatlik IDS Değerleri verilmiştir. Tablo 4 kesintili çalışacak (10:00-22:00 saatleri arasında) alışveriş merkezleri için hazırlanmıştır. Bu yaklaşımla 12 saatlik IDS değerleri sezondaki tüm aylar için saatlik, iki zaman dilimi arasındaki IDS değerleri ve sezonluk IDS değerleri de ayrı ayrı tahmin edilmiştir.

Tablo 3. Sakarya 20°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saatlik IDS Değeri (-24-Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to Sakarya 20 ° C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 20°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saat IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 24 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
00:00-01:00	330,3	406,2	388,8	380,9	352,4	311,5	2170,0
01:00-02:00	335,4	411,0	398,4	391,1	353,7	303,5	2193,2
02:00-03:00	341,2	415,7	401,9	383,1	365,5	329,1	2236,4
03:00-04:00	346,2	418,9	405,2	392,4	365,1	334,9	2262,7
04:00-05:00	350,5	422,2	412,5	385,5	377,8	338,8	2287,2
05:00-06:00	354,1	425,6	394,6	421,4	416,0	338,2	2350,0
06:00-07:00	354,6	425,6	394,0	421,9	391,9	314,1	2302,2
07:00-08:00	335,3	426,3	393,3	417,2	371,0	268,8	2211,8
08:00-09:00	298,3	396,4	386,9	369,9	317,5	220,2	1989,1
09:00-10:00	257,7	372,0	349,1	368,6	305,2	173,7	1826,3
10:00-11:00	222,7	343,8	329,8	361,2	287,9	150,8	1696,3
11:00-12:00	198,7	323,1	310,0	335,4	271,4	135,8	1574,3
12:00-13:00	183,1	306,2	313,0	310,5	259,0	125,5	1497,3
13:00-14:00	174,7	298,3	312,1	304,8	248,2	119,6	1457,7
14:00-15:00	180,4	301,9	331,4	330,0	251,9	124,4	1520,0
15:00-16:00	196,4	315,9	321,3	335,5	263,1	135,7	1567,8
16:00-17:00	224,8	337,4	368,6	355,6	282,2	152,0	1720,5
17:00-18:00	250,6	355,3	331,2	320,1	306,9	176,7	1740,7
18:00-19:00	270,4	367,6	340,7	341,6	303,9	195,8	1820,1
19:00-20:00	376,2	376,2	352,8	336,4	297,8	230,7	1970,1
20:00-21:00	297,6	339,6	365,4	350,1	309,0	249,5	1911,2
21:00-22:00	308,8	390,0	381,4	365,7	317,9	269,6	2033,4
22:00-23:00	318,8	394,9	379,9	362,9	332,9	253,3	2042,7
23:00-24:00	325,7	399,9	385,4	373,5	354,8	295,7	2135,1
24 saatlik toplam	6832,5	8969,8	8747,6	8715,2	7703,1	5548,0	46516,3

Tablo 4. Sakarya 20°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 12 Saatlik IDS Değeri (- 12- Heating Degree Hour(HDH) Value According to Sakarya 20 ° C Indoor Reference Temperature(IRT)

Sakarya 20°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 12 Saatlik (10:00-22:00) IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 12 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
10:00-11:00	222,7	343,8	329,8	361,2	287,9	150,8	1696,3
11:00-12:00	198,7	323,1	310,0	335,4	271,4	135,8	1574,3
12:00-13:00	183,1	306,2	313,0	310,5	259,0	125,5	1497,3
13:00-14:00	174,7	298,3	312,1	304,8	248,2	119,6	1457,7
14:00-15:00	180,4	301,9	331,4	330,0	251,9	124,4	1520,0
15:00-16:00	196,4	315,9	321,3	335,5	263,1	135,7	1567,8
16:00-17:00	224,8	337,4	368,6	355,6	282,2	152,0	1720,5
17:00-18:00	250,6	355,3	331,2	320,1	306,9	176,7	1740,7
18:00-19:00	270,4	367,6	340,7	341,6	303,9	195,8	1820,1
19:00-20:00	376,2	376,2	352,8	336,4	297,8	230,7	1970,1
20:00-21:00	297,6	339,6	365,4	350,1	309,0	249,5	1911,2
21:00-22:00	308,8	390,0	381,4	365,7	317,9	269,6	2033,4
12 saatlik toplam	2884,4	4055,3	4057,7	4046,9	3399,2	2066,1	20509,6

Tablo 5. Sakarya 22°C İORS' na Göre 24 Dört Saatlik IDS Değeri (-24-Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 22 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 22°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saat IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 24 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Her saat için sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
00:00-01:00	391,7	467,9	443,0	432,1	403,8	372,6	2511,0
01:00-02:00	396,8	472,8	453,4	443,1	404,4	361,2	2531,7
02:00-03:00	402,3	477,6	457,0	432,8	417,2	390,1	2577,0
03:00-04:00	407,4	480,7	460,4	442,9	416,3	395,8	2603,4
04:00-05:00	411,9	483,8	470,3	434,6	430,2	399,5	2630,4
05:00-06:00	415,6	487,4	447,5	474,8	473,5	399,3	2698,1
06:00-07:00	416,2	487,4	447,3	475,2	446,9	375,1	2648,1
07:00-08:00	396,3	488,0	446,3	471,1	426,3	328,2	2556,1
08:00-09:00	359,1	457,8	443,6	420,6	370,1	277,2	2328,4
9:00-10:00	317,5	433,5	398,5	422,6	360,9	224,5	2157,6
10:00-11:00	280,6	405,3	379,5	418,2	344,0	199,2	2026,8
11:00-12:00	254,1	384,5	359,5	391,6	326,5	182,1	1898,2
12:00-13:00	236,8	367,3	365,1	364,5	313,1	169,6	1816,4
13:00-14:00	227,5	359,3	365,8	359,0	301,3	162,5	1775,4
14:00-15:00	233,5	362,7	388,0	388,3	305,3	168,6	1846,3
15:00-16:00	252,4	377,1	374,6	393,4	318,0	182,4	1897,8
16:00-17:00	284,2	398,7	426,6	414,2	339,3	201,2	2064,2
17:00-18:00	311,7	416,9	381,0	370,0	365,9	230,2	2075,7
18:00-19:00	331,7	429,4	391,1	392,4	358,8	249,7	2153,0
19:00-20:00	438,0	438,0	404,1	385,1	349,0	289,6	2303,6
20:00-21:00	358,9	394,4	419,6	399,5	359,8	309,7	2241,9
21:00-22:00	370,2	451,8	436,2	416,3	368,1	330,5	2373,2
22:00-23:00	380,2	456,7	434,0	412,4	384,0	307,7	2375,1
23:00-24:00	387,2	461,6	439,8	424,5	408,0	356,8	2477,8
24 saatlik Toplam IDS Değeri	8261,5	10440,6	10032,2	9979,1	8990,8	6863,1	54567,3

Tablo 6, günün 16 saati (08:00-24:00) çalışacak kesintili ısıtma sistemleri için hazırlanmıştır.

Tablo 6. Sakarya 22°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 16 Saatlik IDS Değeri (16- Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 22 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 22°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 16 Saatlik (13:00- 17:00) IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 16 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Her saat için sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
08:00-09:00	359,1	457,8	443,6	420,6	370,1	277,2	2328,4
9:00-10:00	317,5	433,5	398,5	422,6	360,9	224,5	2157,6
10:00-11:00	280,6	405,3	379,5	418,2	344,0	199,2	2026,8
11:00-12:00	254,1	384,5	359,5	391,6	326,5	182,1	1898,2
12:00-13:00	236,8	367,3	365,1	364,5	313,1	169,6	1816,4
13:00-14:00	227,5	359,3	365,8	359,0	301,3	162,5	1775,4
14:00-15:00	233,5	362,7	388,0	388,3	305,3	168,6	1846,3
15:00-16:00	252,4	377,1	374,6	393,4	318,0	182,4	1897,8
16:00-17:00	284,2	398,7	426,6	414,2	339,3	201,2	2064,2
17:00-18:00	311,7	416,9	381,0	370,0	365,9	230,2	2075,7
18:00-19:00	331,7	429,4	391,1	392,4	358,8	249,7	2153,0
19:00-20:00	438,0	438,0	404,1	385,1	349,0	289,6	2303,6
20:00-21:00	358,9	394,4	419,6	399,5	359,8	309,7	2241,9
21:00-22:00	370,2	451,8	436,2	416,3	368,1	330,5	2373,2
22:00-23:00	380,2	456,7	434,0	412,4	384,0	307,7	2375,1
23:00-24:00	387,2	461,6	439,8	424,5	408,0	356,8	2477,8
16 Saatlik Toplam IDS Değeri	8261,5	10440,6	10032,2	9979,1	8990,8	6863,1	54567,3

Tablo 7. Sakarya 24°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saatlik IDS Değeri (- 24- Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 24 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 24°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saat IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 24 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
00:00-01:00	453,3	529,7	502,4	488,2	455,2	434,0	2862,9
01:00-02:00	458,3	534,6	512,8	499,5	455,3	419,2	2879,6
02:00-03:00	463,7	539,5	516,8	485,1	469,0	451,4	2925,5
03:00-04:00	469,0	542,5	520,3	495,8	467,6	457,2	2952,4
04:00-05:00	473,5	545,7	531,8	484,8	482,8	460,8	2979,3
05:00-06:00	477,3	549,3	506,1	528,8	531,2	460,6	3053,2
06:00-07:00	477,9	549,3	506,6	531,1	502,0	436,5	3003,5
07:00-08:00	457,6	549,8	505,4	525,6	481,9	388,7	2909,0
08:00-09:00	420,7	519,5	504,9	471,3	423,0	336,4	2675,8
9:00-10:00	378,6	495,3	451,0	476,9	417,2	278,7	2497,7
10:00-11:00	340,8	467,0	429,9	475,6	402,2	252,2	2367,6
11:00-12:00	313,0	446,3	410,0	448,3	384,6	233,8	2236,1
12:00-13:00	294,8	429,0	417,4	419,4	370,7	220,1	2151,3
13:00-14:00	284,8	420,9	419,6	414,5	357,8	211,6	2109,2
14:00-15:00	291,0	424,1	444,7	448,0	362,1	218,4	2188,3
15:00-16:00	311,7	438,5	428,1	452,3	376,0	233,9	2240,4
16:00-17:00	345,3	460,3	485,2	473,6	399,0	255,2	2418,6
17:00-18:00	373,3	478,7	433,8	421,0	426,5	287,1	2420,4
18:00-19:00	393,4	491,3	446,5	444,3	414,1	306,0	2495,6
19:00-20:00	499,8	499,8	460,1	437,1	400,3	350,4	2647,5
20:00-21:00	453,3	529,7	478,7	452,1	410,8	371,0	2582,5
21:00-22:00	458,3	534,6	496,0	469,6	418,5	392,1	2721,8
22:00-23:00	463,7	539,5	493,1	465,1	435,3	362,7	2716,7
23:00-24:00	469,0	542,5	499,0	480,5	461,4	418,2	2831,4
24 Saatlik Toplam IDS Değeri	473,5	545,7	11400,2	11288,4	10304,6	8236,0	62866,5

Tablo 8, günün 12 saati (08:00-24:00) için 24°C İORS'na göre kesintili ısıtma sistemleri için hazırlanmıştır.

Tablo 8. Sakarya 24°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 12 Saatlik IDS Değeri (- 12- Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 24 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 24°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 12 Saat (13:00- 17:00) IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 12 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
9:00-10:00	378,6	495,3	451,0	476,9	417,2	278,7	2497,7
10:00-11:00	340,8	467,0	429,9	475,6	402,2	252,2	2367,6
11:00-12:00	313,0	446,3	410,0	448,3	384,6	233,8	2236,1
12:00-13:00	294,8	429,0	417,4	419,4	370,7	220,1	2151,3
13:00-14:00	284,8	420,9	419,6	414,5	357,8	211,6	2109,2
14:00-15:00	291,0	424,1	444,7	448,0	362,1	218,4	2188,3
15:00-16:00	311,7	438,5	428,1	452,3	376,0	233,9	2240,4
16:00-17:00	345,3	460,3	485,2	473,6	399,0	255,2	2418,6
17:00-18:00	373,3	478,7	433,8	421,0	426,5	287,1	2420,4
18:00-19:00	393,4	491,3	446,5	444,3	414,1	306,0	2495,6
19:00-20:00	499,8	499,8	460,1	437,1	400,3	350,4	2647,5
20:00-21:00	453,3	529,7	478,7	452,1	410,8	371,0	2582,5
12 Saatlik Toplam IDS Değeri	4279,8	5580,9	5305	5363,1	4721,3	3218,4	28355,2

Tablo 9. Sakarya 25°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saatlik IDS Değeri (-24- Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 25 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 25°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saat IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 24 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
00:00-01:00	484,2	560,7	533,4	518,3	481,0	464,8	3042,4
01:00-02:00	489,1	565,5	543,8	529,9	480,7	448,2	3057,2
02:00-03:00	494,4	570,5	547,8	513,5	495,0	482,1	3103,4
03:00-04:00	499,8	573,5	551,3	524,2	493,3	488,0	3130,1
04:00-05:00	504,3	576,6	562,8	512,2	509,2	491,5	3156,6
05:00-06:00	508,2	580,3	537,1	557,2	560,0	491,4	3234,1
06:00-07:00	508,8	580,3	537,6	560,9	529,6	467,2	3184,5
07:00-08:00	488,3	580,8	536,4	554,3	509,8	419,3	3088,7
08:00-09:00	451,7	550,3	535,9	497,6	449,6	366,6	2851,6
9:00-10:00	409,4	526,2	479,6	504,7	445,5	306,5	2672,0
10:00-11:00	371,4	497,9	457,1	504,3	431,6	279,9	2542,2
11:00-12:00	343,4	477,2	437,6	476,7	414,4	261,2	2410,5
12:00-13:00	324,9	459,8	444,6	447,0	400,4	246,9	2323,7
13:00-14:00	314,6	451,8	447,4	442,5	387,3	237,8	2281,3
14:00-15:00	321,0	454,8	473,7	478,1	391,5	244,8	2363,9
15:00-16:00	342,2	469,2	455,6	482,0	405,9	261,1	2415,9
16:00-17:00	376,0	491,3	515,5	503,7	429,3	283,6	2599,4
17:00-18:00	404,1	509,7	462,3	448,6	457,0	316,5	2598,2
18:00-19:00	424,3	522,3	476,7	472,1	441,9	334,9	2672,2
19:00-20:00	530,8	530,8	490,3	465,6	426,0	381,1	2824,5
20:00-21:00	451,4	476,9	509,7	480,6	436,3	401,9	2756,7
21:00-22:00	462,8	544,8	527,0	498,5	443,7	423,0	2899,8
22:00-23:00	472,9	549,5	524,1	493,7	461,0	390,3	2891,5
23:00-24:00	479,8	554,3	530,0	510,7	488,1	449,1	3012,1
24 saatlik toplam	10457,9	12655,0	12117,4	11976,8	10967,9	8937,3	67112,3

Tablo 10, günün 11 saati (08:00-18:00) için 25°C İORS'na göre kesintili ısıtma sistemleri için hazırlanmıştır.

Tablo 10. Sakarya 25°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 11 Saatlik IDS Değeri (- 11- Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 25 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 25°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 11 Saat (08:00- 17:00) Arasındaki IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 11 saat	Isıtma Sezonundaki Aylar						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
08:00-09:00	451,7	550,3	535,9	497,6	449,6	366,6	2851,6
9:00-10:00	409,4	526,2	479,6	504,7	445,5	306,5	2672,0
10:00-11:00	371,4	497,9	457,1	504,3	431,6	279,9	2542,2
11:00-12:00	343,4	477,2	437,6	476,7	414,4	261,2	2410,5
12:00-13:00	324,9	459,8	444,6	447,0	400,4	246,9	2323,7
13:00-14:00	314,6	451,8	447,4	442,5	387,3	237,8	2281,3
14:00-15:00	321,0	454,8	473,7	478,1	391,5	244,8	2363,9
15:00-16:00	342,2	469,2	455,6	482,0	405,9	261,1	2415,9
16:00-17:00	376,0	491,3	515,5	503,7	429,3	283,6	2599,4
17:00-18:00	404,1	509,7	462,3	448,6	457,0	316,5	2598,2
11 saatlik toplam	3658,7	4888,2	4709,3	4785,2	4212,5	2804,9	25058,7

Tablo 11. Sakarya 26°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saatlik IDS Değeri (-24- Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 26 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Bir saat aralıklarla 24 saat	Sakarya 26°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 24 Saat IDS Değeri						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Isıtma Sezonundaki Aylar						
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
00:00-01:00	515,1	591,7	564,4	549,3	506,7	495,7	3222,9
01:00-02:00	520,0	596,5	574,8	560,9	506,2	477,4	3235,7
02:00-03:00	525,3	601,5	578,8	543,7	520,9	512,9	3283,1
03:00-04:00	530,7	604,5	582,4	554,3	519,0	518,8	3309,6
04:00-05:00	535,2	607,6	593,8	541,2	535,5	522,2	3335,5
05:00-06:00	539,1	611,3	568,1	586,7	588,8	522,1	3416,2
06:00-07:00	539,8	611,3	568,6	591,6	557,2	498,1	3366,5
07:00-08:00	519,0	611,8	567,4	584,0	537,6	449,9	3269,7
08:00-09:00	482,7	581,3	566,9	525,5	476,2	396,9	3029,4
9:00-10:00	440,3	557,1	509,8	533,8	473,9	334,7	2849,7
10:00-11:00	402,1	528,8	485,9	533,5	461,1	308,3	2719,8
11:00-12:00	374,1	508,2	467,0	505,6	444,3	289,4	2588,7
12:00-13:00	355,3	490,7	473,5	475,3	430,6	274,6	2500,0
13:00-14:00	344,9	482,6	476,6	471,1	417,2	265,0	2457,5
14:00-15:00	351,4	485,6	503,7	508,2	421,4	272,2	2542,6
15:00-16:00	372,8	500,1	484,6	512,0	436,0	289,2	2594,8
16:00-17:00	406,8	522,2	546,2	534,4	459,9	312,7	2782,3
17:00-18:00	435,1	540,6	492,4	477,8	487,6	346,4	2779,9
18:00-19:00	455,3	553,3	507,7	501,6	469,6	363,9	2851,4
19:00-20:00	561,7	561,7	521,3	495,7	451,6	411,9	3004,0
20:00-21:00	482,3	505,3	540,7	510,7	461,8	432,8	2933,6
21:00-22:00	493,8	575,8	558,0	528,8	469,0	453,9	3079,2
22:00-23:00	503,9	580,5	555,1	523,9	487,5	417,9	3068,7
23:00-24:00	510,8	585,3	561,0	541,7	514,8	479,9	3193,5
24 saatlik toplam	11197,4	13395,3	12848,8	12691,2	11634,5	9646,9	71414,1

Tablo 12, Onaltı saat (08:00-18:00) çalışacak 27°C İORS'na göre kesintili ısıtma sistemleri için hazırlanmıştır.

Tablo 12. Sakarya 27°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 16 Saatlik IDS Değeri (-16-Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 27 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Bir saat aralıklarla 16 saat	Sakarya 27°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 16 Saatlik (08:00- 24:00) IDS Değeri						Sezonluk IDS [°Csaat]
	ISITMA SEZONUNDAKİ AYLAR						
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
08:00-09:00	513,6	612,3	597,9	554,8	503,5	427,4	3209,4
9:00-10:00	471,3	588,1	540,8	563,9	502,3	363,1	3029,5
10:00-11:00	433,0	559,8	516,2	563,5	490,6	337,1	2900,2
11:00-12:00	404,9	539,2	497,6	535,4	474,4	318,4	2769,9
12:00-13:00	385,9	521,6	503,3	504,7	461,0	303,3	2679,9
13:00-14:00	375,5	513,5	506,9	500,9	447,5	293,1	2637,3
14:00-15:00	382,0	516,6	534,3	538,6	451,8	300,6	2723,7
15:00-16:00	403,7	531,0	514,8	542,5	466,5	318,2	2776,7
16:00-17:00	437,7	553,2	577,2	565,3	490,7	342,4	2966,4
17:00-18:00	466,0	571,6	523,4	508,2	518,2	376,9	2964,3
18:00-19:00	486,2	584,2	538,7	532,2	497,4	393,0	3031,8
19:00-20:00	592,7	592,7	552,3	526,7	477,3	442,7	3184,6
20:00-21:00	513,2	535,4	571,7	541,7	487,3	463,7	3113,1
21:00-22:00	524,7	606,8	589,0	559,8	495,1	484,9	3260,2
22:00-23:00	534,9	611,4	586,1	554,9	515,4	445,5	3248,2
23:00-24:00	541,7	616,3	592,0	572,7	541,5	510,8	3375,1
16 saatlik toplam IDS Değeri	6925,3	8437,4	8150,2	8093,1	7279	5610,3	44495,2

Tablo 13, onaltı saat (08:00-18:00) çalışacak 27ve 28 °C İORS'na göre kesintili ısıtma sistemleri IDS değerlerinin mukayesesi için hazırlanmıştır. Tablo 12'de 27 İORS'na göre sezonluk IDS değeri 44495.2 SDS iken İORS 28 °C çıkarıldığında IDS değeri %14 artarak 50788.2 IDS olacağı Tablo 13'te görülmektedir.

Tablo 13. Sakarya 27°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 16 Saatlik IDS Değeri (-16 Hour Heating Degree Hour(HDH) Value According to 28 °C Indoor Reference Temperature for Sakarya)

Sakarya 28°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre 16 Saat (08:00- 24:00) Arasındaki IDS Değeri							
Bir saat aralıklarla 24 saat	ISITMA SEZONUNDAKİ AYLAR						Sezonluk IDS [°Csaat]
	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	
08:00-09:00	544,6	643,3	628,9	585,2	532,1	458,0	3392,0
9:00-10:00	502,2	619,1	571,8	594,6	530,7	391,8	3210,4
10:00-11:00	463,9	590,8	547,2	594,0	520,2	366,3	3082,3
11:00-12:00	435,9	570,2	528,6	565,9	504,5	347,7	2952,8
12:00-13:00	416,7	552,6	533,9	535,1	491,4	332,6	2862,4
13:00-14:00	406,3	544,4	537,7	531,4	477,9	321,9	2819,7
14:00-15:00	412,7	547,5	565,1	569,3	482,3	329,6	2906,5
15:00-16:00	434,5	561,9	545,5	573,2	497,3	347,8	2960,2
16:00-17:00	468,6	584,2	608,2	596,2	521,5	372,6	3151,3
17:00-18:00	496,9	602,5	554,4	539,2	548,9	407,5	3149,5
18:00-19:00	517,2	615,2	569,7	563,2	525,2	422,2	3212,8
19:00-20:00	623,7	623,7	583,3	557,7	503,9	473,6	3366,0
20:00-21:00	544,2	566,4	602,7	572,7	513,6	494,7	3294,3
21:00-22:00	555,7	637,8	620,0	590,8	522,9	515,8	3442,9
22:00-23:00	565,9	642,4	617,0	585,9	544,6	473,1	3429,0
23:00-24:00	572,6	647,3	623,0	603,7	568,3	541,7	3556,6
16 saatlik toplam IDS Değeri	7961,6	9549,3	9237	9158,1	8285,3	6596,9	50788,2

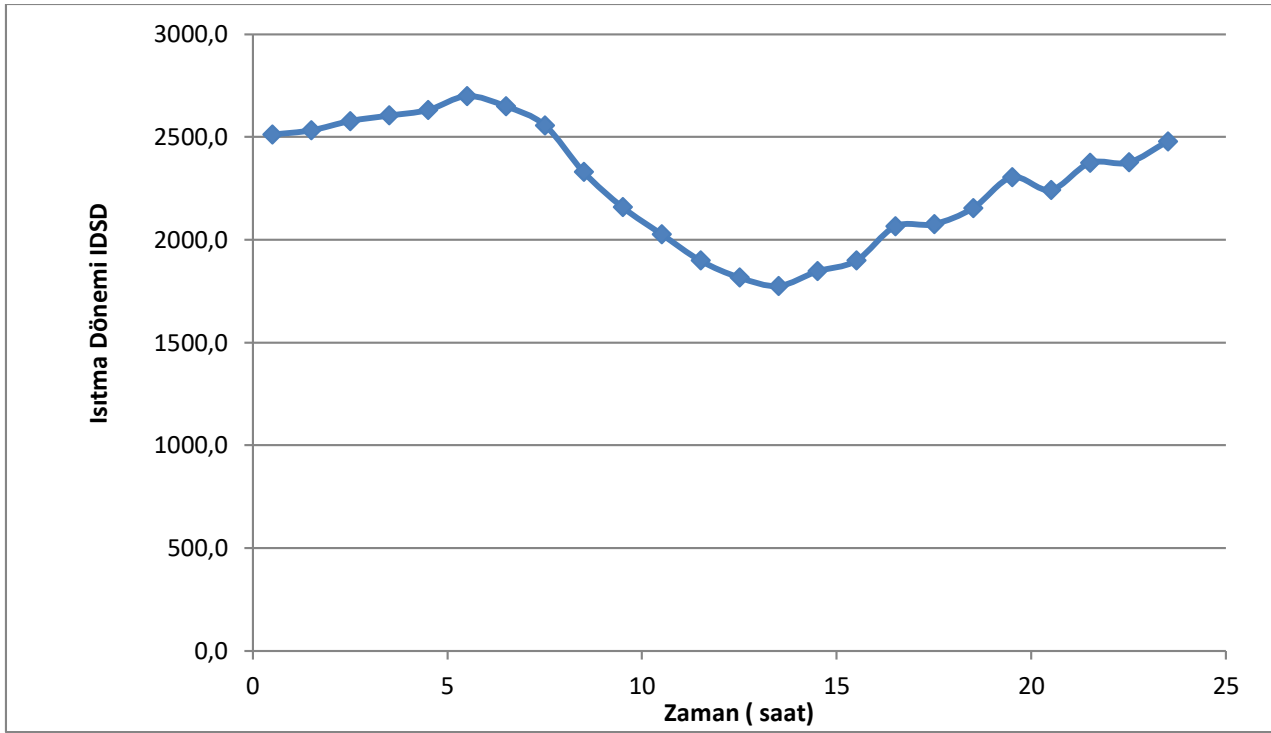
Tablo 3, 5, 7, 9, 11,12, 13'te 20, 22, 24, 25 26, 27 ve 28°C İORS için ısıtma dönemindeki tüm aylar ve sezonluk IDS değeri; en yüksek 06:00- 07:00 saatleri arasında, en düşük ise 13:00-14:00 saatleri arasında olduğu görülmektedir.

Sakarya için 06:00- 07:00 arasındaki IDS değerleri 20, 22 ve 27°C İORS'larına göre Tablo 14 örnek olarak verilmiştir. Bu tabloda en yüksek ısıtma enerji ihtiyacı üç farklı İORS içinde ocak ayında 06:00- 07:00 saatleri arasında olduğu görülmektedir. Sakarya'daki bir binada ocak ayı için 20 °C İORS için IDS değeri 394 °C.saat, İORS 22°C seçildiğinde IDS değeri %11.35 artmakta, 27°C seçildiğinde ise IDS değeri % 52 artmaktadır. Getirilen bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki her ayın 24 saati için 11 farklı İORS'na göre ısıtma enerji ihtiyacı aylık ve sezonluk olarak ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

Tablo 14. Sakarya 06:00- 07:00 Saatleri Arasında Farklı İORS Göre IDS Değeri (Sakarya Heating Degree Hour Value Between 06:00 - 07:00 According to Different Indoor Reference Temperature)

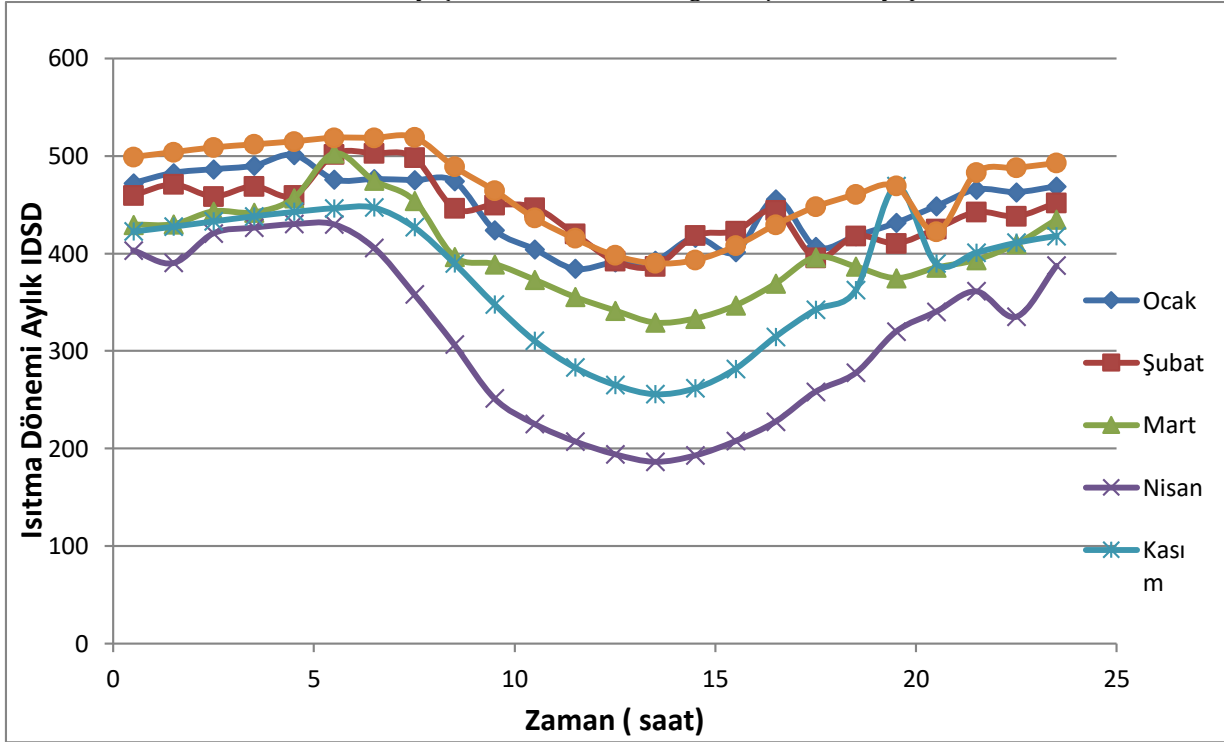
Sakarya 06:00- 07:00 Saatleri Arasında Farklı İORS Göre IDSD							
Farklı İORS IDSD	Kasım [°Csaat]	Aralık [°Csaat]	Ocak [°Csaat]	Şubat [°Csaat]	Mart [°Csaat]	Nisan [°Csaat]	Sezonluk IDS [°Csaat]
20°C İORS IDSD	354,6	425,6	394,0	421,9	391,9	314,1	2302,2
22°C İORS IDSD	416,2	487,4	447,3	475,2	446,9	375,1	2648,1
27°C İORS IDSD	570,7	642,3	599,6	622,6	585,4	528,9	3549,5

Şekil 1'de 22°C iç ortam referans sıcaklığına göre IDS değeri verilmiştir. Bu şekilde sezon gününün her saati için ısıtma enerji ihtiyacındaki değişim görülmektedir. Bu yaklaşımla Sakarya ilinin saatlik bazda ısıtma sistemlerinin sezonluk tüketeceği enerji tahmini yapılabilir.



Şekil 1. 23°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre IDS Değeri (Fig Heating Degree Hour Value According To 23°C Indoor Reference Temperature)

Şekil 2'de 22°C iç ortam referans sıcaklığına göre ısıtma dönemindeki her bir ay için IDSD verilmiştir. Bu şekilde sezonun her saati için ısıtma enerji ihtiyacındaki değişim görülmektedir. Bu yaklaşımla Sakarya ilinin saatlik bazda ısıtma sistemlerinin sezondaki her ay için sezonluk tüketeceği enerji tahmini yapılabilir.



Şekil 2. 23°C İç Ortam Referans Sıcaklığına Göre ısıtma Dönemi Her Ayı İçin ısıtma Derece Saat Değeri (Heating Degree Hour Value For Each Month of the Heating Period According to 23°C Indoor Reference Temperature)

Bu çalışma on bir RİOS ve günün yirmi dört saati için yapılmıştır. Makale metninin uzamaması için sadece Şekil 1 ve 2'deki yaklaşımlar metinde verilmiştir. Bu yaklaşımlar ısıtma dönemindeki toplam ve dönemdeki her ay için 24 saatlik enerji talebi tahmini için önem arz etmektedir.

Bu çalışmayla Tablo 1-5 ve Şekil 1-2 ilk defa Sakarya için literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışma ısıtma sistemi kullanıcıları, üreticileri, yerel yönetimler ve elektrik dağıtım firmaları için önem arz etmektedir.

4. Sonuç (Conclusion)

Sakarya ili için yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar;

- i. YODHSD'la Isıtma dönemi başlangıcı ve bitişi tespit edilmiştir. Bu yaklaşım 18°C ve altındaki dış hava sıcaklığının 8760 saat içerisinde görülme sıklığı günün yirmi dört saati için her ay, sezonluk olarak ortaya konulmuştur. Literatüre getirilen bu yaklaşımla ısıtma sistemlerinin toplam çalışma süreleri sezondaki her ay için, herhangi iki ay arası için bulunabilir. Ayrıca sezonluk olarakta ısıtma sistemlerinin çalışma süreleri tahmin edilebilecektir.
- ii. 11 farklı iç ortam referans sıcaklığına (18-28°C) göre Sakarya için IDS değerleri ayrıntılı olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki her ayın istenilen saatinde, herhangi iki zaman diliminde ve günün her saatine göre ayrı ayrı ID değeri sezondaki her ay, günün 24 saati için ayrı ayrı olarak tahmin edilerek literature kazandırmıştır.
- iii. Isıtma dönemindeki tüm ayların 24 saatlik IDS değeri ve sezondaki tüm ayların 24 saatlik IDS değeri değişim eğrileri literatüre sunulmuştur. Bu yaklaşım konuyla ilgilenen akademisyenler, makina mühendislerine yardımcı olacağı düşünülmektedir.
- iv. Bu çalışmayla ısıtma sistemlerinin çalışma süreleri aylık, sezonluk olarak tahmin edilmesi, her il için farklı garanti sürelerinin gündeme gelmesi düşünülmektedir
- v. 20-28°C İORS'da ısıtma dönemindeki tüm aylar ve sezonluk IDSD; en yüksek 06:00- 07:00 saatleri arasında, en düşük ise 13:00-14:00 saatleri arasında olacağı tahmin edilmiştir.
- vi. En yüksek ısıtma enerji ihtiyacı on bir farklı İORS içinde Ocak ayında 06:00- 07:00 saatleri arasında olacağı tespit edilmiştir.
- vii. Yalıtımsız bir binada kışın ayı için 22 °C İORS için IDSD 443,6 °C-saat, İORS 27°C çıkarıldığında ise IDSD %35 artarak 597,9 °C-Saat olmaktadır. Getirilen bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki herhangi bir ayın herhangi bir saatinde, herhangi iki zaman dilim arasında IDSD aylık, sezonluk olarak 11 farklı İORS'na göre bulunacaktır.
- viii. Sakarya ilinde kesintili çalışacak binalarda(ofis, banka, resmi kurumlar) kullanılacak hava kaynaklı ısı pompaları COP hesaplamaları için parametre olacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Badescu, V., Zamfir, 1999. E. Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures in Romania. *Energy Conversion and Management* 40 (8) : 885-900.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., Aktacı, M. A.. 2002. GAP Bölgesi İçin Detaylı İklim Verileri. Harran Üniversitesi GAP IV. Mühendislik Kongresi 183-191. Şanlıurfa.
- Büyükalaca, O. Bulut, H.. 2003. Detailed weather data for the provinces covered by the Southeastern Anatolia Project(GAP) of Turkey. *Applied Energy*, 77: 187-204.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., 2001, Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, *Applied Energy*, 69 (4): 269-283.
- Coskun, C., 2010. A novel approach to degree-hour calculation: Indoor and outdoor reference temperature based degree-hour calculation. *Energy* 35: 2455-2460.
- Coşkun, C., Oktay Z., Ertürk M., 2009. Konutların Isıtma Sezonunda Seçilen İç Ortam Sıcaklık Parametresinin Enerji-Maliyet-Çevre Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama Örneği. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. 529-538. İzmir.
- Dilmaç, S., Kesen, N., 2003. A comparison of new Turkish thermal insulation in building. *Energy & Building* 35 (2): 161-174.
- Dombayci, A., 2009. Degree-days maps of Turkey for various base temperatures.. *Energy* 34 (11):1807-1812.
- Durmazayaz, A., Kadioğlu M., 2003. Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey. *Energy Conversion and Management* 44 (7): 1177-1192.
- Durmazayaz, A., Kadioğlu, M. ve Şen., Z., 2000. An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. *Energy* 25 (12) : 1245-1256.
- Haas, R., Auer, H., Biermayr, P., 1998. The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. *Energy and Buildings*. 27:195-205.
- Oktay, Z., Coskun, C., Dincer, I., 2011. A new approach for predicting cooling degree hours and energy requirements in buildings, *Energy* 36: 4855-4863.
- Sarak, H., Satman, A., 2001. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. *Energy* 28: 929-39.
- Sarak, H., Satman, A., 2003. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. *Energy* (28): 929-939.



IS IT POSSIBLE TO MAKE FEWER EXPERIMENTS: PREDICTION OF BACTERIAL SURVIVAL/DEATH PROBABILITY FOR HIGH-PRESSURE PROCESSING WITH THE BAYESIAN APPROACH?

Sebahattin Serhat TURGUT*

Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Isparta, Turkey

Keywords

High Hydrostatic Pressure, Predictive Microbiology, Logistic Regression, Listeria Monocytogenes, Cronobacter Sakazakii.

Abstract

In the present study, a model based on Bayesian Logistic Regression (*BLR*) was developed to predict the probability of bacterial survival/death treated with high-hydrostatic pressure under different conditions. Previously published data for *Listeria monocytogenes* in phosphate-buffered saline and *Cronobacter sakazakii* in trypticase soy broth and infant formula were used where the process variables were pressure, temperature, medium pH, initial inoculum and processing time. Along with the using possibility of *BLR*, effects of introduced sampling size by changing data split ratio and case prevalence were assessed. The *BLR* model predictions were consistent with both experimental data and the frequentist logistic regression models. Although some overfitting problems arise as the sampling size decrease, *BLR* can produce reliable probability models with a smaller number of experimental data (about 50 experimental samples) than the frequentist approach requires. Moreover, instead of a point estimate, *BLR* offers a posterior distribution for parameters and predictions. So the present study has indicated that *BLR* can be a useful tool to describe the survival/death of microorganisms after high-pressure processes with less experimental data requirement than the frequentist approach and also with the ability to handle missing observation and imbalanced dataset. In the light of these outcomes, the design of new experiments according to *BLR*, save on time and costs for experimental studies and more detailed safety risk assessment may be feasible for the food industry.

DAHA AZ DENEME GERÇEKLEŞTİRMEK MÜMKÜN MÜ: BAYESIAN YAKLAŞIMLA YÜKSEK BASINÇ İŞLEMLERİ İÇİN BAKTERİYEL HAYATTA KALMA/ÖLÜM OLASILIĞININ TAHMİNİ?

Anahtar Kelimeler

Yüksek Hidrostatik Basınç, Öngörücü Mikrobiyoloji, Lojistik Regresyon, Listeria Monocytogenes, Cronobacter Sakazakii.

Öz

Mevcut çalışmada, farklı koşullar altında yüksek hidrostatik basınç işlemine tabi tutulan bakterilerin hayatta kalma/ölüm olasılığını tahmin etmek için Bayesian Logistic Regression'a (*BLR*) dayalı bir model geliştirilmiştir. Bu amaçla *Listeria monocytogenes* (fosfatla tamponlanmış tuzlu su çözeltisi içinde) ve *Cronobacter sakazakii* (triptik soya broth ve bebek maması formülasyonu) bakterileri için daha önce yayımlanmış verilerden faydalanılmış olup, proses değişkenleri basınç, sıcaklık, ortamın pH değeri, ilk aşılama ve işlem süresidir. *BLR* kullanım olasılığının yanı sıra, veri bölme oranları değiştirilerek örneklem büyüklüğünün ve verilerdeki vaka sıklığının etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak *BLR* model tahminlerinin hem deneysel verilerle hem de frekansçı lojistik regresyon modelleriyle tutarlı olduğu gözlenmiştir. Örneklem boyutu küçüldükçe bazı aşırı uyum sorunları ortaya çıksa da, *BLR*, frekansçı yaklaşımının gerektirdiğinden daha az sayıda deneysel veriye ile (yaklaşık 50 deneysel örnek) güvenilir olasılık modelleri üretebilmektedir. Dahası *BLR*, nokta tahminleri yerine parametreler ve kestirimler için sonsal dağılımlar sunmaktadır. Bu nedenle mevcut çalışmada, *BLR*'nin frekansçı yaklaşıma göre daha az deneysel veri gereksinimiyle mikroorganizmaların uygulanan yüksek basınç işlemlerinden sonra hayatta kalma/ölme olasılık kestirimleri için yararlı bir

* İlgili yazar / Corresponding author: serhatturgut@sdu.edu.tr, +90-246-211-1668

araç olabileceği, eksik gözlemleri ve dengesiz veri setlerini yönetme kabiliyetine sahip olduğu gösterilmiştir. Bu sonuçların ışığında, *BLR* yaklaşımına uygun yeni deneme tasarımları ile, deneysel çalışmalarda zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanması ve gıda endüstrisi için daha ayrıntılı güvenlik riski değerlendirmesi mümkün olabilir.

Alıntı / Cite

Turgut, S. S., (2021). Is It Possible to Make Fewer Experiments: Prediction of Bacterial Survival/Death Probability for High-Pressure Processing with the Bayesian Approach?, Journal of Engineering Sciences and Design, 9(2), 628-640.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. S. Turgut, 0000-0002-9968-4750

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	29.04.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Introduction

Food safety, especially in terms of microbiological safety, is one of the most important criteria for food producers, regulatory organisations and consumers. The microbiological safety of foods is often ensured by heat-induced methods such as pasteurisation and sterilisation. However, during heating treatments, food products undergo some accelerated biochemical changes resulting in loss of bioactive and beneficial components and/or formation of some colour and flavour compounds some of which may be undesirable (Yamamoto, 2017). But as a result of ongoing changes in consumer preferences tends to fresh-like foods and non-thermal methods under which limited changes occur. Thus, these methods gain increasing popularities. Among the non-thermal methods, high-pressure processing (HPP) takes increasing interest since it was first announced in food science and technology by Hite (1899) due to its superiority over other methods originating from [1] minimal effects on the sensorial, visual and nutritional value of foods; [2] being independent of food geometry and size; [3] utilise ability for packaged or bulk foodstuffs; [4] being environmentally friendly and relatively low energy costs (Stoica et al., 2013; Yamamoto, 2017; Zhang et al., 2019). Today, HPP is actively used by the food industry in the USA, European countries, Korea, Taiwan, Japan etc. (Yamamoto, 2017). It has been studied for several food products such as milk and cheese (Bilbao-Sáinz et al., 2009; Hokmollahi and Ehsani, 2017), fruit and vegetables (Butz et al., 2003), meat and meat products (Campus, 2010; Khan et al., 2014), fish (Gudbjornsdottir et al., 2010), fruit juice (Ferrari et al., 2010) etc.

Microbial inactivation efficacy of the HPP process strictly depends on process variables such as pH, water activity, temperature, applied pressure, process time and initial microbial load (Hajmeer and Basheer, 2002; Koseki et al., 2009; Koseki and Yamamoto, 2007). The changes caused by these variables should be understood, controlled and optimised carefully to ensure the safety of the final product. For that purpose, several statistical learning methods such as kinetic models (Buzrul, 2014; Serment-Moreno et al., 2014), neural networks (Hajmeer and Basheer, 2002), Weibull model (Buzrul et al., 2008), logistic regression (Buzrul, 2019; Koseki et al., 2009; Koseki and Yamamoto, 2007; Wang et al., 2017), piecewise models (Buzrul, 2017) have been utilised. Among these modelling approaches, logistic regression (*LR*), has been widely accepted by researchers due to its ability to handle non-linear kinetics of microbial inactivation and ease of implementation (Koseki et al., 2009). *LR* can be used as a probability estimator of survival or death of microorganisms under given conditions which named as survival/death interface model in the related literature (Koseki and Yamamoto, 2007). However, as a frequentist and discriminative modelling approach, *LR* harbours some disadvantages. The frequentist and discriminative approaches assume the observed data is sampled from a fixed and known distribution. They do not assign probabilities of parameter values. Therefore, frequentist approaches measure model uncertainty relying on the null hypothesis and confidence intervals which does indeed not giving the uncertainty of true estimates. Moreover, they intend to find point estimates of the parameters for the model from given data from maximum likelihood estimation by maximising log-likelihood value for *LR*. Although they can work with the presence of missing data, discriminative models generally require the full set of observations and larger data sets to train the model (O'Brien and Dunson, 2004; Xu, 2020a, b). On the other hand, Bayesian approaches can overcome some negativities of the frequentist approach. For instance, for Bayesian Logistic Regression (*BLR*), the Bayesian version of *LR*, the prior distribution for parameters and data according to the researcher's knowledge is used. So as an output, not a matrix of point estimates but posterior distributions of model parameters and predictions are produced. This will lead to an understanding of credible interval (or probability/plausibility/likelihood) of the data which help to reach the true uncertainty of the model. On the other side, for frequentists, population parameters are assumed to be fixed which requires many experiments to find sampling distribution (Lu, 2019). However, *BLR* requires a comparably smaller number of experimental data and can handle missing observations (O'Brien and Dunson, 2004). However, it is computationally more intensive (Xu, 2020a, b). To the best of our knowledge, there is no study on the use of

BLR for bacterial survival/death after HPP treatments and searching the possibility of developing a probabilistic model conducting less number of experiments.

So, the objective of the current study is to [1] investigate the possibility of the use of *BLR* as a survival/death interface model for *Listeria monocytogenes* and *Cronobacter sakazakii* which were processed with HPP under varying temperature, pH, inoculum, pressure and time combinations; [2] assess the prediction performance of *BLR* models against the use of reduced numbers and imbalanced case prevalence of experimental data and [3] discuss cons and pros of *BLR* from the perspective of food safety risks.

2. Material and Method

2.1. Data Sets

The datasets used in the present study were taken from previously published papers by Koseki and Yamamoto (2007) and Koseki et al. (2009) with their permission. Brief information about the used dataset including the microorganisms of interest, process conditions and levels, number of observations were given in Table 1. The goal of the given data set is to create a binary classification model which predicts whether the given microorganisms will survive after HPP treatments under known conditions and its probability. The target responses were coded with the value of 1 and 0 for survival and death, respectively. The absence or presence of viable bacteria was determined by plating the samples taken after HPP onto nonselective agar (tryptic soy agar [TSA]). Plates were then incubated at 37°C for 48 h and inspected for either colony formation (survival) or no colony formation (death). For the details of the after HPP procedure, please see Koseki and Yamamoto (2007) and Koseki et al. (2009).

Table 1. Summary of data used for Bayesian Logistic Regression

Parameters	Reference	
	[1]*	[2]*
Microorganism	<i>L. monocytogenes</i> ATCC 19117	<i>C. sakazakii</i> ATCC 29544
Medium	0.01 M phosphate-buffered saline	- Trypticase soy broth (TSB) - Infant formula (IF)
Pressure (MPa)	200, 300, 400, 500	400, 450, 500, 550, 600
Temperature (°C)	22	25 or 40
pH	3, 4, 5, 6, 7	7.2 for TSB
Inoculum (log₁₀CFU/ml)	3, 5, 7	3,5,7
Time (min)	1, 3, 5, 10, 20, 30	1, 3, 5, 10, 20
Number of observations	360 combinations · 3 replicates = 1080	300 combinations · 3 replicates = 900

* [1] Koseki and Yamamoto (2007), [2] Koseki et al. (2009).

2.2. Bayesian regression and model development platform

Since the present study aims to investigate and propound the possibility of the use of the Bayesian approach for probabilistic modelling of bacterial survival/death expectation, the given models' structures were directly taken from the initial models given in the reference papers (Koseki et al., 2009; Koseki and Yamamoto, 2007). Therefore, the models were formed as given below for the data from Koseki and Yamamoto (2007) (Eqs. (1)-(2)) and the data from Koseki et al. (2009) (Eqs. (3)-(5));

$$\text{logit}(p) = a_0 + a_1P + a_2\log_{10}(t) + a_3pH + a_4IC \quad (1)$$

$$\text{logit}(p) = a_0 + a_1P + a_2t + a_3pH + a_4IC + a_5P \cdot t + a_6P \cdot pH + a_7P \cdot IC + a_8t \cdot pH + a_9t \cdot IC + a_{10}pH \cdot IC + a_{11}P^2 + a_{12}t^2 + a_{13}pH^2 + a_{14}IC^2 \quad (2)$$

$$\text{logit}(p) = a_0 + a_1P + a_2\ln(t) + a_3T + a_4IC + a_5M \quad (3)$$

$$\text{logit}(p) = a_0 + a_1P + a_2\ln(t) + a_3T + a_4IC + a_5M + a_6P \cdot T \quad (4)$$

$$\text{logit}(p) = a_0 + a_1P + a_2t + a_3T + a_4IC + a_5M + a_6P \cdot t + a_7P \cdot T + a_8P \cdot IC + a_9P \cdot M + a_{10}t \cdot T + a_{11}t \cdot IC + a_{12}t \cdot M + a_{13}T \cdot IC + a_{14}T \cdot M + a_{15}IC \cdot M + a_{16}P^2 + a_{17}t^2 + a_{18}T^2 + a_{19}IC^2 \quad (5)$$

where $\text{logit}(p)$ is the abbreviation for $\ln[p/(1-p)]$, \ln is the natural algorithm, p is the probability of survival (in the range from 0 to 1), a_i values are model coefficients, P is the applied pressure (MPa), t is the pressure holding time (min), T is the process temperature (°C), IC is the inoculum concentration of the bacteria of interest in the

test medium (\log_{10} CFU/ml) and M is the type of medium for Eqs. (3)-(5) (TSB and IF coded as dummy variables of 0 and 1, respectively). The logarithm was applied for t in Eq. (1), (3) and (4) since the relationship between holding and microbial inactivation is not linear (Buzrul and Alpas, 2004; Buzrul et al., 2005; Koseki et al., 2009; Koseki and Yamamoto, 2007).

BLR models were developed using PyMC3 library which is for probabilistic programming in Python (Salvatier et al., 2016) over Google Colab and the practice given at the PyMC3 package documentation web page (<https://docs.pymc.io/notebooks/GLM-logistic.html>) for logistic regression was followed. To conduct *BLR*, the first step is to specify a prior distribution to draw samples from the posterior. Especially, when the number of the experimental sampling is very low, prior distribution estimation may have an impact on the outcome (van Boekel, 2020). However, one of the best advantages of the PyMC3 library is its self-tuning strategies for adaptively setting the tunable parameters of MCMC (Markov Chain Monte Carlo) over NUTS (No-U-Turn Sampler). Moreover, PyMC3 provides a very simple, succinct and flexible probabilistic programming platform for quantitative researchers to implement statistical models. Its large library of statistical distributions and pre-defined fitting algorithms help researchers to focus on the scientific problem rather than the implementation details of Bayesian modelling (Salvatier et al., 2016). So, the model settings were left as default in the present study to utilise PyMC3's advantages. As being default, zero-mean normal distribution as a prior with a variance of 10 was applied for parameters, which corresponds to non-informative priors. For the logistics regression model, the error distribution was specified as binomial. Being different from default settings, 2000 tuning samplings were used before the MCMC sampler with 4 chains and "target_accept" parameter was increased to 0.90 to obtain a better convergence with the use of smaller step size.

3. Results and Discussion

3.1. Model Development

Two different data sets consisting of 900 and 1080 observations respectively from Koseki et al. (2009) and Koseki and Yamamoto (2007) were used in the present study. In brief, these data sets contain the observations for survival/death of *L. monocytogenes* and *C. sakazakii* after HPP treatments with varying levels of applied pressure (MPa) for different pH values where temperature ($^{\circ}$ C) and pressure medium were also changed in Koseki et al. (2009) and Koseki and Yamamoto (2007), respectively. Moreover, initial microbial inoculum (\log_{10} CFU/ml) and process time (min) were also other important factors of experiments. Five different models (Eqs. (1)-(2) for the data from Koseki and Yamamoto (2007) and Eqs. (3)-(5) for the data from Koseki et al. (2009)) were developed using the PyMC3 library. Note that although it is not a common practice to separate data as training and test sets for survival/death prediction modelling of bacteria using *LR* (Buzrul, 2019; Koseki et al., 2009; Koseki and Yamamoto, 2007), it has been performed in our study. The purpose of this effort was to figure out whether the models developed by using MCMC *BLR* with smaller number of experiments produce satisfying results as it was previously mentioned as one of the main advantages of Bayesian regression. So, the data sets were randomly separated as training and testing groups using split ratios of 0.10, 0.40, 0.70, 0.90, 0.95 and 0.99 (keeping the ratio of 0/1 (death/survival) which was 55.56 and 33.11% for data from Koseki and Yamamoto (2007) and Koseki et al. (2009), respectively). This means that the given ratio of the entire data was left to a test set for the developed model whereas the rest of the data was used to train it. This was done to observe/compare the prediction performance of the models developed using MCMC *BLR*. The goodness of the models' fit was assessed using simple and classical statistics which are the percentage of model accuracy, sensitivity and specificity with confidence matrix. These statistics were calculated as given by Baratloo et al. (2015) as follows (Eqs. (6)-(8));

$$Accuracy (\%) = \frac{TP + FP}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (6)$$

$$Sensitivity (\%) = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (7)$$

$$Specificity(\%) = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (8)$$

where TP is the number of true-positives (observations correctly identified as death (0)); TN is the number of true-negatives (observations correctly identified as survival (1)); FP is the number of false-positives (observations incorrectly identified as death (0)); FN is the number of false-negatives (observations incorrectly identified as survival (1)). Here, the accuracy of the model indicates its ability to estimate both the survival and death results correctly. Sensitivity is the ability to differentiate the death cases correctly and specificity is the ability to determine the survival cases correctly (Baratloo et al., 2015). FP or fail-safe represents a model that telling the

bacteria survives under the conditions which it should be inactivated. This means that according to the extreme fail-safe model, consumption of the mentioned food is unsafe so it should be discarded (Ratkowsky, 2004). On the other hand, *FN* or fail-dangerous is also undesired especially for manufacturers. Because in such a case a new treatment with a higher/denser process conditions like higher temperature, longer times would be applied to inactivate the “already inactivated” microorganism which is, of course, waste of time and energy (Buzrul, 2019). Therefore, along with accuracy, sensitivity and specificity, *FN* and *FP* are also important to assess the preferability of a model. The model parameters (mean of posterior distributions as point estimates) with their uncertainty (2.5 and 97.5% percentiles of posterior distributions) and goodness of fit statistics were given in Tables 2-6 for Eqs. (1)-(5).

3.2. Model Test and Prediction

As known, the Bayesian approach does not give only one best fitting line or point estimates but it provides an approximation for whole posterior distribution for model parameters (Salvatier et al., 2016). For that purpose, PyMC3 uses Markov Chain Monte Carlo to draw samples from the priors to approximate the posteriors. Monte Carlo is a popular technique of drawing random samples from a distribution, and Markov Chain refers to that the next sample will be drawn according to only previous sample value. The combination of these two methods reveals Markov Chain Monte Carlo (MCMC). As more samples are drawn, the approximation of the posterior will converge on the true posterior distribution for the model parameters at the end (Koehrsen, 2018). To assess the goodness of convergence, trace plots are commonly utilised. In Fig. 1, the trace plot for Eq. (1) was given (for clarity the trace plots for other models were not presented). This plot visualises all the samples (except the discarded tuning samples) drawn for all the variables as divided into two columns. On the left-hand side of Fig. 1, the final approximate posterior distribution for model parameters (in fact they are our model) and on the right-hand side the individual sample values at each step of samplings during MCMC were given. The four different colours in the figures represent the four different sampling chains. It is seen that the model parameters were not point estimates. They were given as posterior distributions displaying how we were uncertain about the true values. From the right-hand side of Fig. 1, the sampling chains for the individual parameters seem well converged and stationary (there are no large drifts or other odd patterns). So, we can use the mean values of distributions as most likely estimates which are given also in Table 2 for Eq. (1) and in Tables 5-6 for other models (PyMC3, 2018). Note that, since MCMC *BLR* is an iterative method producing a distribution, it is possible to face very small and ignorable differences in most likely estimates of model parameters if one reruns the code using even the same data. Moreover, MCMC *BLR* approximated a similar conclusion by almost figuring out a normal distribution for model parameters and found almost identical parameter estimates (mean of posterior distribution) compared to the parameters' point estimates given in Koseki and Yamamoto (2007) for the same model structure. However, if a model is still really unsure about the parameters since they distribute in a wide interval (Koehrsen, 2018), it may be narrowed further by changing model hyperparameters.

The information about the posterior distributions for all models was given in Table 2-6. Regarding Eq. (1), all the accuracy, sensitivity and specificity statistics both for training and test data were found greater than 96% at the split ratio of 0.10. It shows that irrespective of the experimental results (being 0 or 1), the model developed using MCMC *BLR* correctly classified the cases with more than 96% accuracy. Moreover, very close goodness of fit values among test and train samples indicated that there was not either an over or under-fitting problem. When the test split ratio was increased from 0.1 to 0.4, any apparent change in the goodness of statistics did not come through. This behaviour went on up to the test split ratio of 0.90. Even though there were very indistinct variations among changing test split ratios, models' prediction performances were almost identical between 0.10-0.90 level for Eq. (1). However, when the split ratio went beyond 0.90, the goodness of fit statistics started to indicate an increasing overfitting problem. This was previously noted in the literature that a not proper prior distribution estimation and a low number of sampling (high number of unknowns) may be the cause of overfitting issues in Bayesian-based regression methods (Pacifco, 2021; van Boekel, 2020). Parallel with decreasing prediction certainty, parameters uncertainties given with 95% credible interval (2.5 and 97.5% percentiles of highest density interval) of posterior distributions were getting wider as the sample size decreased. Although the philosophy behind them is very different, credible interval gives an idea about how confidence interval gives in frequentists approach. Therefore, as it is valid for confidence interval when the sample size is small, the posterior distributions of the parameters (also credible interval) and the predictions become wider. If there is a wider posterior for parameters, it means that one has a less certain conclusion/estimate from the model (du Prel et al., 2009). Thus, in brief, as the test split ratio increased, we got more brittle models from MCMC *BRL*. Despite all these negativities, it can be concluded that MCMC *BLR* correctly classified more than 86% of the *TP* and *FP* values of testing set using a non-informative prior distribution and only 10 training data that randomly picked among 1080 observation.

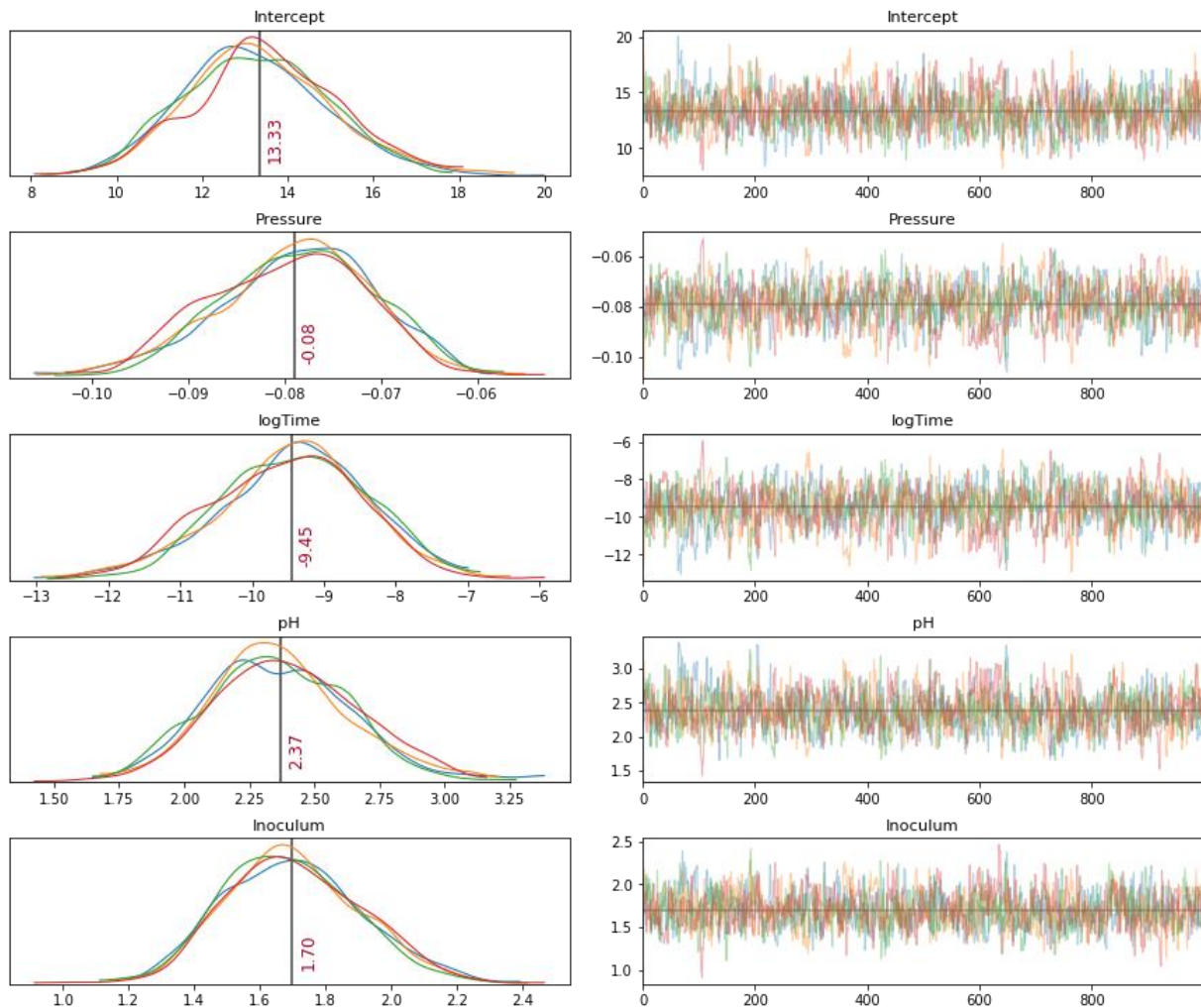


Figure 1. Trace plot and posterior distribution of parameters for Eq. (1) (The final approximate of the posterior distributions for model parameters are on the left-hand side and the individual sample values at each step of samplings are on the right-hand side for the data from Koseki and Yamamoto (2007))

Table 2. Posterior summaries of parameter estimates and model agreement statistics for Eq. (1)

Parameters of Eq. (1)	Test Split Ratio												
	0.10	0.40	0.70	0.90	0.95	0.99							
Intercept (a_0)	13.33 [10.14 16.75]	13.94 [10.07 18.11]	16.64 [9.36 24.94]	24.99 [6.59 46.39]	3501.54 [1416.53 5538.06]	11797.12 [-3885.00 31847.39]							
P (a_1)	-0.08 [-0.10 -0.06]	-0.08 [-0.10 -0.06]	-0.12 [-0.16 -0.08]	-0.20 [-0.34 -0.08]	-22.57 [-35.78 -8.96]	-62.28 [-143.84 -12.50]							
$\log_{10}(t)$ (a_2)	-9.45 [-11.45 -7.41]	-9.64 [-12.17 -7.30]	-12.2 [-17.26 -7.59]	-20.42 [-36.46 -8.05]	-2216.81 [-3485.78 -884.41]	-1143.81 [-2352.38 -85.49]							
pH (a_3)	2.37 [1.82 2.90]	2.48 [1.84 3.14]	3.53 [2.21 5.04]	6.16 [2.30 10.79]	552.40 [218.29 906.46]	622.50 [12.23 1639.54]							
IC (a_4)	1.70 [1.32 2.10]	1.82 [1.34 2.33]	2.7 [1.71 3.92]	4.91 [1.62 8.44]	541.41 [237.20 876.25]	933.69 [-134.12 2010.31]							
CM of training sets	S	524	16	346	14	177	3	58	2	30	0	6	0
	D	17	415	13	275	7	137	2	46	0	24	0	4
CM of test sets	S	58	2	232	8	396	24	524	16	558	12	558	36
	D	1	47	9	183	14	322	31	401	42	414	111	365
For training sets	Ac	96.61		95.83		96.91		96.3		100		100	
	Se	97.04		96.11		98.33		96.67		100		100	
	Sp	96.07		95.49		95.14		95.73		100		100	
For test sets	Ac	97.22		96.06		94.97		95.16		94.74		86.26	
	Se	96.67		96.67		94.29		97.04		97.89		93.94	
	Sp	97.92		95.31		95.83		92.82		90.79		76.68	

- a_i values are model coefficients [results are given as most likely estimates [95% credible interval]], P is the applied pressure (MPa), t is the pressure holding time (min), T is the process temperature ($^{\circ}C$), IC is the inoculum concentration of the bacteria of interest ($\log_{10}CFU/ml$)
 - S :Survival, D :Death, Ac : Accuracy, Se : Sensitivity, Sp : Specificity, CM : Confusion matrix.
 - The given colours indicate 50 60 70 80 90 100 levels as percentage.

Regarding Eq. (2), the model developed using the same data with Eq. (1), showed slightly better agreement with training and testing sets for 0.1 and 0.4 test split ratios. Accuracy, sensitivity and specificity statistics of these models were almost within the range of 97-98%. For the 0.70 test split ratio, the goodness of fit statistics for the training data set maintained close to 98% where a 3% reduction was observed for agreement between model predictions and the test set. However, since the difference between model agreement statistics of training and testing data was so small and ignorable, it is worth saying that using only 30% of the experimental data set (324 observation instead of 1080) can give a good estimate of the posterior probability of bacterial survival/death after HPP treatment. However, for greater split ratios, the models started to overestimate the results and reached remarkably wider posterior distributions faster (at higher sampling sizes) than Eq. (1) did. As the test split ratio increased, specificity and accuracy percentages decreased, as well. Not only for Eq. (2) but also for Eq. (1), the most affected goodness of fit criteria from the decrement of the number observation introduced to the model were specificity and accuracy in the decreasing order. On the other hand, sensitivity somehow was not affected by the change of sample size. It means that the models, developed using a very limited number of samples, were highly capable of foreseeing if HPP treatment is sufficient and the bacterial death takes place. However, they have a higher tendency to label survival cases as death (or fail-safe) for high split ratios. These may lead to food safety problems as it may cause the acceptance of unsafe foods as if they were safe. But overall, even the 0.90 split ratios led to acceptable prediction accuracy from the point of tests' prediction perspective. On the other hand, parameter removal can improve the performance of Eq. (2) and it may also be beneficial to solve the overfitting problem at high test split ratios. As it is well-known, model complexity is the main source of overestimating problems (James et al., 2013).

Table 3. Posterior summaries of parameter estimates and model agreement statistics for Eq. (2)

Parameters of Eq. (2)	Test Split Ratio												
	0.10	0.40	0.70	0.90	0.95	0.99							
Intercept (a_0)	50.99 [28.99 71.19]	40.84 [17.25 66.66]	106.64 [39.69 182.99]	9551.77 [3742.87 14664.53]	14589.76 [572.90 117.97]	20567.35 [-31738.04 123821.62]							
P (a_1)	-0.27 [-0.40 -0.14]	-0.1 [-0.37 -0.06]	-0.39 [-0.82 0.02]	-52.02 [-93.28 0.002]	1.78 [-105.23 2115.42]	-93.59 [-275.17 21.94]							
t (a_2)	-1.61 [-2.74 -0.81]	-1.14 [-2.14 -0.10]	-1.78 [-4.94 1.73]	711.50 [-64.56 1614.56]	265.40 [-540.40 2115.42]	130.54 [-767.91 1223.20]							
pH (a_3)	-1.90 [-5.83 1.46]	-3.43 [-8.13 1.26]	-12.35 [-23.87 -1.96]	685.11 [-1459.07 2322.94]	328.14 [-1190.71 1577.80]	-2.39 [-1588.52 2084.44]							
IC (a_4)	4.77 [1.54 8.14]	4.86 [0.64 8.99]	4.33 [-7.80 16.85]	-413.88 [-1978.28 1184.28]	-40.06 [-965.90 783.25]	436.39 [-1497.10 2474.87]							
$P \cdot t$ (a_5)	0.00 [-0.002 0.003]	-0.001 [-0.01 0.002]	-0.01 [-0.02 0.004]	-6.54 [-11.16 -2.44]	-8.05 [-13.5 -2.51]	-10.39 [-32.94 -1.19]							
$P \cdot pH$ (a_6)	-0.01 [-0.02 0.01]	-0.00 [-0.02 0.02]	0.01 [-0.04 0.05]	0.23 [-2.71 5.25]	3.43 [-5.86 13.52]	1.13 [-7.49 15.22]							
$P \cdot IC$ (a_7)	-0.02 [-0.03 -0.004]	-0.02 [-0.03 -0.003]	0.00 [-0.05 0.05]	4.45 [0.44 8.53]	-0.47 [-5.17 5.88]	16.79 [3.10 39.52]							
$t \cdot pH$ (a_8)	0.13 [0.02 0.25]	0.14 [-0.003 0.31]	0.58 [0.05 1.13]	40.00 [-77.35 136.98]	36.22 [-181.20 233.94]	333.07 [-380.41 1711.29]							
$t \cdot IC$ (a_9)	-0.09 [-0.16 -0.02]	-0.10 [-0.21 -0.002]	0.103 [-0.25 0.44]	23.53 [-33.34 92.76]	-12.59 [339.00 465.95]	-271.10 [-1118.02 720.22]							
$pH \cdot IC$ (a_{10})	0.09 [-0.38 0.49]	0.22 [-0.39 0.86]	-0.23 [-1.75 1.22]	119.57 [-146.31 476.125]	120.92 [-562.26 542.77]	605.82 [-216.03 2516.81]							
P^2 (a_{11})	0.00 [0.00 0.001]	0.00 [-0.00 0.001]	0.00 [-0.00 0.001]	-0.05 [-0.11 0.04]	-0.25 [-0.43 -0.01]	-0.25 [-0.54 -0.03]							
t^2 (a_{12})	0.02 [0.01 0.03]	0.01 [-0.002 0.03]	-0.01 [-0.07 0.05]	17.42 [4.07 28.71]	25.84 [-20.87 60.58]	-103.95 [-605.40 274.51]							
pH^2 (a_{13})	0.57 [0.15 1.01]	0.49 [-0.07 1.04]	1.42 [0.21 2.81]	200.05 [46.06 4995.45]	123.41 [-81.13 385.90]	442.05 [-338.22 1332.83]							
IC^2 (a_{14})	0.35 [0.04 0.69]	0.42 [-0.04 0.87]	0.27 [-0.86 1.44]	58.61 [-66.65 182.98]	435.68 [172.72 983.18]	-67.18 [-899.08 985.58]							
CM of training sets	<i>S</i>	529	11	554	6	176	4	60	0	30	0	6	0
	<i>D</i>	14	418	10	278	3	141	0	48	0	24	0	4
CM of test sets	<i>S</i>	59	1	236	4	400	20	513	27	555	15	579	15
	<i>D</i>	1	47	5	187	15	321	33	399	48	408	159	317
For training sets	<i>Ac</i>	97.43	98.11	97.84	100	100	100						
	<i>Se</i>	97.96	98.93	97.78	100	100	100						
	<i>Sp</i>	96.76	96.53	97.92	100	100	100						
For test sets	<i>Ac</i>	98.15	97.92	95.37	93.83	93.86	83.74						
	<i>Se</i>	98.33	98.33	95.24	95	97.37	97.47						
	<i>Sp</i>	97.92	97.4	95.54	92.36	89.47	66.6						

- a_i values are model coefficients (results are given as "most likely estimates [95% credible interval]"), P is the applied pressure (MPa), t is the pressure holding time (min), T is the process temperature (°C), IC is the inoculum concentration of the bacteria of interest (\log_{10} CFU/ml)
- *S*:Survival, *D*:Death, *Ac*: Accuracy, *Se*: Sensitivity, *Sp*: Specificity, *CM*: Confusion matrix.
- The given colours indicate 50 60 70 80 90 100 levels as percentage.

Eqs. (4)-(6) were developed for the data taken from Koseki et al. (2009). The reason for applying the same modelling procedure for similar datasets was the difference between the distribution balance of them. As previously noted, the ratio of 0/1 (death/survival) is 55.56% for the data from Koseki and Yamamoto (2007) which is well balanced whereas it is only 33.11% for the data from Koseki et al. (2009). As known, an imbalanced dataset may lead to biased parameter estimates and classification performance of a logistic regression model (Rahman et al., 2020). So in the present study, the performance of Bayesian-based logistic regression was also conducted once more to observe whether it is capable of handling moderately imbalanced bacterial survival data at various sampling sizes. At this point, it should also be noted that the performance of a model is not only dependent on the methods but also affected by various factors which of one is the data itself. But in our case, since the models in the original papers predicted quite well for both data, it was thought that performing a comparison using different data sets with changing case prevalence was appropriate.

Table 4. Posterior summaries of parameter estimates and model agreement statistics for Eq. (3)

Parameters of Eq. (3)	Test Split Ratio												
	0.10		0.40		0.70		0.90		0.95		0.99		
Intercept (a_0)	19.14		16.68		20.18		2675.88		3725.6		-7325.47		
	[14.99 23.72]		[12.13 21.62]		[12.10 28.27]		[528.57 4324.96]		[665.98 7608.41]		[-15996.09 1915.64]		
P (a_1)	-0.05		-0.4		-0.05		-6.33		-12.96		5.46		
	[-0.05 -0.04]		[-0.05 -0.03]		[-0.07 -0.03]		[-10.55 -1.47]		[-23.71 -3.52]		[-11.51 26.43]		
$\ln(t)$ (a_2)	-3.53		-3.45		-3.75		-499.42		-1068.63		-1493.99		
	[-4.21 -2.87]		[-4.25 -2.59]		[-4.92 -2.60]		[-864.84 -154.08]		[-1890.85 -389.22]		[-2445.49 -421.73]		
T (a_3)	-0.28		-0.26		-0.27		-32.49		-29.67		48.71		
	[-0.34 -0.21]		[-0.34 -0.19]		[-0.38 -0.15]		[-54.87 -7.75]		[-92.13 21.58]		[-242.68 266.66]		
IC (a_4)	2.03		1.91		2.10		243.68		647.07		657.36		
	[1.61 2.42]		[1.48 2.39]		[1.44 2.87]		[57.84 410.62]		[206.43 1213.23]		[-442.08 1794.71]		
M (a_5)	8.29		7.69		-9.97		1021.38		2091.38		1335.80		
	[6.80 9.80]		[5.99 9.47]		[6.90 13.12]		[371.79 2064.88]		[842.96 3281.05]		[138.40 2784.19]		
CM of training sets	S	513	29	337	24	175	6	60	0	30	0	6	0
	D	29	239	18	161	10	79	2	28	0	15	0	3
CM of test sets	S	58	2	226	15	405	16	525	17	544	28	516	80
	D	1	29	5	114	29	180	40	228	53	230	150	145
For training sets	Ac	92.84		92.22		94.07		97.78		100		100	
	Se	94.65		93.35		96.69		100		100		100	
	Sp	89.18		89.94		88.76		93.33		100		100	
For test sets	Ac	96.67		94.44		92.86		92.96		90.53		74.19	
	Se	96.67		93.78		96.2		96.86		95.1		86.58	
	Sp	96.67		95.8		86.12		85.07		81.27		49.15	

- a_i values are model coefficients (results are given as "most likely estimates [95% credible interval]"), P is the applied pressure (MPa), t is the pressure holding time (min), T is the process temperature ($^{\circ}$ C), IC is the inoculum concentration of the bacteria of interest (\log_{10} CFU/ml)
 - **S**: Survival, **D**:Death, **Ac**: Accuracy, **Se**: Sensitivity, **Sp**: Specificity, **CM**: Confusion matrix.
 - The given colours indicate 50 60 70 80 90 100 levels as percentage.

Table 5. Posterior summaries of parameter estimates and model agreement statistics for Eq. (4)

Parameters of Eq. (4)	Test Split Ratio												
	0.10		0.40		0.70		0.90		0.95		0.99		
Intercept (a_0)	12.30		10.32		20.58		-806.19		6276.49		-9516.54		
	[1.92 23.49]		[-2.433 23.94]		[-1.80 42.24]		[-969.87 2577.42]		[-2120.08 13597.42]		[-25288.56 6433.26]		
P (a_1)	-0.03		-0.03		-0.05		-0.86		-17.36		15.18		
	[-0.05 -0.01]		[-0.05 -0.00]		[-0.10 -0.01]		[-7.51 4.38]		[-31.58 -0.09]		[-20.32 54.00]		
$\ln(t)$ (a_2)	-3.55		-3.50		-3.80		-735.51		-1004.82		-1434.74		
	[-4.29 -2.91]		[-4.32 -2.72]		[-5.11 -2.63]		[-971.41 -433.91]		[-1559.24 -520.316]		[-2511.71 -307.97]		
T (a_3)	-0.05		-0.05		-0.27		92.17		-114.38		139.47		
	[-0.38 0.29]		[-0.46 0.35]		[-0.94 0.35]		[-15.29 192.82]		[-334.26 111.26]		[-224.77 713.98]		
IC (a_4)	2.04		1.94		2.13		375.07		622.27		519.30		
	[1.61 2.43]		[1.47 2.42]		[1.36 2.89]		[227.27 502.84]		[260.53 951.71]		[-506.30 2053.55]		
M (a_5)	8.31		7.77		10.12		1625.54		2057.71		1253.74		
	[6.78 9.99]		[6.00 9.58]		[6.80 13.60]		[1001.57 2220.34]		[1071.13 3100.93]		[93.89 2766.49]		
$P \cdot T$ (a_7)	-0.00		-0.00		0.00		-0.25		0.15		-0.27		
	[-0.001 0.00]		[-0.001 0.00]		[-0.001 0.001]		[-0.44 -0.06]		[-0.26 0.59]		[-1.41 0.58]		
CM of training sets	S	516	26	338	23	175	6	59	1	30	0	6	0
	D	25	243	19	160	9	80	2	28	0	15	0	3
CM of test sets	S	56	4	230	11	405	16	522	20	546	26	488	108
	D	1	29	10	109	32	177	49	219	42	241	115	180
For training sets	Ac	93.7		92.22		94.44		96.67		100		100	
	Se	95.2		93.63		96.69		98.33		100		100	
	Sp	90.67		89.29		89.89		93.33		100		100	
For test sets	Ac	94.44		94.17		92.38		91.48		92.05		74.97	
	Se	93.33		95.44		96.2		96.31		95.45		81.88	
	Sp	96.67		91.6		84.69		81.72		85.16		61.02	

- a_i values are model coefficients (results are given as "most likely estimates [95% credible interval]"), P is the applied pressure (MPa), t is the pressure holding time (min), T is the process temperature ($^{\circ}$ C), IC is the inoculum concentration of the bacteria of interest (\log_{10} CFU/ml)
 - **S**: Survival, **D**:Death, **Ac**: Accuracy, **Se**: Sensitivity, **Sp**: Specificity, **CM**: Confusion matrix.
 - The given colours indicate 50 60 70 80 90 100 levels as percentage.

Table 6. Posterior summaries of model parameter estimates and model agreement statistics for Eq. (5)

Parameters of Eq. (5)	Test Split Ratio												
	0.10	0.40	0.70	0.90	0.95	0.99							
Intercept (a_0)	19.04 [-1701.74 1842.36]	516.46 [-1358.73 231667]	-1204.25 [-3460.17 567.69]	1546.76 [-1468.81 9007.78]	3260.69 [-4571.08 10062.48]	124904.24 [-514247.5 2297439.9]							
P (a_1)	0.00 [-0.13 0.11]	0.06 [-0.04 0.15]	-0.24 [-0.53 0.01]	2.09 [-4.88 11.75]	14.29 [-47.51 61.14]	-127.80 [-1768.90 1506.74]							
t (a_2)	-0.39 [-1.97 1.65]	0.69 [-0.29 1.53]	-1.26 [-4.60 1.57]	-629.61 [-1031.17 -287.73]	211.38 [1659.27 2171.30]	-5.45 [-1405.36 830.20]							
T (a_3)	-1.63 [-119.60 110.12]	-34.67 [-151.52 86.89]	82.47 [-27.96 236.60]	157.20 [-46.56 474.95]	166.01 [-68.75 820.31]	-89.92 [-1658.70 1377.97]							
IC (a_4)	4.16 [-1.21 10.02]	2.44 [-0.13 7.89]	0.39 [-9.39 11.61]	725.35 [-201.82 1672.02]	377.11 [-550.76 1451.28]	-500.44 [-2793.53 1361.02]							
M (a_5)	19.19 [-5.61 37.50]	9.95 [-5.18 23.02]	39.21 [0.81 72.89]	87.18 [-1149.62 1309.29]	683.99 [-195.29 2444.31]	6.94 [-1480.20 1784.24]							
$P \cdot t$ (a_6)	-0.002 [-0.01 0.001]	-0.004 [-0.01 -0.003]	-0.01 [-0.01 0.001]	-0.53 [-1.47 0.08]	-12.81 [-20.38 -7.49]	-776.88 [-2566.53 5.83]							
$P \cdot T$ (a_7)	0.00 [-0.001 0.002]	-0.00 [-0.002 0.001]	0.002 [-0.001 0.01]	-0.65 [-1.04 -0.35]	-1.03 [-3.23 0.88]	86.87 [-95.14 396.96]							
$P \cdot IC$ (a_8)	-0.01 [-0.02 0.01]	-0.001 [-0.01 0.01]	0.01 [-0.01 0.02]	-0.85 [-3.40 1.23]	9.41 [0.48 27.73]	-81.64 [-1288.78 263.91]							
$P \cdot M$ (a_9)	-0.01 [-0.04 0.04]	0.005 [-0.03 0.03]	-0.01 [-0.08 0.06]	1.51 [-3.15 7.13]	11.65 [-30.08 48.99]	660.90 [-65.92 2062.86]							
$t \cdot T$ (a_{10})	0.00 [-0.02 0.02]	-0.01 [-0.03 +0.01]	-0.2 [-0.01 0.05]	-6.87 [-19.55 6.63]	-1.83 [-17.22 5.75]	-529.77 [-2677.45 556.56]							
$t \cdot IC$ (a_{11})	-0.36 [-0.14 0.09]	0.01 [-0.11 0.12]	0.15 [-0.05 0.37]	42.49 [-10.72 111.82]	341.69 [-74.98 1320.75]	-210.41 [-1593.44 1212.26]							
$t \cdot M$ (a_{12})	0.17 [-0.24 0.77]	0.36 [-0.03 0.88]	0.85 [-0.19 1.93]	134.17 [-85.67 398.57]	238.14 [-919.56 15995.39]	-215.62 [-2062.35 1207.76]							
$T \cdot IC$ (a_{13})	-0.05 [-0.11 0.01]	-0.05 [-0.12 0.002]	0.02 [-0.10 0.12]	-4.08 [-16.87 15.37]	-8.07 [-117.59 62.42]	57.74 [-1525.81 2164.48]							
$T \cdot M$ (a_{14})	0.06 [-0.15 0.31]	0.04 [-0.18 0.30]	-0.02 [-0.42 0.44]	105.57 [17.93 224.93]	512.82 [-109.06 1316.83]	238.67 [-1165.81 2407.44]							
$M \cdot IC$ (a_{15})	-1.18 [-2.91 0.39]	-1.15 [-2.68 0.64]	-3.30 [-7.22 0.94]	19.39 [-187.82 331.72]	437.09 [-1404.80 2912.93]	112.89 [-1193.40 967.14]							
P^2 (a_{16})	-0.00 [0.00 0.00]	-0.00 [-0.00 0.00]	0.00 [-0.00 0.00]	-0.003 [-0.02 0.01]	-0.09 [-0.25 0.02]	3.29 [-17.68 35.31]							
T^2 (a_{17})	0.03 [0.01 0.06]	0.02 [0.01 0.05]	0.07 [0.02 0.12]	16.38 [5.02 26.51]	22.54 [-239.30 327.03]	-236.37 [-2530.95 1994.51]							
t^2 (a_{18})	0.02 [-1.69 1.83]	0.53 [-1.34 2.32]	-1.29 [-3.57 0.51]	0.39 [-2.35 4.59]	-2.31 [-10.47 4.26]	-298.12 [-2304.11 994.74]							
IC^2 (a_{19})	0.35 [0.05 0.54]	0.28 [0.05 0.5]	0.12 [-0.42 0.70]	60.78 [-2.59 210.25]	-11.07 [-69.85 3.33]	324.25 [-1446.21 2578.79]							
CM of training sets	<i>S</i>	524	18	346	15	176	5	60	0	30	0	6	0
	<i>D</i>	22	246	12	167	8	81	2	28	0	15	0	3
CM of test sets	<i>S</i>	57	3	227	14	401	20	524	18	540	32	371	225
	<i>D</i>	2	28	3	116	28	181	44	224	57	226	97	198
For training sets	<i>Ac</i>	95.06		95		95.19		97.78		100		100	
	<i>Se</i>	96.68		95.84		97.24		100		100		100	
	<i>Sp</i>	91.79		93.3		91.01		93.33		100		100	
For test sets	<i>Ac</i>	94.44		95.28		92.38		92.35		89.59		63.86	
	<i>Se</i>	95		94.19		95.25		96.68		94.41		62.25	
	<i>Sp</i>	93.33		97.48		86.6		83.58		79.86		67.12	

- a_i values are model coefficients (results are given as "most likely estimates [95% credible interval]"), P is the applied pressure (MPa), t is the pressure holding time (min), T is the process temperature ($^{\circ}\text{C}$), IC is the inoculum concentration of the bacteria of interest ($\log_{10}\text{CFU/ml}$)

- *S*: Survival, *D*:Death, *Ac*: Accuracy, *Se*: Sensitivity, *Sp*: Specificity, *CM*: Confusion matrix.

- The given colours indicate 50 60 70 80 90 100 levels as percentage.

The posterior information of the simplest model (Eq. (3)) for this moderately imbalanced data set was given in Table 4. When the test split ratio was set as 0.10, the goodness of fit statistics for the test set was calculated as a little higher than their training counterparts. This may be attributed to the imbalance of case prevalence of the used data set. Because it brings to mind that the test data set might consist of easy to predict (more compatible with the model) examples than the training set. For such a case, model parameters can be changed, test and training data can be redistributed or other validation methods such as cross-validation might be employed to use all possible subsets of the data for both training and testing. Similar to the previous model, as the test splitting ratios increased the model started to overestimate the results and the model uncertainty increased gradually. But still relatively acceptable prediction accuracy was obtained up to 0.9-0.95 split level. The addition of $P \cdot T$ parameter to Eq. (3) gave Eq. (4). When the results were analysed, this change did not result in a big difference in the final model accuracy except a slightly better-balanced goodness of fit statistics appearing between training and test. However, the mentioned differences were small and the models could still be considered as acceptable. Since the $P \cdot T$ parameter in Eq. (4) had so small values of coefficients for different splitting ratios, it had a very negligible contribution to the model prediction comparing to the other model parameters. A similar situation present for Eq. (5), as well and some of the model parameters were frivolous. So using model simplification methods such as comparison of WAIC (Widely-applicable Information Criterion) values or LOO (Leave-one-out cross-validation) of

different models, the best possible parameter subset of the models can be chosen (Vehtari et al., 2017). A similar procedure was carried out by Koseki et al. (2009) and some of the parameters were removed from Eq. (5) to obtain minimum AIC (Akaike's Information Criterion). However, since the main purpose of the present paper is to assess the potential use of MCMC *BLR* and its reaction against low sampling sizes and changing case prevalence, a parameter elimination practice was not followed. Regarding the effect of increased test split ratios, model behaviour is almost identical for Eqs. (3)-(5) with Eqs. (1)-(2).

To compare the effects of different model parameters on model output, there are several alternatives. The most popular and the easiest one is the comparison of the "Odds Ratio" of the model parameters and their uncertainties. The odds ratio is a popular statistic for likelihood approximation and it simply tells us that one unit of increase in an explanatory variable changes the expected likelihood results at the level of one odds ratio times. Therefore, if the odds ratio of a parameter is equal to one, this means that two outputs (death or survival) are independent of that parameter (Bland and Altman, 2000; UCLA, 2016). On the other hand, when the odds ratio is between 0-1, this means that there is a negative correlation between the parameter and expected case compared to the reference, and vice versa for an odds ratio that is greater than 1 (Szumilas, 2010). For instance, the odds ratio of pressure term for Eq. (1) was calculated as 0.96 to expect survival of bacteria after HPP treatment. It means that every unit of increase of the pressure is likely to decrease the survival probability of the bacteria 0.96 times.

Rather than odds ratio, posterior predictive regression lines allow us to visually inspect the most likely estimate of model predictions and its distribution versus varying levels of models' explanatory variables (Fig. 2). In these figures, 1000 different curves for varying levels of the inspected parameters were given where the mean values of the other parameters were used. For example, in Fig. 2(a), pressure values were changed between 200-500 MPa but the rest of the model parameters were kept at their means which were $pH = 5$, $IC = 5 \log_{10}CFU/ml$ and $\log_{10}(t) = 0.83$ min. Moreover, where it was necessary, some plots were drawn by extrapolating the model to an acceptable level out of the experimental range to provide a clearer view of the trend for posterior predictive. In those figures, the black dashed lines display the most likely estimate of the prediction which were drawn using coefficients of parameters given in Table 2. Since the red curves correspond to 1000 different curves for each level of a given parameter from the posterior distribution, they seem blurry and the saturation of the colour gives an idea about the frequency and distribution of the predictions. Moreover, 0.1, 0.5 and 0.9 probability (or 10, 50 and 90% probability) for achieving bacterial inactivation were marked. The region of probability <0.5 can be assigned as "likely to achieve the target log reduction" (Buzrul, 2019). From the figures, it can be concluded that there was a negative correlation between P , $\log_{10}(t)$ and survival probability of *L. monocytogenes*. On the other hand, lower values of pH and IC lead to a higher probability of bacterial log reduction. For the values approximately $P > 325$ MPa, $\log_{10}(t) > 0.65$ min, $pH < 0.57$ and $IC < 6 \log_{10}CFU/ml$, inactivation probability of bacteria was greater than 0.5. Moreover, for the values $P > 360$ MPa, $\log_{10}(t) > 0.85$ min, $pH < 4.75$ and $IC < 4.70 \log_{10}CFU/ml$, achieving desired bacterial log reduction probability was greater than 0.9 for the given levels of the other parameters. As an advantage of the probabilistic modelling, given probabilities in Fig. 2, are also valid for the levels of the parameters higher/lower than the studied range (Buzrul, 2019). For instance, the effects of $P > 360$ MPa were also distinguishable. As an advantage of the *BLR*, the distribution of the output uncertainty around the most likelihood curve was also visible. As it was apparent from the trace plot of parameters (Fig. 1), posterior distributions were unimodal and quite symmetric. As a result, the predictive posterior distribution of survival probability from Eq. (1) also showed a similar distribution as seen from Fig. 2. However, for the given parameter levels, posterior predictive distributions were a little wider for higher values of pH , IC and lower values of $\log_{10}(t)$. For all the mentioned levels, bacteria was more prone to survive. So, the producers need to pay more attention for these more uncertain regions in their processes to avoid from possible food safety problems.

3.3. Perspective

Probabilistic modelling is an emerging technique in statistical learning of bacterial survival/death or growth/no growth. Among them, *LR* is very popular and almost the standard method to analyse binary and ordered categorical outcome data. However, the classical frequentist approach (the maximum likelihood estimation) to determine point estimates of *LR* requires large sample arguments and their performance is often problematic for small or moderate volume size of data sets (O'Brien and Dunson, 2004). Bayesian modelling, which is an important sub-discipline of the probabilistic approach is suitable for such cases. It has several important advantages over likelihood-based frequentist methods for analysing multivariate categorical data. Not all but the most important advantages of *BLR*, especially for MCMC algorithm, are: [1] there is no need for large sample data sets, [2] it can handle the existence of missing data, [3] it is easy to implement with the use of available libraries like PyMC3 and [4] it gathers realistic and not fixed information about the distribution and uncertainty of predictive outputs and model parameters (O'Brien and Dunson, 2004; Salvatier et al., 2016; van Boekel, 2020).

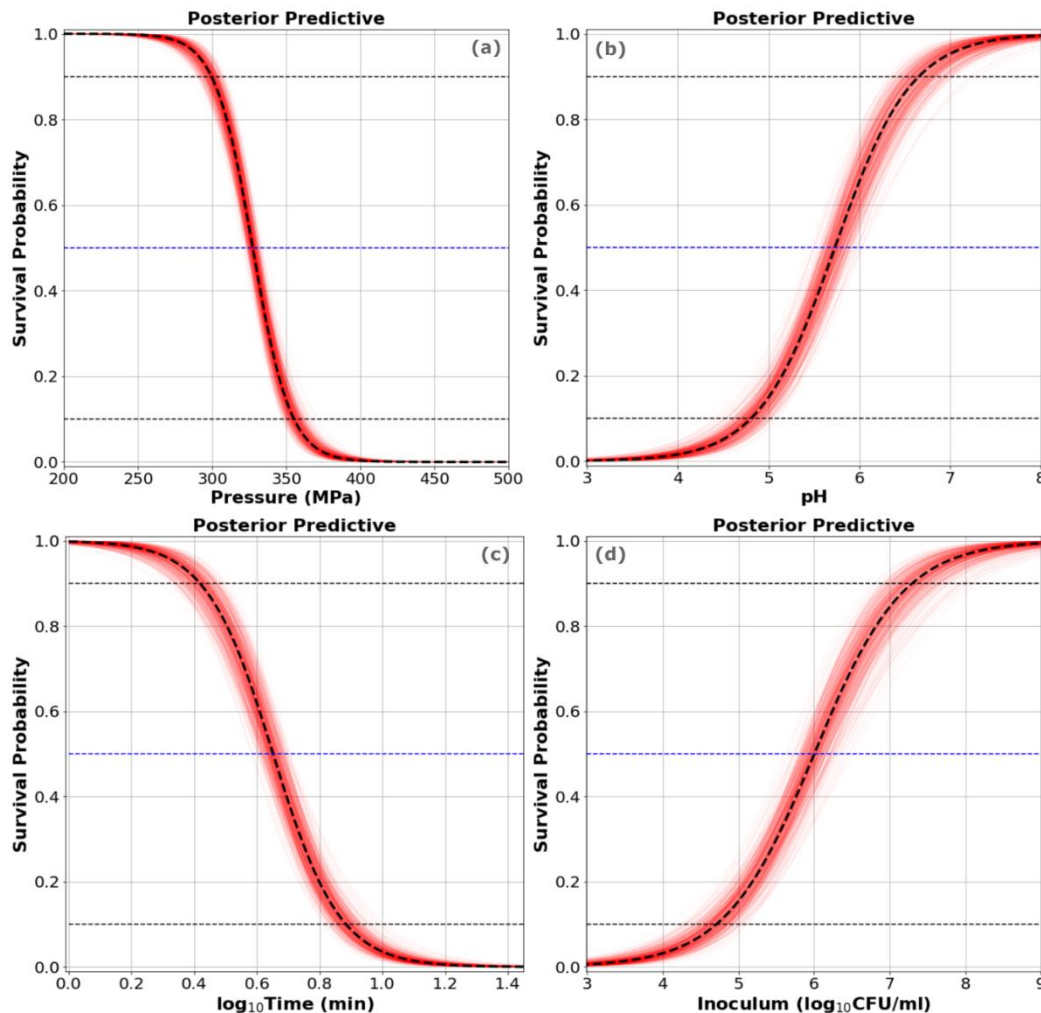


Fig. 2. Posterior predictive distributions for *L. monocytogenes* (for the data from Koseki and Yamamoto (2007)) using Eq. (1) for varying levels of (a) pressure (P), (b) pH, (c) \log_{10} Time ($\log_{10}(t)$) and (d) inoculum (IC) (for all plots, the constant process variables are $P = 350$ MPa, $pH = 5$, $IC = 5 \log_{10}$ CFU/ml and $\log_{10}(t) = 0.83$ min except the one given for each where survival and death cases were coded as 1 and 0, respectively)

Compared to reference studies (Koseki et al. (2009) and Koseki and Yamamoto (2007)), MCMC *BLR* can produce satisfying results even for test data sets using 90 and 108 number of experimental data (test split ratio of 0.90) instead of 900 and 1080, respectively, for Koseki et al. (2009) and Koseki and Yamamoto (2007). Compared to the per cent concordance statistics (the equivalent of per cent accuracy calculated in the present study) given in those references, MCMC *BLR* can produce similar model agreements for both training and test comparison (note that the given concordance results in the reference studies were calculated using all data set as training and leave one out cross-validation was also applied only by Koseki et al. (2009)). Furthermore, the use of 45 and 54 data points (test split ratio of 0.95) still provides a fair amount of knowledge to evaluate the processes although the misclassification rates slightly increased. When the time and cost savings with the reduction of experimental works are considered, a small increase in the misclassification ratios might be acceptable. However, when the data size reduced to 9 and 10, an obvious overfitting problem arose which may lead producers to give wrong decisions. So, it can be concluded that MCMC *BLR* can be used with a smaller number of experimental data (about 50 experimental sample) to produce a relatively reliable probability models. Although it did not conduct in the present study, elimination of weakly or not contributing parameters may further improve the models' prediction accuracy. On the other hand, although a good convergence was obtained for given models during MCMC sampling, using a more informative prior may improve model performance instead of a non-informative one. If someone already has an idea about the parameter distributions, posteriors can take shape and credible interval can narrow faster. And the use of a weakly informative prior is always suggested since it prevents Bayesian regressions from overfitting (McElreath, 2016), and has a stabilising effect on MCMC simulation (Korner-Nievergelt et al., 2015). A detailed guideline about covering the tips about prior selection was given by van Boekel (2020). Being like it was done in the current study, for scientists non-experienced in *BLR*, a non-informative prior may work when the number of tuning iterations were increased which is very easy with a cost of more computation time. Using tuning samples, a stationary prior is automatically supplied for a speed-up calculation of expectations. In the PyMC3

library, the tuning samples were discarded since it would be theoretically shaky to suggest that they came from the stationary distribution at all (Carroll, 2019).

Since the uncertainty distribution for posterior predictive is available with *BLR*, manufacturers can consider and pay more attention to the levels of process parameters separately or in combination for which high deviation exists. In addition to high uncertainty, the posterior distribution of parameter estimates and the model prediction may have a non-symmetric distribution skewing left or right. Having a full perspective about posterior distributions of parameters and estimates strengthen manufacturers hands against food safety risks allowing them to foresee unusual deviations of the system.

Contrary to its ease of implementation, calculation of expectations by MCMC *BLR* may take hours especially if the dataset is big and the computational sources are limited. However, it can be tolerable when the amount of time possibly saved from the experimental workload is considered. Moreover, with the use of more powerful sources like Google Colab or high-performance computing services like TRUBA which is provided by TUBITAK ULAKBIM, calculation times can be reduced to minutes. No doubt, this makes the use of MCMC *BLR* more attractive.

4. Conclusion

This study indicates that Bayesian Logistic Regression can be a useful tool to describe the survival/death probability of microorganisms after high-pressure processes with lower experimental data requirement (with about 50 experimental samples) than the frequentist approach and also with the ability to handle missing observation and imbalanced dataset. Although weakly informative priors of parameters are generally required for a better and faster convergence, with the help of well developed and documented libraries like PyMC3 for Python, both coding and implementation of Markov Chain Monte Carlo Bayesian Logistic Regression is easily applicable and can produce satisfactory predictions even with the use of non-informative priors. Since Bayesian Logistic Regression produces posterior distributions for parameters and predictions, more realistic information about the model uncertainty is possible to obtain instead of the presumed and fixed distributions followed in the frequentist approach. Moreover, with the use of free high computational sources, the iterations of the Markov Chain Monte Carlo can be completed only in minutes and Bayesian approaches become more attractive. Therefore, not only for high-pressure processes but also for other food operations, the design of new studies requiring a smaller number of experiments to save time and costs may be possible for researchers. Besides, a more detailed risk assessment paying attention to changing and possibly non-symmetric distributions for varying levels of process parameters alone or in combination may be feasible for the food industry.

Acknowledgement

I would like to thank Prof. Shige Koseki (Food and Agricultural Process Engineering, Hokkaido University, Japan) for sharing the experimental data and giving permission to reuse it.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Baratloo, A., Hosseini, M., Negida, A., El Ashal, G., (2015). Part 1: Simple definition and calculation of accuracy, sensitivity and specificity. *Emergency* 3(2), 48-49.
- Bilbao-Sáinz, C., Younce, F.L., Rasco, B., Clark, S., (2009). Protease stability in bovine milk under combined thermal-high hydrostatic pressure treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10(3), 314-320.
- Bland, J.M., Altman, D.G., (2000). The odds ratio. *BMJ* 320(7247), 1468.
- Butz, P., Fernández García, A., Lindauer, R., Dieterich, S., Bognár, A., Tauscher, B., (2003). Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products. *Journal of Food Engineering* 56(2), 233-236.
- Buzrul, S., (2014). Multi-pulsed high hydrostatic pressure inactivation of microorganisms: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 26, 1-11.
- Buzrul, S., (2017). Evaluation of different dose-response models for high hydrostatic pressure inactivation of microorganisms. *Foods* 6(9), 79.
- Buzrul, S., (2019). High hydrostatic pressure inactivation of microorganisms: A probabilistic model for target log-reductions. *International Journal of Food Microbiology* 309, 108330.
- Buzrul, S., Alpas, H., (2004). Modeling the synergistic effect of high pressure and heat on inactivation kinetics of *Listeria innocua*: a preliminary study. *FEMS Microbiology Letters* 238(1), 29-36.
- Buzrul, S., Alpas, H., Bozoglu, F., (2005). Use of Weibull frequency distribution model to describe the inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* by high pressure at different temperatures. *Food Research International* 38(2), 151-157.

- Buzrul, S., Alpas, H., Largeteau, A., Demazeau, G., (2008). Modeling high pressure inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in whole milk. *European Food Research and Technology* 227(2), 443-448.
- Campus, M., (2010). High pressure processing of meat, meat products and seafood. *Food Engineering Reviews* 2(4), 256-273.
- Carroll, C., (2019). Pragmatic probabilistic programming: Parameter adaptation in PyMC3.
- du Prel, J.-B., Hommel, G., Röhrig, B., Blettner, M., (2009). Confidence interval or p-value?: part 4 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Arzteblatt international* 106(19), 335-339.
- Ferrari, G., Maresca, P., Ciccarone, R., (2010). The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice. *Journal of Food Engineering* 100(2), 245-253.
- Gudbjornsdottir, B., Jonsson, A., Hafsteinsson, H., Heinz, V., (2010). Effect of high-pressure processing on *Listeria* spp. and on the textural and microstructural properties of cold smoked salmon. *LWT - Food Science and Technology* 43(2), 366-374.
- Hajmeer, M., Basheer, I., (2002). A probabilistic neural network approach for modeling and classification of bacterial growth/no-growth data. *Journal of Microbiological Methods* 51(2), 217-226.
- Hite, B.H., (1899). The effects of pressure in the preservation of milk. *West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletins* 58, 15-35.
- Hokmollahi, F., Ehsani, M., (2017). High pressure processing and its application in cheese manufacturing: a review. *Journal of Food Biosciences and Technology* 7, 57-66.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., (2013). *An Introduction to statistical learning with applications in R*. Springer-Verlag New York.
- Khan, M.A., Ali, S., Abid, M., Ahmad, H., Zhang, L., Tume, R.K., Zhou, G., (2014). Enhanced texture, yield and safety of a ready-to-eat salted duck meat product using a high pressure-heat process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 21, 50-57.
- Koehrsen, W., (2018). Bayesian linear regression in python: using machine learning to predict student grades part 2. Medium.
- Korner-Nievergelt, F., Roth, T., Von Felten, S., Guélat, J., Almasi, B., Korner-Nievergelt, P., (2015). *Bayesian data analysis in ecology using linear models with R, BUGS, and Stan*. Academic Press.
- Koseki, S., Matsubara, M., Yamamoto, K., (2009). Prediction of a required log reduction with probability for *Enterobacter sakazakii* during high-pressure processing, using a survival/death interface model. *Applied and Environmental Microbiology* 75(7), 1885.
- Koseki, S., Yamamoto, K., (2007). Modelling the bacterial survival/death interface induced by high pressure processing. *International Journal of Food Microbiology* 116(1), 136-143.
- Lu, S., (2019). Do you know credible interval? Medium.
- McElreath, R., (2016). *Statistical rethinking. A bayesian course with examples in R and stan*. CRC Press, Boca Raton.
- O'Brien, S.M., Dunson, D.B., (2004). Bayesian Multivariate Logistic Regression. *Biometrics* 60(3), 739-746.
- Pacifico, A., (2021). Robust open Bayesian analysis: Overfitting, model uncertainty, and endogeneity issues in multiple regression models. *Econometric Reviews* 40(2), 148-176.
- PyMC3, (2018). GLM: Linear regression. The PyMC Development Team.
- Rahman, H.A., Wah, Y.B., Huat, O.S., (2020). Predictive performance of logistic regression for imbalanced data with categorical covariate. *pertanika journal of science and technology* 28.
- Ratkowsky, D.A., (2004). Model fitting and uncertainty, in: McKellar, R.C., Lu, X. (Ed.), *Modeling microbial responses in food*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Salvatier, J., Wiecki, T.V., Fonnesbeck, C., (2016). Probabilistic programming in Python using PyMC3. *PeerJ Computer Science* 2, e55.
- Serment-Moreno, V., Barbosa-Cánovas, G., Torres, J.A., Welti-Chanes, J., (2014). High-pressure processing: kinetic models for microbial and enzyme inactivation. *Food Engineering Reviews* 6(3), 56-88.
- Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D., Alexe, P., (2013). Non-thermal novel food processing technologies. An overview. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 19(2), 212-217.
- Szumilas, M., (2010). Explaining odds ratios. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 19(3), 227-229.
- UCLA, (2016). How do i interpret odds ratios in logistic regression? UCLA: Statistical Consulting Group.
- van Boekel, M.A.J.S., (2020). On the pros and cons of Bayesian kinetic modeling in food science. *Trends in Food Science & Technology* 99, 181-193.
- Vehtari, A., Gelman, A., Gabry, J., (2017). Practical Bayesian model evaluation using leave-one-out cross-validation and WAIC. *Statistics and Computing* 27(5), 1413-1432.
- Wang, J., Koseki, S., Chung, M.-J., Oh, D.-H., (2017). A novel approach to predict the growth of *Staphylococcus aureus* on rice cake. *Frontiers in Microbiology* 8(1140).
- Xu, S., (2020a). Frequentist vs. Bayesian approaches in machine learning: A comparison of linear regression and bayesian linear regression. Medium.
- Xu, S., (2020b). Generative vs. Discriminative probabilistic graphical models. A comparison of naive bayes and logistic regression. Medium.
- Yamamoto, K., (2017). Food processing by high hydrostatic pressure. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 81(4), 672-679.
- Zhang, Z.-H., Wang, L.-H., Zeng, X.-A., Han, Z., Brennan, C.S., (2019). Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science & Technology* 54(1), 1-13.



SUYA DOYGUN KİLLİ ZEMİNDE TASARLANAN KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMLERİNİN DEFORMASYONA DAYALI OPTİMİZASYONU: KIBRIS ADASI ÖRNEĞİ

Ömür ÇİMEN*, Uğur OSMANOĞLU

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

Anahtar Kelimeler Öz

*Suya Doymun Killi,
Kazıklı Radye Temel,
Deformasyon,
Optimizasyon.*

Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın İskele ilçesindeki Long Beach bölgesinde yer alan suya doymun killi zeminde taşıma gücü probleminden dolayı tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada, temele aktarılan yüklerin tespit edilmesi amacıyla, taşıyıcı sistemi perde+çerçeve olan 60,5 m yüksekliğinde 19 katlı betonarme bina modeli yapılmıştır. Temel tipi ilk olarak radye temel seçilmiştir. Radye temelin üstyapıdan gelen yükü güvenli bir şekilde taşımadığı hesapla gösterilmiş ve ardından kazıklı radye temel tasarımlarına geçilmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerinde, değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılarak, 20 farklı kazıklı radye temel modeli yapılmıştır. Çalışma sonucunda, suya doymun killi zeminde kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu parametrelerinin oturma ve yanıl deformasyon değerlerini nasıl etkilediği saptanarak deformasyona dayalı optimum model seçilmiştir. Optimum model seçilirken, tasarım maliyetleri de göz önünde bulundurulmuştur.

DEFORMATION BASED OPTIMIZATION OF PILED RAFT FOUNDATION SYSTEMS DESIGNED ON SATURATED CLAY SOIL: THE EXAMPLE OF CYPRUS ISLAND

Keywords

*Saturated Clay,
Piled Raft Foundation,
Deformation,
Optimization.*

Abstract

In this study, optimization based on deformation of piled raft foundation systems designed due to bearing capacity problem in saturated clayey soil in Long Beach region of Iskele district of Cyprus Island has been made. In the study, in order to determine loads transferred to the foundation, a 60,5 m high, 19 storey reinforced concrete building model, whose carrier system is shear wall+frame was made. The foundation type was selected as raft foundation firstly. It has been shown by calculation that the raft foundation does not safely carry the load from the superstructure, and then piled raft foundation designs were adopted. In the pile raft foundation designs, 20 different piled raft foundation models were made by using number of the piles, diameter of the piles and length of the piles as variable parameters. As a result of the study, optimum model based on deformation was selected by determining how number of the piles, diameter of the piles and length of the piles affect the values of settlement and lateral deformation in saturated clayey soil. While selection of optimum model, design costs were also taken into consideration.

Alıntı / Cite

Çimen, Ö., Osmanoğlu, U., (2021). Suya Doymun Killi Zeminde Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Deformasyona Dayalı Optimizasyonu: Kıbrıs Adası Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 641-654.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ö. Çimen, 0000-0002-6138-6029
U. Osmanoğlu, 0000-0002-9434-8504

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.04.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.04.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.05.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: omurcimen@sdu.edu.tr, +90-246-211-1202

1. Giriş (Introduction)

Tüm mühendislik yapıları, temel adı verilen bir tür arayüz elemanı tarafından taşınmalıdır. Temel terimi, bir yapıyı zemine bağlayan yapısal bir elemanı tanımlar (Coduto, 2001). Temellerin işlevi, üstyapı yükünü güvenli ve ekonomik bir şekilde zemine iletmek, yapının güvenilirliğini ve hizmet verebilirliğini sağlamaktır (Sinha ve Hanna, 2017).

Kazıklı radye temel sistemi son zamanlarda birçok yapı, özellikle yüksek binalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazıklı radye temel sisteminde, kazıklar deformasyonların azaltılmasında önemli bir rol oynar ve böylece yapının güvenliğinden ödün vermeden ekonomik bir tasarıma yol açabilir (Nguyen vd., 2013).

Kazıkların betonarme tipler önde olmak üzere üstyapıya güçlü bir şekilde bağlanabilmeleri, böylece taşıyıcı sistemin ayrılmaz bir parçası olarak işlev görmeleri ilginç ve olumlu yanlarıdır. Ancak, kazığın belki de en önemli özelliği, uzunluğu ne olursa olsun sağlam tabakaya oturma gibi bir koşula bağlı olmaması, yani ortamda yüzelebilmeleri nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmaları olarak gösterilebilir. Genel kural olarak kazıklar, aldıkları eksenel yüklerle binada taşıma gücünün artırılması ve binanın olası toplam ve farklı oturumlarını önleme amacı ile kullanılır (Önalp ve Sert, 2016).

Kazıklı radye temeller, hem radye hem de kazık bileşenlerinin taşıma kapasitesi dikkate alındığında, ağır yapısal yüklerle başa çıkabilen en ekonomik temel sistemleri olarak kabul edilmiştir (Akbari vd., 2021). Stratejik olarak yerleştirilmiş sınırlı sayıda kazık kullanılması, hem nihai yük kapasitesini hem de kazıklı radye temel sisteminin deformasyon performansını iyileştirebilir (Poulos, 2001). Uygulamada, kazıklı radye temellerin tasarımı, kazıkların tüm üstyapı yükünü taşıyacağı kabulü ve başlığın, üstyapıdan gelen yükü kazıkların üzerlerine dağıtmak için rijit bir platform olduğu fikrine dayanmaktadır (Sinha ve Hanna, 2017). Kazık gruplarının tasarımı genellikle, aralarında eşit aks mesafeleri olan aynı çap ve uzunluğa sahip kazıkları içerir. Tasarımın bu şekilde yapılmasının sebebi, imalatı kolaylaştırmak ve imalat sırasında oluşabilecek hataları minimuma indirmektir (Leung vd., 2010). Kazık tasarımındaki geleneksel uygulama, radye zemine gömülü olsa bile, radye ile kazık arasındaki yük paylaşımını göz ardı eden kapasite temelli tasarım yaklaşımıdır (Varghese vd., 2019).

Köprüler, yüksek binalar, santral istasyonları, açık deniz platformları ve müzeler gibi yüksek önem taşıyan yapıları desteklemek için kazıklı temellerin önemi göz önüne alındığında, performans ve ekonomi açısından en iyi kazıklı temel tasarımını bulmak bir zorunluluk haline gelmektedir. Gerekli kazık sayısı yüzleri hatta binleri aşabilirken kazıklı temel maliyeti üstyapının inşaat maliyetinin % 20'sini aşabilir (Letsios vd., 2014).

Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın İskele ilçesinde yer alan suya doymuş killi zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon amacıyla kazıklı radye temel sistemlerinde değişken olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılarak 20 farklı tasarım yapılmıştır. Her bir değişkenin deformasyonu nasıl etkilediğinin araştırılması amacıyla ilk önce kazık sayısı sabit tutulup kazık çapı ve kazık uzunluğu değiştirilmiş, daha sonra kazık çapı sabit tutulup kazık sayısı ve kazık uzunluğu değiştirilmiş, son olarak kazık uzunluğu sabit tutulup kazık sayısı ve kazık çapı değiştirilmiştir. Burada kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapı parametrelerinin sabit tutulması için referans değerlere ihtiyaç vardır. Çalışma kapsamında referans kazık sayısı 105, referans kazık uzunluğu 37 m, referans kazık çapı ise 120 cm olarak seçilmiştir. Çalışmada kazık gruplarının sadece bir eksenindeki kazık sayıları değiştirildiği için 2 boyutlu analiz programı kullanılmıştır. Yapılan 20 farklı tasarım Plaxis 2D isimli sonlu elemanlar analiz programında modellenmiş, analiz edilmiş ve temel sistemlerinde oluşan oturma ve yanal deformasyon değerlerine bakılmıştır. Tasarım ve analizlerden sonra her bir modelin maliyet değerleri hesaplanmıştır. Yapılan tasarımlar, modellemeler, analizler ve maliyet hesapları neticesinde suya doymuş killi zeminde deformasyona dayalı optimum kazıklı radye temel tasarımı saptanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımına olan yüksek talep nedeniyle, araştırmacılar bu sistemin statik ve dinamik yüklemeye altındaki davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir (Baziar vd., 2018). Alver ve Özden (2015) yapmış oldukları çalışmada kazıklı radye temelin eksenel yük altındaki oturmasını üç boyutlu sonlu elemanlar metodu, Randolph metodu ve eşdeğer radye metodu kullanarak hesaplamışlardır. Çalışmalarında oturmanın kazık uzunluğu ve kazık sayısı parametrelerine göre değişimini göstermişlerdir. Çalışmada kazık uzunluğu ve kazık sayısını değişken parametreler olarak kullanmışlar ve bu değişken parametrelere göre oturumların değişimini göstermişlerdir. Yapılan hesap ve analizlere göre kazık sayısı artarken, oturma değeri belirli bir kazık sayısından sonra azalmamıştır. Oturmanın azalmadığı kazık sayısı ilk durum için ideal çözüm kabul edilmiştir. İkinci durumda ise kazık miktarı sabit tutulmuş kazık uzunluğu ve kazık sayısı değiştirilmiştir. İkinci durumda, kazık uzunluğu arttıkça kazıklı radye temel oturması iyileşmiştir.

Yeğit ve Zorluer (2019) yapmış oldukları çalışmada farklı kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapına sahip kazık gruplarının, aynı üstü yapı yükü ve aynı zemin profili içindeki performansını ampirik formüllerle hesaplayarak, SAP2000 yapı analiz programını ve Plaxis'in 3 boyutlu modelleme ve analiz yapan programını kullanarak incelemişleridir. Çalışmalarında, kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü, kazık çapının artırılmasının (büyük kazık çapları seçilmesinin) yine verimi düşürdüğü, kazık gruplarının yapmış olduğu oturmalarda kazık tabanının temas ettiği zeminin oturmayı etkilediği sonuçlarına ulaşmışlardır.

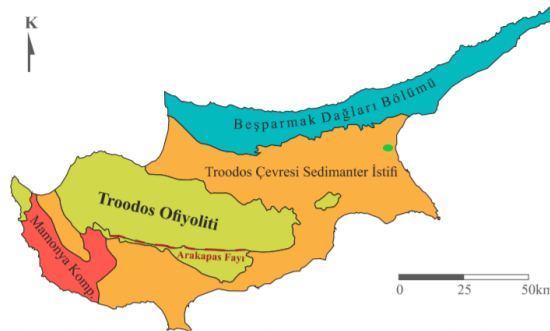
Bozkurt ve Demiröz (2020) yapmış oldukları çalışmada kazık sayısı, uzunluğu ve çapının kazıklı radye temel sistemlerinde oluşan oturma (düşey deformasyon) üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, geliştirilmiş olan örnek bir nümerik model dikkate alınarak, Randolph yöntemine dayanan hesap kodu yazılmış, kazıklı radye temel parametrelerinin (kazık sayısı, uzunluğu ve çapı) değişimine bağlı olarak en büyük oturma ve diferansiyel oturma değerleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, ideal çözümün kazık uzunluğunun (boyunun) ve çapının arttırılmasına bağlı olduğu gösterilmiştir.

Kardoğan ve Işık (2020) yapmış oldukları çalışmada sıvılaştıran zemindeki yanal yüklü kazık davranışının analiz sonuçları ile literatürden alınan santrifüj deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sayısal analizler FLAC 2D sonlu farklar programı kullanılarak yapılmış elde edilen sonuçlar santrifüj deney sonuçları ile kontrol edilmiştir. Sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanının Tanıtılması (The Introducing of Study Area)

Kıbrıs Adası'nın karmaşık jeolojisi ile ilgili çalışmalar 1900'lü yılların başlarında başlamış olup çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kıbrıs Adası'nın jeolojisi, dört ana zonda ele alınır. Bunlar, Trodos Ofiyoliti, Mamonia Bölgesi, Beşparmaklar Bölgesi, Trodos Çevresi Sedimanter İstifi veya Pliyo-Kuvaterner istifidir (Enar, 2018). Kıbrıs Adası'nın başlıca tektonik bölümleri Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma alanı, Şekil 1'de Trodos Çevresi Sedimanter İstifi üzerinde yer alan yeşil nokta ile gösterilen bölgedir.



Şekil 1. Kıbrıs Adası'nın Tektonik Bölümleri (Yurtseven, 2018) (Tectonic Zones of The Island of Cyprus)

Killi zemin alanının lokasyonu, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin İskele ilçesi sınırları içerisinde bulunan Long Beach bölgesidir. Gazimağusa - Karpaz karayolunun batısında yer alan killi zemin alanının denize olan mesafesi yaklaşık 600 m'dir. Trodos ve Girne Dağları'ndan aşınarak taşınan malzemenin çökmesiyle oluşan Mesarya Ovası'nda yer alan killi zemin alanı düz bir topografyaya sahip olup saha kotları +2.0 m ila +4.0 m arasında değişmektedir. Kuzey ve Doğu cepheleri boş parseller ile çevrelenmiş olan killi zemin alanının Batı ve Güney cepheleri Akdeniz'e dökülen aktif dere yatağı tarafından sınırlanmaktadır. Killi zemin alanında 9 adet zemin araştırma sondajı yapılmıştır. Sondajlara dayanan elde edilen bulgulardan hareketle oluşturulan zemin profili esas olarak tek bir birimden oluşmaktadır (Enar, 2018).

Zemin araştırma sondajlarında her 1.5 m'de bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış ve penetrasyon dirençleri kaydedilmiştir. Sondajlara ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Killi zemin alanında yapılan zemin araştırma sondajlarında yer altı suyu ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde sondaj kuyularında 2.0 m - 4.0 m derinlikte su ile karşılaşmıştır. Sondajlarda karşılaşılan yer altı suyu seviyesi deniz tarafından kontrol edilmektedir. Diğer bir deyişle, killi zemin alanında yer altı suyu seviyesi deniz suyu seviyesi (± 0.00 m) olarak kabul edilmiştir (Enar, 2018).

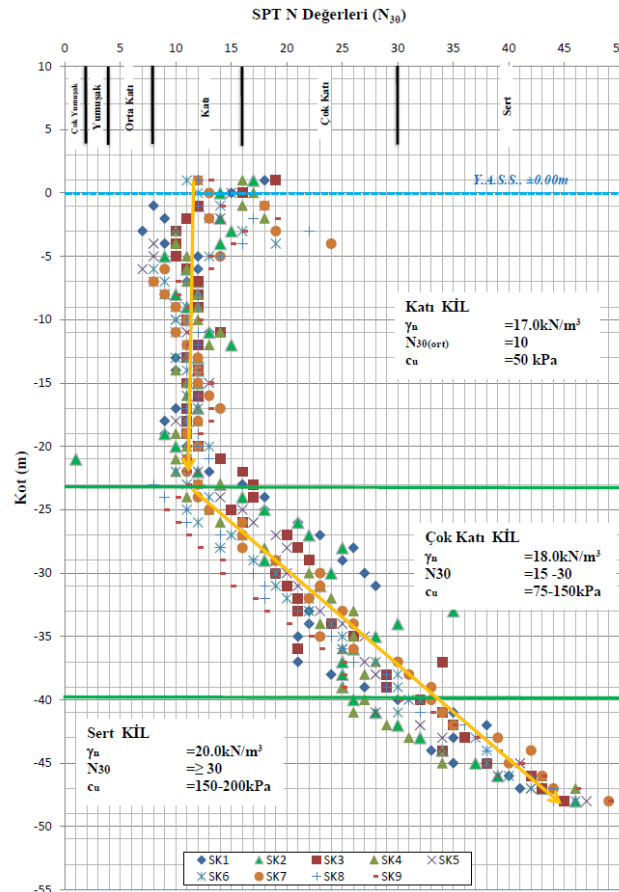
Tablo 1. Sondajlara Ait Bilgiler (Enar, 2018) (Informations About Soundings)

Sondaj No	Derinlik (m)	Ağız Kotu (m)	Taban Kotu (m)	Yer Altı Suyu Kotu (m)
SK1	50.00	2.00	-48.00	±0.00
SK2	50.00	2.00	-48.00	
SK3	50.00	2.00	-48.00	
SK4	50.00	2.00	-48.00	
SK5	50.00	2.00	-48.00	
SK6	50.00	2.00	-48.00	
SK7	50.00	2.00	-48.00	
SK8	50.00	2.00	-48.00	
SK9	50.00	2.00	-48.00	

Zemin araştırma sondajlarında saha yüzeyinden itibaren karşılaşılan siltli kil birim içerisinde yapılan SPT deneylerinde -24.0 m kotuna kadar kaydedilen SPT-N darbe sayıları $N_{30}=8-12$ arası değişmekte olup, bu veriler doğrultusunda siltli kil birimin "katı" kıvama sahip olduğu değerlendirilmiştir (Sivrikaya ve Toğrol, 2019).

Aynı birim daha alt seviyelerinde (-24.0 m ila -40.0 m arası) yapılan SPT deneylerinde elde edilen darbe sayıları ise $N_{30}=15-30$ arasında değişmektedir. Bu darbe sayıları uyarınca siltli kil birimin bu seviyelerinin "çok katı" kıvama sahip olduğu saptanmıştır (Sivrikaya ve Toğrol, 2019). Çok katı kıvama sahip siltli kil birimin altında ise, -40.0 m kotundan itibaren, sert kıvama sahip, sarımsı-açık kahve renkli kil birime girilmiş ve sondajlar bu birim içerisinde sonlandırılmıştır. Bu birim içerisinde elde edilen standart penetrasyon deneyi (SPT) darbe sayıları $N_{30} \geq 30$ mertebesinde (Enar, 2018).

Sondajlarda karşılaşılan kil tabakaları içerisinde yapılan SPT deneylerinde kaydedilen N_{30} değerlerinin derinliğe bağlı dağılımını gösteren grafik, Şekil 2'de verilmiştir.

**Şekil 2.** SPT-Derimlik Dağılım Grafiği (Enar, 2018) (SPT-Depth Distribution Graph)

3.1.1. Zemin Tabakalarının Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Soil Layers)

Killi zemin profilini oluşturan kil tabakalarından alınmış olan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde, serbest basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Zemin numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç mukavemeti deneylerinden elde edilen, serbest basınç mukavemeti (q_u) ve kohezyon (c_u) değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Serbest Basınç Deney Sonuçları (Enar, 2018) (Unconfined Pressure Test Results)

Sondaj No	Derinlik (m)	Serbest Basınç Deneyi		Sondaj No	Derinlik (m)	Serbest Basınç Deneyi	
		q_u (kPa)	c_u (kPa)			q_u (kPa)	c_u (kPa)
SK1	2,70	145,30	72,65	SK5	33,50	192,50	96,25
SK1	4,50	93,43	46,72	SK5	36,50	239,62	119,81
SK1	43,50	463,54	231,77	SK5	39,50	278,73	139,37
SK1	45,50	233,33	116,67	SK5	42,50	377,24	188,62
SK1	46,50	301,94	150,97	SK5	44,50	416,50	208,25
SK1	48,50	455,64	227,82	SK5	46,50	434,57	217,29
SK1	49,25	511,01	255,51	SK5	49,25	494,73	247,37
SK2	37,50	269,68	134,84	SK6	35,50	259,45	129,73
SK2	41,50	330,88	165,44	SK6	38,50	323,19	161,60
SK2	43,50	398,88	199,44	SK6	41,50	339,38	169,69
SK2	45,50	430,64	215,32	SK6	44,50	402,74	201,37
SK2	47,50	491,37	245,69	SK6	47,50	460,95	230,48
SK2	49,50	499,80	249,90	SK6	49,50	495,22	247,61
SK3	32,50	136,20	68,10	SK7	37,50	165,64	82,82
SK3	37,50	251,66	125,83	SK7	40,50	302,59	151,30
SK3	40,50	312,42	156,21	SK7	43,50	389,53	194,77
SK3	42,50	392,85	196,43	SK7	46,50	424,07	212,04
SK3	44,50	399,83	199,92	SK7	49,50	459,24	229,62
SK3	47,50	446,41	223,21	SK8	45,50	340,17	170,09
SK4	30,50	306,94	153,47	SK8	47,50	359,83	179,92
SK4	32,50	263,37	131,69	SK8	48,50	418,95	209,48
SK4	35,50	272,76	136,38	SK8	49,50	488,07	244,04
SK4	38,50	302,43	151,22	SK9	45,50	365,81	182,91
SK4	40,50	333,70	166,85	SK9	46,50	399,20	199,60
SK4	42,50	400,56	200,28	SK9	48,50	444,42	222,21
SK4	45,50	402,46	201,23	SK9	49,50	504,76	252,38
SK4	48,50	481,86	240,93				

Tablo 2’den görüldüğü üzere killi zemin alanı zemin profilinde yer alan sarımsı-açık kahve renkli kil birimin -35.0 m ila -40.0 m kotları arasında yer alan çok katı kıvamlı seviyeleri için kohezyon değeri $c_u = 110-150$ kPa, -40.0 m kotundan sonra karşılaşılan sert kıvamlı seviyeleri için kohezyon değeri ise $c_u = >180$ kPa’dır (Enar, 2018).

3.1.2. Zemin Tabakalarının Mühendislik Özellikleri (Engineering Properties of Soil Layers)

Killi zemin alanının zemin profili içerisinde yer alan tabakalar için seçilmiş olan mühendislik parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Zemin Profilindeki Tabakaların Mühendislik Özellikleri (Enar, 2018) (Engineering Properties of The Layers in The Soil Profile)

Tabaka	Katı Kil	Çok Katı Kil	Sert Kil
Kot (m)	±0.00-(-20.00)	-20.0-(-40.0)	-40.0-devamı
Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ_n) (KN/m ³)	18	19	20
Ortalama SPT Darbe Sayısı (N_{60})	5-12	15-30	35-50
Elastisite Modülü (E_s) (kPa)	6000	15000	24000
İçsel Sürtünme Açısı	-	-	-
Drenajsız Kohezyon (c_u) (kPa)	50	100-140	180-200

3.2. Kullanılan Programların Tanıtılması (The Introducing of Programs Used)

3.2.1. Plaxis 2D (Plaxis 2D)

Plaxis programı ilk olarak 1986 yılında, Hollanda da bulunan Delft Teknik Üniversitesi ve Hollanda Ulaştırma Bakanlığının ortak çalışması ile geliştirilmiştir. Program, sonlu elemanlar yöntemini geoteknik problemlerinde kullanmak amacı ile geliştirilmiştir. Plaxis tüm sistemi “mesh” adı verilen elemanlara böler. Her eleman tercihe göre 6 veya 15 düğüm noktasından oluşturulur. Zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışını tespit edebilmek için sonlu elemanlar analizi içerisinde sayısal malzeme modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin amacı zemin davranışlarını, zemin-yapı etkileşimini gösterebilecek benzer ortam sunmaktır. Modeller, gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için elastisite ve plastisite teorilerine dayanan matematiksel tanımlar içerir. (Kabakçı, 2017).

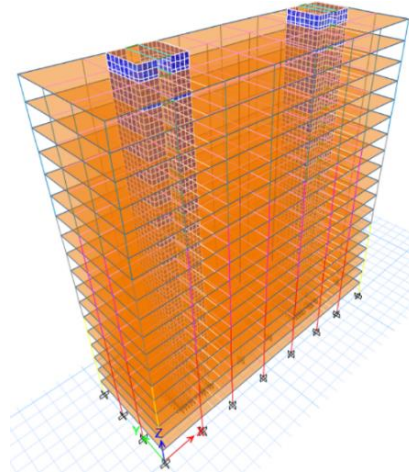
3.2.2. Etabs (Etabs)

Etabs programı 1975 yılında kurulan ve yazılımları 2008 yılından itibaren ISO 9001 kalite sertifikasına sahip CSI firmasının bir yazılımı olup birçok üniversiteden kullandığı yöntemlerin ve sonuçların güvenilirliği bakımından onay almış olması nedeniyle referans yazılım olarak kullanılmaktadır. Bina türü yapıların 3 boyutlu statik analizi ve tasarımı için tasarlanmıştır. Etabs programında bütün yapı sistemleri için analiz ve dizayn imkanı bütün farklı analiz yöntemlerinin kullanımına da imkan verecek şekilde, çubuk elemanlarda matris deplasman, kabuk elemanlarda sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır. Çizim modülü diğer programlara nazaran daha sınırlı kullanılmaktadır (Özden, 2020).

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Üstyapı Modellemesi ve Temele Aktarılan Gerilmeler (Superstructure Modeling and Stresses Transferred to The Foundation)

Suya doymun killi zeminde tasarımı yapılacak temel tipinin doğru bir şekilde belirlenmesi için üstyapıdan temele aktarılabilecek aksenal yük değerine ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı Etabs V18 programında taşıyıcı sistemi perde+çerçeve olan 19 katlı 60,5 m yüksekliğinde betonarme bina modeli yapılmıştır. Betonarme binanın oturma alanı dikdörtgen şeklinde olup 18x54 m boyutlarındadır. Betonarme bina modelinde kullanılan hareketli yük ve kar yükü değerleri TS 498 (1987)'den, rüzgar yükü parametreleri ise TS EN 1991-1-4, (2007)'den alınmıştır. Betonarme bina modeli TS 500 (2000) standardına ve TBDY (2018) yönetmeliğine uygun olarak yapılmıştır. Modelin 3 boyutlu görseli Şekil 3'te verilmiştir. Betonarme bina modelinde en büyük yer ivmesi olarak 0,455g değeri kullanılmıştır.



Şekil 3. Üstyapı 3D Modeli (Superstructure 3D Model)

Betonarme binanın modellenmesi ve analizi sonucunda farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Kombinasyonlarda G zati yükü, Q ise hareketli yükü simgelemektedir. Tablo 4’den görüleceği üzere farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan en büyük eksenel yük değeri 430924 KN mertebesindedir.

Tablo 4. Farklı Yük Kombinasyonları İçin Temele Aktarılan Eksenel Yük Değerleri (Axial Load Values Transferred to The Foundation For Different Load Combinations)

Kombinasyon	Eksenel Yük (KN)
1,4G+1,6Q	374709
G+Q	262628
Depremlı Kombinasyonlar (En Büyük Değer)	430924
Rüzgarlı Kombinasyonlar (En Büyük Değer)	308423

Temel tasarımında dikkate alınan üstyapı yük değeri 430924 KN’dir. Temel tipi olarak ilk önce radye temel sistemi seçilmiştir. Üstyapının plan boyutları dikkate alınarak radye temelin plan boyutları 21x57 m ebatlarında derinliği ise 2 m olarak belirlenmiştir. Suya doymun killi zeminde radye temelin taşıma gücü hesabı Eşitlik (1)’e göre yapılmıştır (Orhan, 2020). Eşitlik (1)’de q_k radye temel taşıma gücünü, c zeminin drenajsız kohezyonunu, B radye temelin genişliğini, L radye temelin uzunluğunu, D_f ise radye temelin derinliğini simgelemektedir. Yapılan hesapta radye temel taşıma gücü güvenlik katsayısı 1.4 olarak alınmıştır. Radye temel taban basıncı Eşitlik (2)’ye göre hesaplanmıştır (Orhan, 2020). Eşitlik (2)’de q_t radye temel taban basıncını, P üstyapıdan temele aktarılan maksimum eksenel yükü, W_f radye temel ağırlığını, U_D ise temel derinliğindeki boşluk suyu basıncını simgelemektedir.

$$q_k = 5.14 \times c \times \left(1 + \frac{0.195 \times B}{L}\right) \times \left(1 + 0.4 \times \frac{D_f}{B}\right) \quad (1)$$

$$q_t = \left(\frac{P + W_f}{B \times L}\right) - U_D \quad (2)$$

Yapılan hesaplar neticesinde suya doymun killi zeminde radye temel taban basıncı 390 kPa mertebesinde iken, radye temel emniyetli taşıma gücü ($q_k/1.4$) 204 kPa mertebesinde bulunmuştur. Suya doymun killi zeminin, üstyapıdan gelen yükü yüzeysel temel vasıtasıyla emniyetli bir şekilde taşıyamadığı hesapla gösterilmiştir. Bu durumda, taşıma gücü probleminden dolayı radye temel tasarımı yetersiz görülmüş ve derin temel tasarımına gidilmiştir.

4.2. Kazıklı Radye Temel Tasarımları (Piled Raft Foundation Designs)

Bu çalışma kapsamında kazık parametlerinin (kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu) kazıklı radye temel sisteminde oluşan deformasyon (oturma ve yanal deformasyon) değerlerine etkilerinin incelenmesi amacıyla

kazıklar farklı sayı, çap ve uzunluklarda, üstyapıdan temele aktarılan maksimum eksenel yükü taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Kazıklı radye temel tasarımlarında bütün yükün kazıklar tarafından taşındığı kabulü yapılmıştır. Kazıklar kombine kazık olarak tasarlanmıştır. Kazık kapasite değerleri statik taşıma gücü formüllerinden faydalanılarak hesaplanmıştır (Das, 2010). Kazık uç direnci hesapları Eşitlik (3)'e göre, kazık sürtünme direnci hesapları ise Eşitlik (4)'e göre yapılmıştır. Eşitlik (3)'te Q_k kazık uç direncini, c_u kazık ucunun altındaki zeminin drenajsız kohezyonunu, A_p ise kazık ucundaki enkesit alanını simgelemektedir. Eşitlik (4)'de Q_s kazık sürtünme direncini, α yapışma-adezyon faktörünü, c_u drenajsız kohezyonu, p kazık kesitinin çevresini, ΔL ise zemin tabakasındaki kazık uzunluğunu simgelemektedir.

$$Q_k = 9.c_u.A_p \quad (3)$$

$$Q_s = \sum_{L=0}^{L=L_1} \alpha.c_u.p.\Delta L \quad (4)$$

Kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerlerinin deformasyonlara etkilerinin araştırılması için kazık tasarımlarında öncelikle kazık sayısı sabit tutulup kazık çapı ve uzunluğu değiştirilmiş, daha sonra kazık çapı sabit tutulup kazık sayısı ve uzunluğu değiştirilmiş, son olarak da kazık uzunluğu sabit tutulup kazık sayısı ve çapı değiştirilmiştir. Burada kazık sayısı, kazık uzunluğu ve kazık çapı parametrelerinin sabit tutulması için referans değerlere ihtiyaç vardır. Referans kazık parametre değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Referans Kazık Parametre Değerleri (Reference Pile Parameter Values)

Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)
15x7 (105)	37	120

Kazık sayısının sabit tutulup kazık çapı ve kazık uzunluğunun değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler Tablo 6'da, kazık çapının sabit tutulup kazık uzunluğu ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler Tablo 7'de, kazık uzunluğunun sabit tutulup kazık çapı ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait parametreler ise Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 6. Kazık Sayısının Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Uzunluğunun Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Parametreler (Parameters Belonging to Models Created by Keeping The Number of Piles Constant and Changing The Pile Diameter and Pile Length)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Kazık Grubunun Kapasitesi (KN)	Üstyapı+Radye Temel Ağırlığı (KN)
Model 1	15x7 (105)	29	150	493135	490774
Model 2	15x7 (105)	32	140	507664	
Model 3	15x7 (105)	33	135	501181	
Model 4	15x7 (105)	34	130	493833	
Model 5	15x7 (105)	35	125	491423	
Model 6	15x7 (105)	36	125	505222	
Model 7	15x7 (105)	37	120	495144	
Model 8	15x7 (105)	38,5	115	496273	
Model 9	15x7 (105)	39,5	110	501058	
Model 10	15x7 (105)	42,5	100	496049	

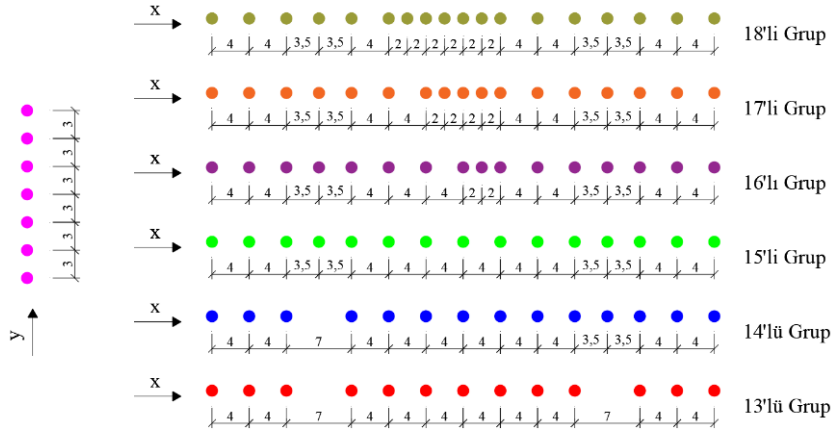
Tablo 7. Kazık Çapının Sabit Tutulup, Kazık Uzunluğu ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Parametreler (Parameters Belonging to Models Created by Keeping The Pile Diameter Constant and Changing The Pile Length and Number of Piles)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Kazık Grubunun Kapasitesi (KN)	Üstyapı+Radye Temel Ağırlığı (KN)
Model 11	18x7 (126)	31,5	120	493914	490774
Model 12	17x7 (119)	33,5	120	496502	
Model 13	16x7 (112)	35	120	494192	
Model 14	14x7 (98)	39	120	498907	
Model 15	13x7 (91)	40,5	120	495038	

Tablo 8. Kazık Uzunluğunun Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Parametreler (Parameters Belonging to Models Created by Keeping The Pile Length Constant and Changing The Pile Diameter and Number of Piles)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Kazık Grubunun Kapasitesi (KN)	Üstyapı+Radye Temel Ağırlığı (KN)
Model 16	18x7 (126)	37	105	510082	490774
Model 17	17x7 (119)	37	110	507922	
Model 18	16x7 (112)	37	115	502960	
Model 19	14x7 (98)	37	130	506948	
Model 20	13x7 (91)	37	135	491883	

Yapılan tasarımlarda gruptaki değişken kazık sayıları 18'li (18x7=126 adet), 17'li (17x7=119 adet), 16'lı (16x7=112 adet), 15'li (15x7=105 adet), 14'lü (14x7=98 adet) ve 13'lü (13x7=91 adet) olarak seçilmiştir. 18'li, 17'li, 16'lı, 15'li, 14'lü ve 13'lü kazık içeren gruptaki kazıkların eksen mesafeleri Şekil 4'de verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir. Tüm tasarımlarda kazıkların y eksenindeki eksen mesafeleri aynıdır.



Şekil 4. Farklı Tasarım Gruplarındaki Kazıkların Eksen Mesafeleri (Axis Distances of Piles in Different Design Groups)

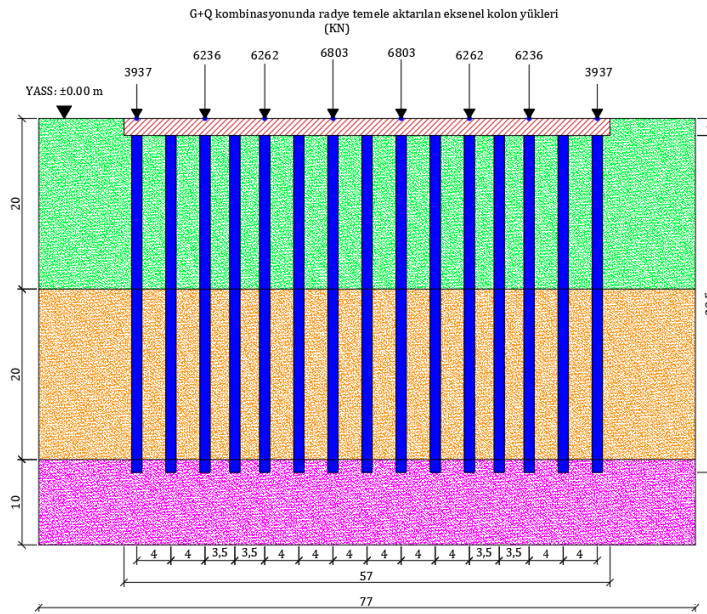
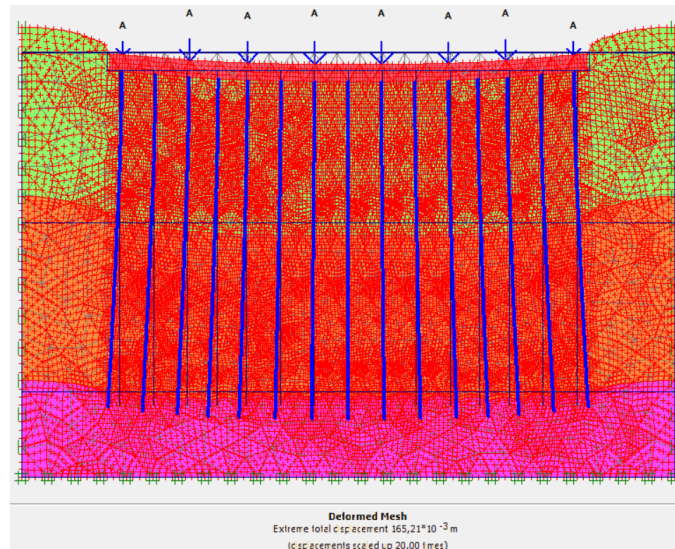
4.3. Kazıklı Radye Temel Modelleme ve Analizleri (Piled Raft Foundation Modeling and Analyzes)

Bu çalışma kapsamında suya doymun killi zemin ortamında tasarlanan 20 farklı kazıklı radye temel tasarımının modelleme ve analizleri Plaxis 2D isimli sonlu elemanlar analiz programında gerçekleştirilmiştir. Modelleme ve analizlerde kullanılan killi zemin tabakalarına ait mühendislik parametreleri Tablo 9'da verilmiştir. Poisson oranı değerleri literatürde yer alan bilgilerden alınmıştır (Orhan, 2020).

Tablo 9. Killi Zemin Tabakalarına Ait Mühendislik Parametreleri (Engineering Parameters of Clayey Soil Layers)

Parametre	Katı Kil tabakası ±0.00 m-(-20.00 m)	Çok Katı Kil Tabakası -20.00 m-(-40.00 m)	Sert Kil Tabakası -40.00 m-(-50.00 m)
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Birim Hacim Ağırlık γ_n (KN/m ³)	18	19	20
Elastisite Modülü (KN/m ²)	6000	15000	24000
Poisson Oranı (ν)	0,35	0,35	0,35
Kohezyon (kPa)	50	120	190
İçsel Sürtünme Açısı	-	-	-

Plaxis 2D modellerinde kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyon değerleri, çalışma yükünde (üstyapıdan G+Q kombinasyonunda temele aktarılan eksenel yük değerleri) hesap edilmiştir. Örnek model geometrisi Şekil 5'de, örnek modelin Plaxis programında analizi sonucu elde edilen deforme olmuş geometrisi ise Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5'de verilen uzunluk ölçüleri m cinsindedir.

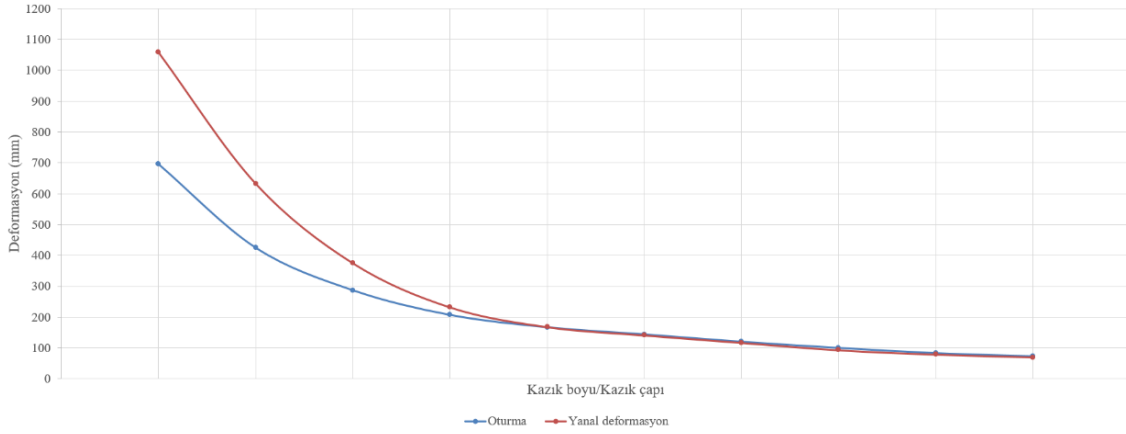
**Şekil 5.** Örnek Model Geometrisi (Sample Model Geometry)**Şekil 6.** Örnek Modelin Deforme Olmuş Geometrisi (Deformed Geometry of The Sample Model)

Kazık sayısının sabit tutulup kazık çapı ve kazık uzunluğunun değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait deformasyon değerleri (oturma ve yanal deformasyon) Tablo 10'da ve bu değişkenlere göre deformasyon

değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 7’de, kazık çapının sabit tutulup kazık uzunluğu ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait deformasyon değerleri Tablo 11’de ve bu değişkenlere göre deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 8’de, kazık uzunluğunun sabit tutulup kazık çapı ve kazık sayısının değiştirilmesiyle oluşturulan modellere ait deformasyon değerleri Tablo 12’de ve bu değişkenlere göre deformasyon değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 9’da verilmiştir. Yapılan modelleme ve analizler neticesinde en düşük oturma ve yanal deformasyon değerleri Model 10’da bulunmuştur.

Tablo 10. Kazık Sayısının Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Uzunluğunun Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerleri (Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Number of Piles Constant and Changing The Pile Diameter and Pile Length)

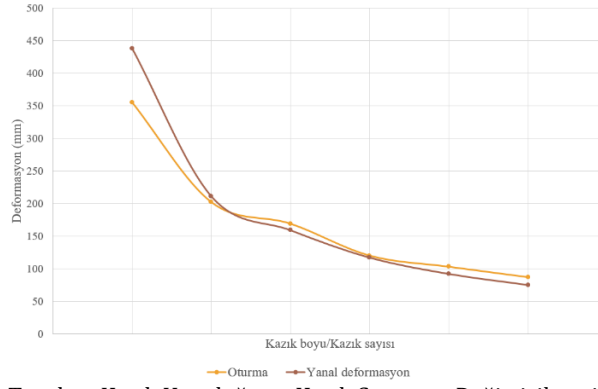
Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)
Model 1	15x7 (105)	29	150	696	1058
Model 2	15x7 (105)	32	140	425	633
Model 3	15x7 (105)	33	135	287	375
Model 4	15x7 (105)	34	130	207	232
Model 5	15x7 (105)	35	125	167	168
Model 6	15x7 (105)	36	125	144	141
Model 7	15x7 (105)	37	120	120	117
Model 8	15x7 (105)	38,5	115	100	93
Model 9	15x7 (105)	39,5	110	83	79
Model 10	15x7 (105)	42,5	100	73	70



Şekil 7. Kazık Sayısının Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Uzunluğunun Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerlerinin Değişimi (Change of Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Number of Piles Constant and Changing The Pile Diameter and Pile Length)

Tablo 11. Kazık Çapının Sabit Tutulup, Kazık Uzunluğu ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerleri (Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Diameter Constant and Changing The Pile Length and Number of Piles)

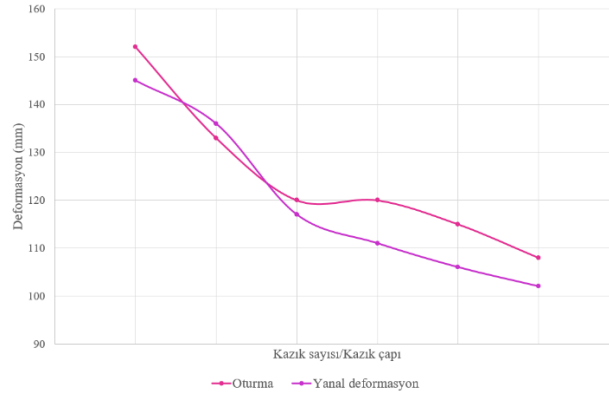
Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)
Model 11	18x7 (126)	31,5	120	355	438
Model 12	17x7 (119)	33,5	120	202	211
Model 13	16x7 (112)	35	120	169	159
Model 14	14x7 (98)	39	120	103	92
Model 15	13x7 (91)	40,5	120	87	75



Şekil 8. Kazık Çapının Sabit Tutulup, Kazık Uzunluğu ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerlerinin Değişimi (Change of Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Diameter Constant and Changing The Pile Length and Number of Piles)

Tablo 12. Kazık Uzunluğunun Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerleri (Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Length Constant and Changing The Pile Diameter and Number of Piles)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Oturma (mm)	Yanal Deformasyon (mm)
Model 16	18x7 (126)	37	105	108	102
Model 17	17x7 (119)	37	110	115	106
Model 18	16x7 (112)	37	115	120	111
Model 19	14x7 (98)	37	130	133	136
Model 20	13x7 (91)	37	135	152	145



Şekil 9. Kazık Uzunluğunun Sabit Tutulup, Kazık Çapı ve Kazık Sayısının Değiştirilmesiyle Oluşturulan Modellere Ait Deformasyon Değerlerinin Değişimi (Change of Deformation Values Belonging to Models Created by Keeping The Pile Length Constant and Changing The Pile Diameter and Number of Piles)

4.4. Kazık Maliyet Hesapları (Pile Cost Calculations)

Suya doymun killi zeminde tasarlanan fore kazıkların maliyet hesapları T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı 2020 inşaat birim fiyat tarifleri eki fiyat listesi esas alınarak yapılmıştır. Fore kazık işlerine ait birim fiyat listesi Tablo 13'te verilmiştir. Buradaki maliyet hesaplarında foraj ve beton bedeli dahil, demir bedeli hariçtir.

Tablo 13. Fore Kazık Birim Fiyat Listesi (Bored Pile Unit Price List)

Birim Fiyat (TL/m)	
Kazık Çapı (cm)	Kazık Uzunluğu 18-36 m Arası, 36 m Dahil
80	408,55
100	623,74
120	862,09
165	1460,16

Suya doymun killi zeminde çapları 100 ile 150 cm arasında değişen farklı çapta kazıklar tasarlanmıştır. Ayrıca uzunluğu 36 m'yi aşan kazıklar da mevcuttur.

Çalışma kapsamında tasarlanan kazıkların birim fiyat listesi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı 2020 inşaat birim fiyat tarifleri eki fore kazık işleri fiyat listesindeki değerlerin (Tablo 13) ortalamaları alınarak hazırlanmıştır. Kazıkların birim fiyat listesi Tablo 14’de, modellere ait maliyet ve toplam deformasyon (oturma+yanal deformasyon) değerleri ise Tablo 15’de verilmiştir. Yapılan maliyet hesapları neticesinde en düşük maliyet Model 10’da, en yüksek maliyet ise Model 19’da bulunmuştur.

Tablo 14. Çalışma Kapsamında Tasarlanan Kazıklara Ait Birim Fiyat Listesi (Unit Price List of Piles Designed Within Scope of The Study)

Birim Fiyat (TL/m)		
Kazık Çapı (cm)	Kazık Uzunluğu 18-36 m Arası, 36 m Dahil	Kazık Uzunluğu 36 m Sonrası
100	623,74	692,94
105	683,3275	759,94
110	742,915	826,94
115	802,5025	893,94
120	862,09	960,94
125	928,5422	1038,3756
130	994,9944	1115,8112
135	1061,4466	1193,2468
140	1127,8988	1270,6824
150	1260,8032	1425,5536

Tablo 15. Modellere Ait Maliyet ve Toplam Deformasyon Değerleri (Cost and Total Deformation Values of Models)

Model	Kazık Sayısı	Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Çapı (cm)	Birim Fiyat (TL/m)	Maliyet (TL)	Toplam Deformasyon (mm) (Oturma+Yanal Deformasyon)
Model 1	105	29	150	1260,8032	3839146	1754
Model 2	105	32	140	1127,8988	3789740	1058
Model 3	105	33	135	1061,4466	3677912	662
Model 4	105	34	130	994,9944	3552130	439
Model 5	105	35	125	928,5422	3412393	335
Model 6	105	36	125	928,5422	3509890	285
Model 7	105	37	120	960,94	3733252	237
Model 8	105	38,5	115	893,94	3613752	193
Model 9	105	39,5	110	826,94	3429734	162
Model 10	105	42,5	100	692,94	3092245	143
Model 11	126	31,5	120	862,09	3421635	793
Model 12	119	33,5	120	862,09	3436722	413
Model 13	112	35	120	862,09	3379393	328
Model 14	98	39	120	960,94	3672713	195
Model 15	91	40,5	120	960,94	3541544	162
Model 16	126	37	105	759,94	3542840	210
Model 17	119	37	110	826,94	3641017	221
Model 18	112	37	115	893,94	3704487	231
Model 19	98	37	130	1115,8112	4045931	269
Model 20	91	37	135	1193,2468	4017662	297

5. Sonuç (Result)

Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın İskele ilçesinde yer alan suya doygun killi zeminde taşıma gücü probleminden dolayı tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin deformasyona (oturma ve yanal deformasyon) dayalı optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada 20 farklı kazıklı radye temel modeli yapılmış ve bu modellerde değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda

maddeler halinde verilmiştir.

- Suya doymun killi zeminde, kazık sayısı sabit iken kazık uzunluğu artırılıp kazık çapı azaltıldıkça oturma ve yanal deformasyon değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Yanal deformasyon, oturmaya nazaran daha da belirgin bir şekilde azalmıştır.
- Suya doymun killi zeminde, kazık çapı sabit iken kazık uzunluğu artırılıp kazık sayısı azaltıldıkça oturma ve yanal deformasyon değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.
- Suya doymun killi zeminde, kazık uzunluğu sabit iken kazık sayısı artırılıp kazık çapı azaltıldıkça oturma ve yanal deformasyon değerlerinin doğrusala yakın bir biçimde azaldığı tespit edilmiştir.
- Suya doymun killi zeminde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde deformasyonları azaltmanın en iyi yolunun kazık uzunluğunu artırmak olduğu tespit edilmiştir.
- Suya doymun killi zeminde tasarlanan 20 farklı kazıklı radye temel modelinin maliyet ve toplam deformasyon değerleri hesaplanmış ve yapılan hesaplar neticesinde deformasyon tabanlı optimum tasarım "Model 10" seçilmiştir. "Model 10" için kazık sayısı 105, kazık çapı 100 cm, kazık uzunluğu ise 42,5 m'dir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Akbari, A., Eslami, A., Nikookar, M., 2021. Influence of Soil Stiffness on The Response of Piled Raft Foundations Under Earthquake Loading. *Transportation Infrastructure Geotechnology*.
- Alver, O., Özden, G., 2015. Tabakalı Zeminlerde Kazıklı Radye Temellerin Optimum Tasarımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17 (49), 13-26.
- Baziar, M.H., Rafiee, F., Lee, C.J., Azizkandi, A.S., 2018. Effect of Superstructure on The Dynamic Response of Nonconnected Piled Raft Foundation Using Centrifuge Modeling. *International Journal of Geomechanics*, 18 (10).
- Bozkurt, R., Demiröz, A., 2020. Kazıklı Radye Temel Boyutlarının Oturma Davranışı Dikkate Alınarak Optimum Tasarımı. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1 (2), 123-129.
- Coduto, D.P., 2001. *Foundation Design: Principles and Practices*. New Jersey: Prentice Hall.
- Das, B., 2010. *Principles of Foundation Engineering*. Stamford, United States of America: Cengage Learning.
- Enar Mühendislik Mimarlık ve Danışmanlık Ltd. Şti., 2018. "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti İskele İlçesi Konut Projesine Ait Sondaja Dayalı Temel ve Zemin Etüd Raporu" İskele, KKTC.
- Kabakçı, İ., 2017. Zemin Çivili Duvarların Tasarım İlkeleri ve Snap-2, Snailz, Plaxis, Slide Programları ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kardoğan, P.S.Ö., Işık, N.S., 2020. A Verification Analysis for Piles in Liquefiable Soil. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (3), 712-719.
- Letsios, C., Lagaros, N.D., Papadarakakis, M., 2014. Optimum Design Methodologies for Pile Foundations in London. *Case Studies in Structural Engineering*, 2, 24-32.
- Leung, Y.F., Klar, A., Soga, K., 2010. Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile Groups and Piled Rafts. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136, 319-320.
- Nguyen, D.D.C., Jo, S.B., Kim, D.S., 2013. Design Method of Piled-Raft Foundations Under Vertical Load Considering Interaction Effects. *Computers and Geotechnics*, 47, 16-27.
- Orhan, M., 2020. *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı I*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Önalp, A., Sert, S., 2016. *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özden, C., 2020. Statik Betonarme Projeleri Ulusal Yapı Analiz Programları ile Yapılan Dolgulu Dişli Döşemeli Binaların Etabs Analiz Programı ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Poulos, H.G., 2001. Piled Raft Foundations: Design and Applications. *Geotechnique*, 51 (2), 95-113.
- Sinha, A., Hanna, A.M., 2017. 3D Numerical Model for Piled Raft Foundation. *International Journal of Geomechanics*, 17 (2).
- Sivrikaya, O., Toğrol, E., 2019. *Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- TBDY, (2018), "Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, AFAD", Ankara, Türkiye.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, (2020), "İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri", Ankara, Türkiye.
- TS 498, (1987), "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TSE", Ankara, Türkiye.
- TS 500, (2000), "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE", Ankara, Türkiye.
- TS EN 1991-1-4, (2007), "Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Etkileri (Eurocode 1), TSE", Ankara, Türkiye.
- Varghese, R., Boominathan, A., Banerjee, S., 2019. Seismic Response Characteristics of a Piled Raft in Clay. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 13 (1), 1-28.
- Yeğit, M., Zorluoer, İ., 2019. Aynı Zemin Koşullarında Farklı Kazık Gruplarının Performansı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 410-418.
- Yurtseven, H.E., 2018. Lefke-Doğu (Lefke, KKTC) Kıbrıs Tipi Masif Sülfid Cevherleşmesinin Jeolojisi, Mineralojisi ve Kökeni. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



BALIKESİR CİVARINDA YÜZEYLEYEN İZMİR- ANKARA ZONU MESOZOYİK KİREÇTAŞLARININ MALZEME VE BETON AGREGASI ÖZELLİKLERİ

Hakan ELÇİ^{1*}, Şener CERYAN², Özge ÖZSU³, Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN⁴

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

^{2,4} Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Türkiye

³ Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Kireçtaşı, Agrega, Beton, Alkali Silika Reaksiyonu, İzmir-Ankara Zonu.</i>	Bu çalışmada; İzmir - Ankara Zonu'nun (İAZ), Balıkesir ve Manisa illeri arasında yüzeyleyen Orta Triyas - Kretase yaşlı kireçtaşlarının malzeme özellikleri, agrega özellikleri ve bu agregaların beton üretimine uygunluğu araştırılmıştır. Bölgedeki kireçtaşları düşük poroziteli orta derecede dayanımlı kireçtaşlarıdır ve bu kireçtaşlarından normal yoğunlukta agregalar elde edilebilir. Bu agregalar 0,58 su/çimento oranında karıştırıldığında hedeflenen beton sınıfı dayanımına erken yaşlarda ulaşılmıştır. Alkali silika reaksiyonu yönünden de reaktif olmayan bölgedeki İAZ'nin Orta Triyas - Kretase yaşlı kireçtaşları beton yapımında kullanıldığında (28 günlük), 40 MPa basınç dayanımına sahip (normal dayanımlı) betonlar elde etmek mümkündür.

MATERIAL AND CONCRETE AGGREGATE PROPERTIES OF MESOZOIC LIMESTONES OF İZMİR-ANKARA ZONE OUTCROPPING AROUND BALIKESİR PROVINCE

Keywords	Abstract
<i>Limestone, Aggregate, Concrete, Alkali Silica Reaction, İzmir-Ankara Zone.</i>	In this study; material and aggregate properties of Middle Triassic-Cretaceous limestones between Balıkesir and Manisa from İzmir-Ankara Suture Zone (IASZ), and their suitability for concrete production were investigated. The limestones in the region are low porosity, moderately strength limestones and normal density aggregates can be obtained from those. When these aggregates are mixed at the ratio of 0.58 water / cement, the target concrete class strength has been reached at an early age. When the Middle Triassic - Cretaceous limestones of İAZ in the non-reactive region in terms of alkali silica reaction are used in concrete production, it is possible to obtain concrete with a compressive strength of 40 MPa (normal strength).

Alıntı / Cite

Elçi, H., Ceryan, Ş., Özsu, Ö., Büyükkahraman, G., (2021). Balıkesir Civarında Yüzeyleyen İzmir- Ankara Zonu Mesozoyik Kireçtaşlarının Malzeme ve Beton Agregası Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 655-665.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
H. Elçi, 0000-0003-2945-2548	Başvuru Tarihi / Submission Date 25.02.2021
Ş. Ceryan, 0000-0002-1927-6985	Revizyon Tarihi / Revision Date 18.03.2021
Ö. Özsu, 0000-0003-3324-8531	Kabul Tarihi / Accepted Date 18.03.2021
G. Büyükkahraman, 0000-0003-2217-9825	Yayın Tarihi / Published Date 20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Bu çalışmada, 384 km uzunluğundaki İzmir- İstanbul Otoyolu'nun 224,300-317,284 km'leri arasında yer alan Balıkesir- Manisa yöresindeki 93 km'lik ana güzergâh ile 15 km'lik bağlantı yollarının yapımında kullanılan kireçtaşlarının malzeme özellikleri ve bu kireçtaşlarından üretilen agregaların beton agregası özellikleri incelenmiştir. Bölgede yer alan kireçtaşları içerisinde 3 adet kırma taş ocağı açılmıştır. Bu ocaklar, Balıkesir ili sınırları içerisinde yer alan Bakacak (B) ve Kızılören (K) ile Manisa ili sınırları içerisinde yer alan Zambak (Z) kırma

* İlgili yazar / Corresponding author: hakan.elci@deu.edu.tr, +90-232-853-1828-142

taş ocaklarıdır (Tablo 1, Şekil 1). Bu kırma taş ocaklarından toplam 6,4 milyon m³ dolgu malzemesi, asfalt ve beton agregası olarak, söz konusu bölgedeki 108 km'lik İzmir-İstanbul oto yolunun yapımında kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Balıkesir-Manisa Arasında Yer Alan Kırma Taş Ocakları ve Bu Ocaklardan Kullanılan Agregata Miktarları
(Quarries Located Between Balıkesir and Manisa and The Amount of Aggregate Used From These Quarries)

Kullanım Amacı ↓	Ocak adı →	Bakacak (B) Ocağı	Kızılören (K) Ocağı	Zambak (Z) Ocağı	Toplam
		Miktar (m ³)			
Dolgu		168506.117	286055.312	811655	1266217
Beton agregası		615520.205	317111.088	389078	1321709
Asfalt agregası		857839	1952263	971713	3781815
Toplam kullanılan agregata miktarı					6369741

Çalışmada, İAZ'nin, Balıkesir ve Manisa illeri arasında yüzeyleyen Orta Triyas - Kretase yaşlı kireçtaşlarının mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu kireçtaşlarının malzeme özellikleri ile bu kireçtaşlarından elde edilen agregaların fiziksel, mekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Son olarak bu kireçtaşlarından elde edilen agregalardan üretilen betonların taze, sertleşmiş beton özellikleri ve bu agregaların alkali agregata reaktifliği araştırılmıştır. Böylelikle bölgede yer alan İAZ'nin kireçtaşlarından üretilen agregaların kalitesi ve bu agregalardan üretilen betonların kalitesi ortaya konulmuştur.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bölgedeki kireçtaşları İAZ'ye ait kireçtaşlarıdır (Okay ve Tüysüz, 1999). Yapılan önceki çalışmalarda bölgenin batısında yer alan İzmir ilinin beton ve asfalt agregata kaynağının % 90'ının İAZ'ye ait kireçtaşlarından karşılandığı ve İAZ'ye ait kireçtaşlarının iyi bir beton agregası olma özelliğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Elçi vd., 2014).

Kireçtaşları sahip oldukları orta-yüksek dayanımları, yoğunlukları ve genelde düşük poroziteleri ile beton üretimi için iyi bir agregata kaynağıdır (West, 1996; McNally, 1998; Carlos vd., 2010; Elçi vd., 2014). Kireçtaşlarının beton agregası olarak tercih edilmesinin bir diğer nedeni de düşük termal genleşmeye sahip olmaları (French, 1991) ve çimento hamuru ile iyi bir kimyasal bağ yapabilme özelliğidir (Akman, 1984; Baradan, 2004). Bununla birlikte kireçtaşları kırıldıkları zaman yassı ve uzun parçalardan ziyade köşeli ve çoğunlukla küresel parçalar verme eğilimi gösterir (Bell, 2006). Saf kireçtaşları alkali silis reaksiyonu (ASR) yönünden risk oluşturmazlar (West, 1996; Zarif vd., 2003; Carlos vd., 2010; Elçi vd., 2014) Fakat bileşiminde kalsit ile birlikte karbonat olmayan mineralleri (asitçe çözülmeyen kalıntı) bulduran, kireçtaşları ile üretilen betonlarda, ASR olayı gerçekleşmekte ve bu da betonun dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır (Lorenzi vd., 2001; Qian vd., 2001; Qian vd., 2002; Katayama, 2004; RILEM, 2005; Alptuna, 2009; Hasdemir vd. 2012). Karbonat olmayan bu bileşenler, kireçtaşlarının bileşiminde yer alan ve saflıklarını bozan düzensiz yapıdaki silisli minerallerden ileri gelmektedir (Smith ve Collis, 2001; Lorenzi vd., 2001; Binal, 2004; Baradan, 2004; Elçi vd., 2014).

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

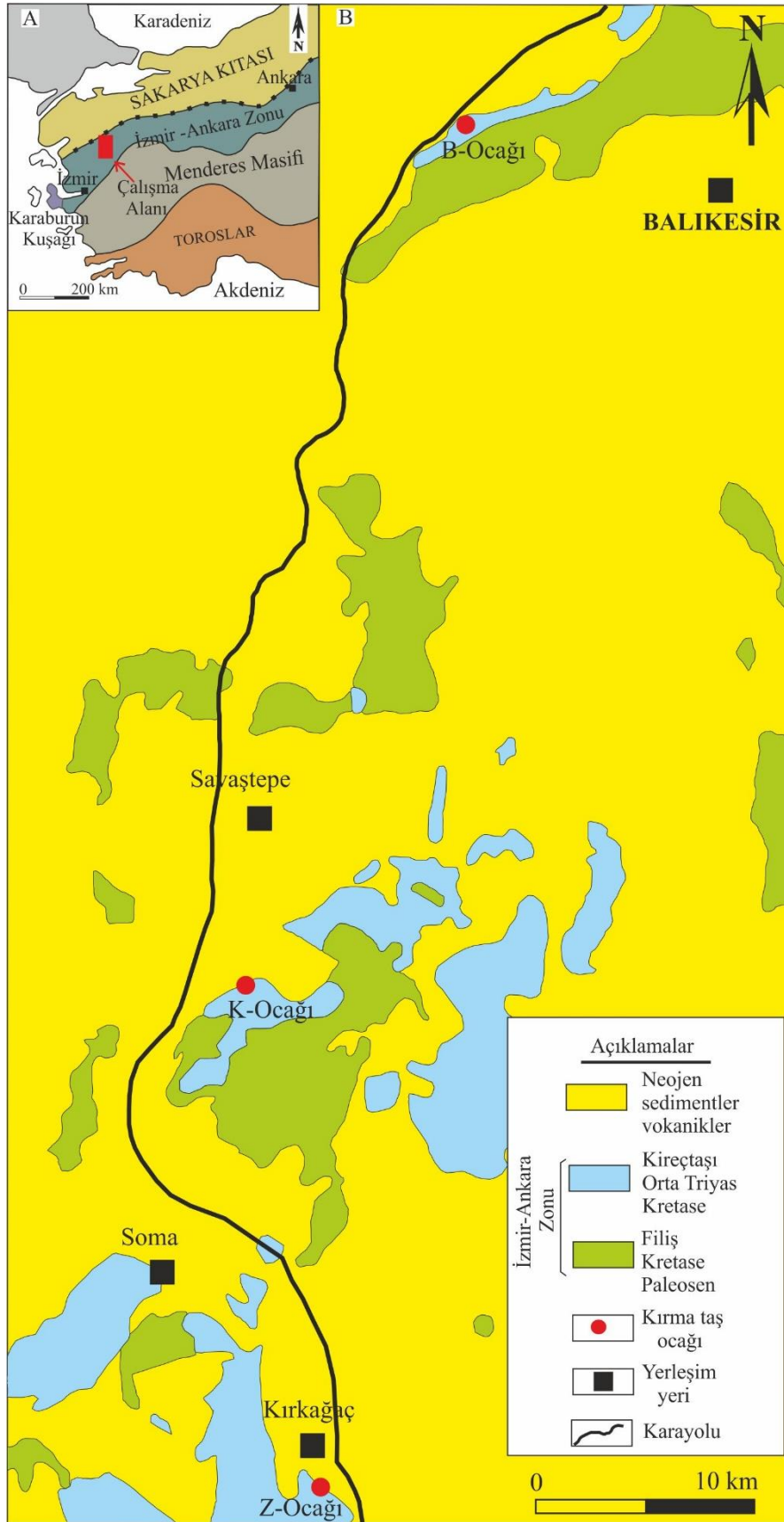
İlk kez Brinkmann (1966, 1972, 1976) tarafından tanımlanmış olan İAZ, fliş türü kayalardan, farklı özelliklerdeki kireçtaşlarından ve mafik, ultramafik kayalardan oluşmuştur. İAZ içerisinde Alt Triyas'tan Alt Kretase'ye kadar devamlı bir platform türü olarak bir karbonat istifli yer alır ve bu istifli kayalar Geç Kretase'de, fliş fasiyesindeki kayalara geçer (Erdoğan, 1990). Erdoğan (1990) İAZ'nin nap tektoniği ile Menderes masifi üzerine itilmesiyle içeriğinin ileri derecede karmaşık olduğunu, stratigrafi özelliklerinin tanınmayacak ölçüde bozulmuş olduğunu ve içeriğindeki neritik kireçtaşları kütlelerinin köksüz megabloklar şekliyle bulunması nedeniyle dokanaklarının silinmiş olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte İAZ'nin batısında yer alan Manisa-İzmir bölgesinin Karaburun Yarımadası karbonat istifli ile benzer olduğunu, litolojik ve paleontolojik karşılaştırmalar da bu blokların Karaburun istifine ait parçalar olduğunu göstermiştir.

İzmir-Balıkesir arasındaki bölgede, İAZ kayaları, kuzeyde Sakarya Zonu'na ait Karakaya Kompleksi, güneyde Anatolid-Torid Bloğu ve batıda ise Bornova Fliş Zonu ile çevrilidir (Şekil 1A). İzmir ile Balıkesir arasında, Balıkesir'in kuzeydoğusunda bulunan Kepsut bölgesi hariç, İAZ kayaları neredeyse tamamen Neojen yaşlı sedimanter ve volkanik kayalarla örtülüdür. Bornova Fliş Bölgesi, Triyas ve Kretase karbonatların yanı sıra mavişist bloklarla kuvvetli olarak kesilmiş türbitler ile temsil edilir (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 1B).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada kireçtaşlarının mineralojik ve petrografik, kimyasal ve malzeme özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada bu kireçtaşlarından üretilen agregaların, genel agregata

özellikleri, üçüncü aşamada ise bu agregalarla üretilen betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri ile birlikte alkali agrega reaktifliği incelenmiştir.



Şekil 1. A: Batı Anadolu'nun Tektonik Kuşakları (Erdoğan 1990). B: Çalışma Alanının ve Yakın Çevresinin Jeolojisi (Okay ve Tüysüz, 1999). (A: Tectonic Belts of Western Anatolia (Erdoğan 1990). B: Geology of The Study Area And Surroundings (Okay ve Tüysüz, 1999)).

Kireçtaşlarının mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek için kırma taş ocaklarının genelini temsil edecek şekilde örnekleme yapılmış ve her ocağa ait kireçtaşlarından beş adet ince kesit hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlere TS 10088 EN 932-3 A1 (TSE, 2006)'a göre Olympus CX31 marka polarizan mikroskopta çift nikol 10X büyütmede petrografik analiz yapılarak mineral içerikleri belirlenmiştir. Kireçtaşlarının kimyasal özellikleri ise Acme Laboratuvarında (Kanada) Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi (ICP-ES) metodu kullanılarak ana oksitleri (%) ve iz elementleri (ppm) belirlenmiştir.

Kireçtaşlarının malzeme özellikleri TS 699 (TSE, 2009a)'da önerilen yöntemlere göre karot örnekler üzerinde yoğunlukları, gözeneklikleri, su emme değerleri ile basınç dayanımları ve nokta yükü dayanım indeksleri belirlenmiştir.

Kireçtaşı agregalarının fiziksel, mekanik ve termal özellikleri TS 706 EN 12620 A1 (TSE, 2009b)'e göre belirlenmiştir. Ocaklardan TS 10088 EN 932-1 (TS, 1997a)'e göre numune alınmış ve alınan bu numuneler laboratuvar ortamında TS EN 932-2 (TS, 1997b)'e göre gerekli deney miktarı için azaltılmıştır. Bu agregalardan üretilen taze betonun çökme değerleri TS EN 12350-2 (TSE, 2019a)'e göre birim hacim ağırlığı da TS EN 12350-6 (TSE, 2019b)'e göre belirlenmiştir. Sertleşmiş betonun basınç dayanımı ise TS EN 12390-3 (TSE, 2019c)'e göre belirlenmiştir. Kireçtaşı agregalarının alkali silika reaksiyonu ise CAN/CSA-A23.2-25A-14, (CAN, 2014)'e göre belirlenmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Kireçtaşlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri (Mineralogical and Petrographic Properties of Limestone)

Yapılan mineralojik petrografik analiz ile bölgede yer alan B ocağına ait kireçtaşının bağlayıcısı sparittir. Kayaç, büyük oranda (% 97) kalsit mineralinden oluşmuştur. Dolomit oranı % 2'yi geçmez ve kuvars oranı ise %1'den azdır (Tablo 2). Kayacın genelinde farklı yönlerde ikincil kalsit damarları olağandır. Taneler büyük oranda intraklast olup, daha az oranda ise pellet ve fosil parçalarından oluşmuştur. Folk (1962) kireçtaşı sınıflamasına göre B ocağına ait kireçtaşları intrabiyosparit-intrapelbiyosparit olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

K ocağına ait kireçtaşlarında kalsitlerin ikiz düzlemleri oldukça bükülmüş ve kıvrılmıştır. Mörtel dokusuna benzer bir dokunun görülmesi, bu kayacın düşük derecede metamorfik etkilere maruz kalmış olduğunun göstergesidir (Şekil 2). Kayaçta kalsit minerali % 95, dolomit minerali ise %5 oranındadır. Kayaçta çok az oranda demiroksit içerikli damarlar izlenmiştir. K ocağına ait kireçtaşları, Folk (1962) sınıflamasına göre sparitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

Z Ocağına ait kireçtaşlarında ise kalsit kristalleri oldukça ince tanelidir. Bol miktarda fosil ve pellet içerir. Kalsit minerallerindeki ikiz düzlemlerinin varlığı, K ocağına ait kireçtaşları gibi düşük derecede metamorfizma etkisiyle bükülmüş ya da kıvrılmış olduklarına işaret eder. Kayacın tamamına yakını (%99) kalsit mineralinden oluşmakta olup, Folk (1962) sınıflamasına göre sparitik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Kireçtaşlarının Modal Analizi (Modal Analysis of Limestones)

Mineral (%)	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Sınıflama (Folk, 1962)
Kalsit	%97	%95	>%99	Intrabiyosparit-intrapelbiyosparit
Dolomit	%2	%5	<1	Sparitik kireçtaşı
Kuvars	%1	-	-	Sparitik kireçtaşı intrabiyosparit

4.2. Kireçtaşlarının Kimyasal Özellikleri (Chemical Properties of Limestone)

Kireçtaşı numunelerinden yaptırılan kimyasal analizlere ait ana oksitleri (%) ve iz elementlere ait veriler (ppm) Tablo 3'de verilmiştir. Kireçtaşı numunelerinin CaO miktarı B ocağında %55,03, K ocağında %53,58, Z ocağında %55,94'dır. MgO miktarı ise K ocağında % 2 diğer ocaklarda % 1'in altındadır. SiO₂ miktarı ise tüm ocaklarda % 0,5'in altındadır (Tablo 3).

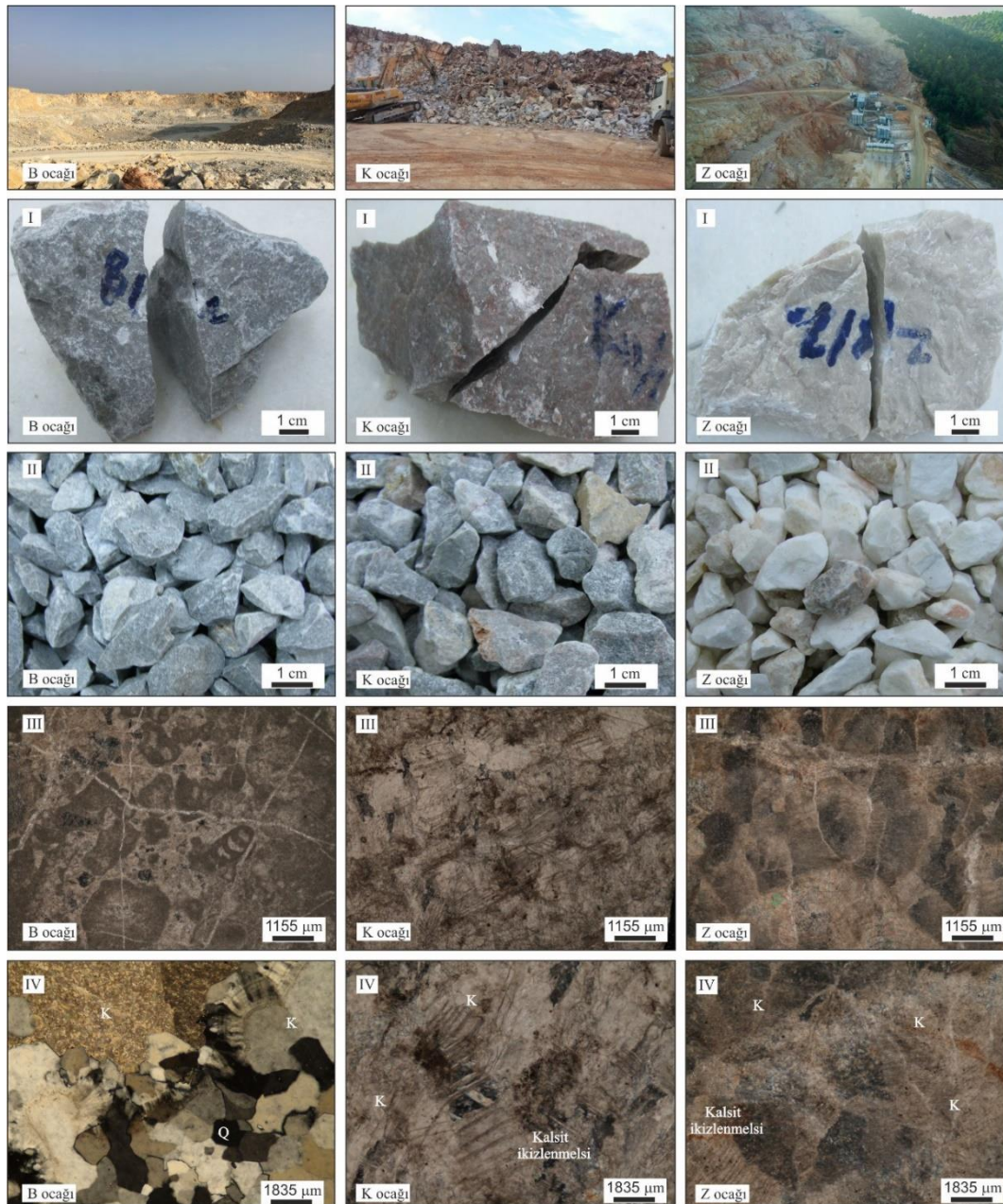
Tablo 3. Kireçtaşlarının Ana Oksitleri ve Bazı Nadir Elementleri (Major Oxides And Some Rare Elements of Limestone)

No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	KK*
%											ppm								
B	0,51	0,02	0,05	0,65	55,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,002	<5	<20	211	<5	<3	<5	<1	43,7
K	0,22	0,04	0,09	2,04	53,58	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	<0,002	<5	<20	144	<5	<3	<5	<1	43,8
Z	0,15	0,02	0,06	0,16	55,94	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,002	<5	<20	86	<5	<3	<5	<1	43,6

*KK/LOI: Kızdırma kaybı/Lost on ignition

4.3. Kireçtaşlarının Malzeme Özellikleri (Material Properties of Limestone)

Bölgedeki İAZ'ye ait kireçtaşlarının görünür yoğunluğu B ocağında ve K ocağında 2700 kg/m³ iken Z ocağında yoğunluk 2688 kg/m³'e kadar düşmektedir. Gözeneklilik ise B ocağında ve K ocağındaki kireçtaşlarında % 0,2-0,25 arasında iken Z ocağında ise % 0,37'ye kadar çıkmaktadır. Buna bağlı olarak su emme değerleri de nispeten farklılıklar göstermektedir. B ocağındaki ve K ocağındaki kireçtaşlarının su emme değeri % 0,3 iken Z ocağında % 0,57'ye kadar çıkabilmektedir. Kireçtaşlarının nokta yükü dayanım indeksi değerleri 2,2-2,9 MPa arasında değişirken basınç dayanım değerleri ise 64-97 MPa arasında değişim göstermektedir (Tablo 4).



Şekil 2. I: Kireçtaşlarının El Örneği, II: Agregata, III-IV: İnce Kesit Görüntüsü, Q: Kuvars, K: Kalsit. (I:Hand Sample, II: Aggregate, III-IV: Thin Section View of Limestones, Q: Quartz, K: Calcite)

4.4. Kireçtaşlarının Agregata Özellikleri (Aggregate Properties of Limestone)

Bölgedeki kireçtaşı ocaklarından alınan agregaların gevşek yığın yoğunlukları ve tane yoğunlukları tane çapına göre değişmekle birlikte ocaklar bazında bir farklılık göstermemektedir. Gevşek yığın yoğunluğu 12-22 mm tane çapındaki agregalarda 1416-1419 kg/m³ arasında olup, tane yoğunlukları ise 2692-2701 kg/m³ arasındadır. Aynı tane çapına sahip agregalarda su emme değerleri ise % 0,35-0,46 arasında değişmektedir. Tüm ocaklarda donma-çözülme deneyi sonrası kütle kaybı değeri %1'in altında bulunmuştur. Kireçtaşı agregalarının parçalanma direnci B ve Z ocağında sırasıyla % 23 ve 24 iken K ocağında bu değer % 29' lara kadar artmaktadır. Aşınma dirençleri ise tüm ocaklarda % 23-24 arasındadır (Tablo 5).

Tablo 4. Kireçtaşlarının Malzeme Özellikleri, *Nokta Yüklü Dayanım İndeksi, N: Deney Sayısı
(Material Properties of Limestones, * Point Load Strength Index, N: Number of Test)

Özellik	n	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Standart
Görünür Yoğunluk (kg/m ³)	6	2703 ± 8	2699 ± 3	2688 ± 7	TS EN 1936
Gerçek Yoğunluk (kg/m ³)	6	2706 ± 8	2708 ± 2	2705 ± 2	TS EN 1936
Açık Gözeneklilik (%)	6	0,199 ± 0,059	0,255 ± 0,017	0,373 ± 0,198	TS EN 1936
Toplam Gözeneklilik (%)	6	0,308 ± 0,086	0,308 ± 0,043	0,567 ± 0,042	TS EN 1936
Su Emme (%)	6	0,074 ± 0,022	0,095 ± 0,006	0,163 ± 0,074	TS EN 13755
*Is ₅₀ - Kuru (MPa)	6	2,94 ± 0,81	2,34 ± 0,84	2,75 ± 0,89	TS 699
*Is ₅₀ - Doygun (MPa)	6	2,90 ± 0,94	2,18 ± 0,63	2,50 ± 0,91	TS699
Basınç Dayanım (MPa)	6	81,53 ± 3,70	64,24 ± 6,17	96,85 ± 11,62	TS EN 1926

Tablo 5. Kireçtaşlarının Agregata Özellikleri. *Donma-Çözülme Sonrası Kütle Kaybı, N: Deney Sayısı.
(Aggregate Properties of Limestone. Loos of Mass After Freezing And Thawing, N: Number of Test)

Özellik	n	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Standartı	
Gevşek Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	0-5 mm	6	1578 ± 48	1593 ± 22	1603 ± 4	TS EN 1097-3
	5-12 mm	6	1466 ± 13	1447 ± 15	1450 ± 14	
	12-22 mm	6	1416 ± 7	1419 ± 2	1419 ± 1	
Sıkışık Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	0-5 mm	6	1898 ± 1	1904 ± 1	1913 ± 1	TS EN 1097-3
	5-12 mm	6	1636 ± 2	1665 ± 1	1663 ± 2	
	12-22 mm	6	1581 ± 1	1555 ± 2	1546 ± 1	
Tane Yoğunluğu (kg/m ³)	0-5 mm	6	2624 ± 22	2657 ± 14	2652 ± 26	TS EN 1097-6
	5-12 mm	6	2692 ± 6	2686 ± 6	2693 ± 3	
	12-22 mm	6	2702 ± 4	2692 ± 8	2697 ± 2	
Su Emme (%)	0-5 mm	6	1,31 ± 0,2	1,30 ± 0,0	1,11 ± 0,2	TS EN 1097-6
	5-12 mm	6	0,56 ± 0,2	0,60 ± 0,1	0,55 ± 0,1	
	12-22 mm	6	0,35 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,40 ± 0,1	
*Donma-Çözülme (%)	6	0,67 ± 0,15	0,77 ± 0,36	0,66 ± 0,26	TS EN 1367-2	
Parçalanma Direnci (%)	6	23,14 ± 0,85	28,62 ± 0,40	24,10 ± 0,97	TS EN 1097-2	
Aşınma Direnci (%)	6	23,73 ± 0,72	22,84 ± 0,96	24,50 ± 0,44	TS EN 1097-1	
Metilen Mavisı (g/kg)	3	0,66 ± 0,23	0,72 ± 0,16	0,50 ± 0,19	TS EN 933-9	
Kum Eşdeğeri (%)	3	71 ± 3	68 ± 2	72 ± 2	TS EN 933-8	
Organik madde tayini	6	Renksiz	Renksiz	Renksiz	TS EN 1744-1	
Kil Topağı Tayini (%)	0-5 mm		0,235 ± 0,183	0,075 ± 0,064	0,028 ± 0,008	ASTM C-142
	5-12 mm		0,094 ± 0,048	0,135 ± 0,233	0,010 ± 0,005	
	12-22 mm		0,077 ± 0,045	0,145 ± 0,282	0,008 ± 0,003	
Yassılık İndeksi (%)	20 mm	3	8.80	7.2	7.3	TS EN 933-3
	12,5 mm	3	12.17	9.075	9.45	
	10 mm	3	9.87	12.65	11.58	
	6,3 mm	3	7.73	16.325	13.08	
Şekil indeksi (%)	10-14 mm	3	13,70 ± 0,36	9,85 ± 1,33	13,05 ± 1,81	TS EN 933-4

Organik madde yönünden üç ocakta da bir kirlilik söz konusu değildir. İnce malzeme miktarları metilen mavisı değeri olarak 0,50-0,71 g/kg, kum eşdeğeri olarak da % 68-72 arasındadır. Kireçtaşı agregalarının yassılık indeksi

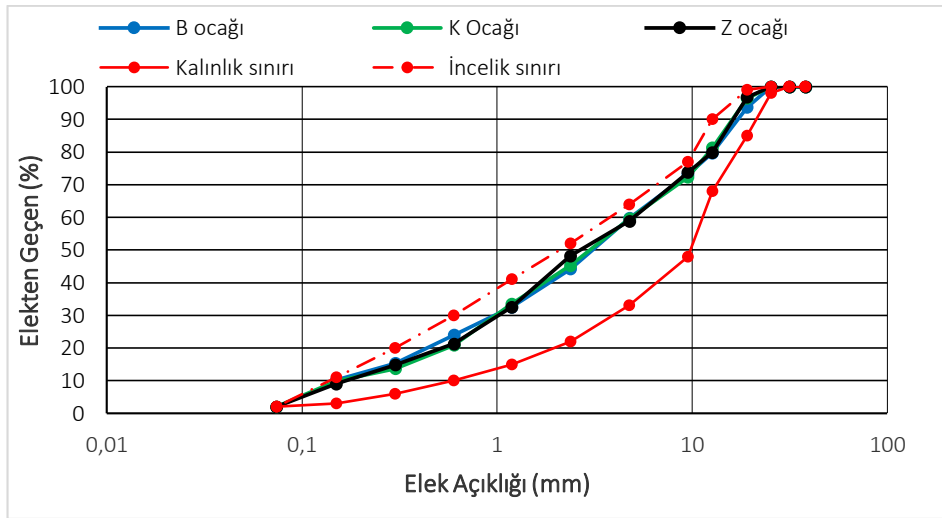
değerleri en fazla 6,3 mm tane çapına sahip agregalarda belirlenmiştir ve bu değer % 16'dır. Şekil indeksi değerleri ise % 9,85 -13,7 arasındadır (Tablo 5).

4.5. Kireçtaşı Agregaları ile Üretilen Taze ve Sertleşmiş Betonun Özellikleri (Properties of Fresh and Hardened Concrete Produced with Limestone Aggregates)

Ocaklardan alınan kireçtaşı agregalarının beton kalitesini belirlemek için laboratuvarında 3 seriden oluşan deneme betonları üretilmiştir. Deneme beton üretiminde kullanılan agrega gradasyonu Şekil 3'de verilmiştir. Deneme betonlarının üretiminde Portland, CEM I 42.5 R tipi düşük alkali içerikli çimento, 0,58 su/çimento (s/ç) oranında kullanılmıştır (Tablo 6). Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 7'da verilmiştir. Tüm beton karışımlarında çimento miktarı sabit tutulmuştur. Ayrıca işlenebilirliği arttırmak ve su/çimento oranını sabit tutmak için % 0,9-1,1 oranında akışkanlaştırıcı, su azaltıcı özellikte INKA BSC 950 kimyasal katkı kullanılmıştır (Tablo 6).

Sertleşmiş betonun dayanım özelliklerini belirlemek için Şekil 3'de verilen ideal agrega karışımı ve Tablo 6'da verilen karışım oranları kullanılarak hazırlanan taze betonlar 15x15x15 cm boyutunda kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 4). Üretimden 24 saat sonra betonlar kalıplarından çıkarılarak TS EN 12390-2'e göre (TSE, 2019d) 20 C° de sıcaklıkta su ile dolu kür havuzunda bekletilmişlerdir. Daha sonra bu beton küp örneklerinin TS EN 12390-3'e göre (TSE, 2010), 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri bulunmuştur (Şekil 5).

Kireçtaşı agregalarından üretilen deneme betonlarında yoğunluk 2369 -2377 kg/m³ arasında, çökme değeri ise 200-210 mm arasında ölçülmüştür (Tablo 8). Kireçtaşı agregalarından üretilen deneme betonlarının basınç dayanımları K ve Z agregaları ile üretilen betonlarda C25/30 basınç dayanımı sınıfına 2. günde ulaşmıştır. B agregası ile üretilen beton 7. gün sonunda C25/30 dayanım sınıfı değerini ulaşmıştır. 28 gün sonunda basınç dayanımı testinde en yüksek dayanımı 45,2 MPa değer ile Z betonu vermiştir. K ve B agregaları ile üretilen betonlar sırasıyla 40,4 MPa ve 33,1 MPa değerlerini vermiştir (Tablo 9).



Şekil 3. Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Karışım Oranları
(Aggregate Mixing Ratios Used in Concrete Production)

Tablo 6. Deneme Betonlarında Kullanılan Agrega, Su/Çimento (S/Ç) ve Katkı Oranları.
(Aggregate, Water/Cement and Additive Ratios Used in Production Concretes).

Beton Adı	Çimento		Gradasyon (% - kg)						s/ç	Katkı	
	Tipi	Doz (kg)	0-5 mm		5-12 mm		12-22 mm			%	kg
			%	kg	%	kg	%	kg			
B Betonu	42,5 R	290	52	984	23	444	25	483	0,58	1,1	3,2
K Betonu	42,5 R	290	56	1066	18	346	26	500	0,58	1	2,9
Z Betonu	42,5 R	290	55	1037	22	425	23	444	0,58	0,9	2,6

Tablo 8. Kireçtaşı Agregaları İle Üretilen Taze Betonun Özellikleri, N: Deney Sayısı.
(Properties of Fresh Concrete Produced with Limestone Aggregates, N: Number of Test)

Taze Beton Deneyleri	n	B Ocağı	K Ocağı	Z Ocağı	Standart
Sıcaklık (°C)	3	17,5	21,1	17,6	
Slump (mm)	3	200	200	210	TS EN 12350-2
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	3	2370	2377	2369	TS EN 12350-6

Tablo 7. Beton Üretiminde Kullanılan CEM I 42,5 Çimentosunun Özellikleri
(Properties of CEM I 42.5 R Cement Used in The Production Concretes)

Çimento Özelliği	CEM I 42,5 R	TS 197-1
Kimyasal Özellikler		
MgO (%)	1,53	-
Na ₂ O (%)	0,46	-
K ₂ O (%)	0,73	-
SO ₃ (%)	2,87	≤ 4,0
Kızdırma Kaybı (%)	3,44	≤ 5,0
Cl-Klor (%)	0,006	≤ 0,10
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,35	≤ 5,0
C ₃ S-Trikalsiyum silikat (%)	70,33	-
C ₂ S-Dikalsiyum silikat (%)	0,14	-
C ₃ A-Trikalsiyum alüminat (%)	6,65	-
C ₄ AF-Tetrakalsiyum (%)	10,23	-
Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,13	-
Özgül Yüzey (g/cm ²)	3370	-
İncelik (0,090 mm elek üstü)	0,6	-
Hacim Sabitliği (mm)	0,5	≤10
Priz süresi (dk)	Başlangıç: 170 dk	≥ 60
	Sona Erme: 270 dk	-
Basınç Dayanımı (MPa)		
2 gün	31,45	≥18
7 gün	43,40	-
28 gün	55,15	42,5-62,5



Şekil 4. Çökme Deneyi ve Taze Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi
(Slump Test and Placing Fresh Concrete Into Molds)



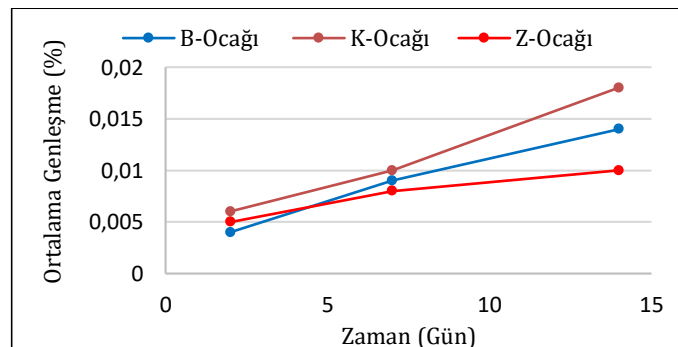
Şekil 5. Kür Havuzu ve Beton Basınç Dayanımı Testi
(Curing Pool and Concrete Compressive Strength Test)

Tablo 9. 2, 7 ve 28 Günlük Beton Basınç Dayanımları
(Concrete Compressive Strength for 2, 7 and 28 Days)

Beton Adı	Basınç Dayanımı (MPa)					
	Yaş (Gün)					
	2.	Ortalama	7.	Ortalama	28.	Ortalama
B Betonu	28,8	28,9	35,8	35,7	40,4	40
	29,0		35,7		39,0	
	28,9		35,5		40,6	
K Betonu	32,0	32,2	37,6	37,6	41,3	40,4
	32,2		37,5		40,9	
	32,4		37,6		39,1	
Z Betonu	33,4	33,1	39,4	39,2	45,6	45,2
	32,9		39,0		44,8	
	33,0		39,1		45,2	

4.6. Alkali Silika Reaksiyonu (Alkaline Silica Reaction)

Alkali silika reaksiyonu deneyleri 0-5 mm tane boyutuna sahip kireçtaşı agregalarında CANADA CSA 23.2–25A'ya (2014) göre yapılmıştır. Deneyde alkali içeriği % 0.6'dan büyük olan CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır. 2,25 agrega/çimento ve 0,47 su/çimento oranında hazırlanan karışım 25 x 25 x 285 mm boyutlarındaki harç çubukları kalıplarına dökülmüştür. Çubuklar 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve saf suda bekletilmiştir. 24 saat suda bekletilen çubukların boy ölçümleri alınmıştır. Daha sonra 80 °C sıcaklıkta NaOH çözeltisine maruz bırakılan çubukların, 2 gün, 7 gün ve 14 günlük boy ölçümleri alınarak genleşme % değerleri hesaplanmıştır. 14 günün sonunda beton çubukların boyca genleşme değerleri limit değer olan % 0,15'in altında kaldığı, böylelikle ocaklardan elde edilen agregaların alkali silis yönünden reaktif agregalar olmadığı görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Harç Çubuklarının Genleşme Değerleri (Mortar Bars Expansion Values)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İncelenen kireçtaşları İzmir –Ankara Zonu’na ait Orta Triyas-Kratase yaşlı kireçtaşlarıdır. Bakacak ve Kırkağaç yöresi kireçtaşları büyük oranda (% 97-99) kalsit mineralinden oluşan kireçtaşlarıdır. Kızılören yöresine ait olanlar ise kalsit (% 95) minerali ile birlikte az oranda dolomit (% 5) minerali de içerdiğinden, dolomitik kireçtaşı özelliğindedir.

Bu kireçtaşları düşük poroziteli (% 0,2-0,37), (NBG, 1985), orta derecede dayanımlı ($\sigma = 65-97$ MPa), (Deere ve Miller, 1966) kayaçlardır. Bu kayaçlar düşük su emme değerlerine (< % 0,5) sahip normal yoğunlukta (2400-2800 kg/m³) kayaçlar olup, konkasör ile kırıldıklarında köşeli ve küresel tane şekline sahip agregalar elde edilmektedir. Bu agregalar, ilgili standartlarda verilen yöntemlere göre test edildiğinde ince malzeme ve organik madde miktarları bakımından temiz agregalar olup, donma-çözülme etkisine de dayanıklı agregalardır.

Bakacak ve Kırkağaç yöresi ocaklarından üretilen kireçtaşı agregalarının Los Angeles (parçalanma) kategorisi 25, Kızılören yöresi kireçtaşlarında bu kategori 30’dur. Mikro Deval (aşınma) kategorisi değerleri ise tüm ocaklarda 25’dir.

Yöredeki kireçtaşı ocaklarından üretilen agregalar büyük oranda karbonat minarelerinden oluşur. Karbonat olmayan minerallerin toplam ana oksitleri % 0,6’dan azdır. Bu neden ile alkali silika reaksiyonu testlerinde belirgin bir genleşmeye sebep olmamıştır.

Bu kireçtaşlarından elde edilen agregalar ile üretilen betonlar erken yaştaki (7 günlük) C25/30 sınıfı beton dayanımına ulaşmıştır. Standart yaştaki (28 günlük) beton dayanımları ise 40 ila 45 MPa değerlerini vermiştir. Sonuç olarak yöredeki, İzmir-Ankara Zonu’na ait kireçtaşları beton üretimi için uygun agrega kaynağıdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar katkılarından dolayı Nurol İnşaat firmasına, makalenin değerlendirme aşamasında önerileri ile katkılar sağlayan hakemlere ve bu derginin çıkarılmasında emeği geçen tüm yayın ekibine teşekkür eder.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Akman, S. M., 1984. Beton Agregaları. Beton Semineri, D.S.İ. Yayın No: 16 15-28 Ankara.
- Alptuna, G., 2009. Dolomit kökenli agregaların alkalikarbonat reaktivitesinin araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Yüksek Lisans Tezi, 194 s (yayımlanmamış).
- ASTM C 142, 2017. Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, American Society for Testing and Materials.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No. 207.
- Bell, F. G., 2006. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat (Çeviren K. Kayabalı, Engineering Geology and Construction, 2004). Ankara, Sistem Ofset.
- Binal, A., 2004. Pesimum reaktif agrega içeriğinin alkali-silika reaksiyonuna etkisinin deneysel yöntemlerle araştırılması. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 17 (2), 119-128.
- CAN/CSA-A23.2-25A-14, 2014. Test Method for Detection of Alkali-Silica Reactive Aggregate by Accelerated Expansion of Mortar Bars, Canadian Standards Association.
- Carlos, A., Masumu, I., Hiroaki, M., Maki, M., Takahisa, O., 2010. The effects of limestone aggregate on concrete properties. Construction and Building Materials, 24, 2363-2368.
- Deere, D. U., and Miller, R. P. 1966. Classification and index properties of intact rock. Technical Report AFWL-TR-65-116, AF Speical Weapons Center, Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- Elçi, H., Türk, N., ve İşintek, İ. (2014). İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38(2).
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara Zonu İle Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, MTA Dergisi, 110,1-15.
- French, W. J., 1991. Concrete Petrography: a review. Quarterly Journal Engineering Geology, 24, 17-48
- Folk, R. L., 1959. Practical petrographic classification of limestones. American Association Petroleum Geologist, 43, 1-38.
- Hasdemir, S., Tuğrul, A., Yılmaz M., 2012. Evaluation of alkali reactivity of natural sands. Construction and Building Materials. 29, 378-385.
- Okay, A. I., Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of northern Turkey. In: Durand B., Jolivet L., Horvath, F. & Seranne M. (eds). Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society of London, Special Publication (156), 475-515
- Katayama, T., 2004. How to Identify Carbonate Rock Reactions in Concrete. Materials Characterization, 53, 85-104.

- Lorenzi, G., Jensen, J., Wigum, B. 2001. Petrographic Atlas of The Potentially Alkali-Reactive Rocks in Europe. Geological Survey of Belgium, 2006/01 - 302, 64p.
- McNally, G.H., 1998. Soil and Rock Construction Materials. E & FN Spon, London, 403 p.
- NBG, 1985. Engineering Geology and Rock Engineering. Norwegian Group of Rock Mechanics, Fornebu, Norway, 249 p.
- Qian, G., Deng, M., Thang, M., 2001. Expansion of Siliceous and Dolomitic Aggregates Lithium Hydroxide Solution, Cement and Concrete Research, 32, 763-768.
- Qian, G., Deng, M., Lan, X., Xu, Z., Tang, M., 2002. Alkali Carbonate Reaction Expansion of Dolomitic Limestone Aggregates With Porphyrotopic Texture. Engineering Geology, 63, 17-29.
- RILEM TC 191-ARP., 2005. Alkali-reactivity and prevention - Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity AAR-5: Rapid preliminary screening test for carbonate aggregates. Material and Structures, 38, 787-792.
- Smith, M. R., Collis, L., 2001. Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes. Geological Society, London, UK, Engineering Geology, Special Publication, 17.
- TS 699. (Mart 2009). Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metotları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 802, 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1/A3. (Şubat 2010) Çimento – bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1926. (Temmuz 2007). Doğal Taşlar – Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1936. (Ocak 2010). Doğal taşlar - Deney metotları – Gerçek yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13755. (Nisan 2009). Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer basıncında su emme tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3 A1, 2006. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 932-1, 1997. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1 numune alma metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 932-2, 1999. Agregaların genel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler-Bölüm 3:Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-4, 2009. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 4: Tane şeklinin tayini-Şekil endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2019a. Beton - Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6, 2019b. Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2019c. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2, 2019d. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-1, 2011. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, 2011. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 3: Tane Şekli Tayini - Yassılık Endeksi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1+A1, 2013. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-8. 2001. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini –Kum Eşdeğeri Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9+A1, 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce malzeme tayini-Metilen mavisi deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- West, G., 1996. Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges. Thomas Telford, London 163 p.
- Zarif, İ. H., Tuğrul, A., Dursun, G., 2003. İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, 16, 61-70.



BATMAN-HASANKEYF-GERCÜŞ-MİDYAT KARAYOLU GÜZERGÂHINDAKİ YÜKSEK ŞEVLERİN DURAYLILIKLARININ FARKLI ANALİZ PROGRAMLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Aykut EKE¹, Atiye TUĞRUL², Murat YILMAZ^{2*}

¹ Yayalar Mah., Barbaros Hayrettin Paşa Cad., Dumankaya Yenişehir Evleri, E3, D6, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Kaya Mekaniği,
Plaxis,
RS2,
Şev Duraylılığı,
Hoek ve Brown.*

Öz

Anadolu topografyası geçirdiği jeolojik evrimi sebebiyle engebeli bir morfolojiye sahip olup mühendislik yapılarının çalışıldığı alanlarda şev yarmalarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda, Batman ili sınırları içerisinde kalan Batman-Mardin Yolu üzerindeki yüksek kaya şevleri farklı analiz programlarıyla çalışılmış olup programlar karşılaştırılarak kaya ortamındaki şev duraylılığının ortaya konması amaçlanmıştır. Kaya ortamında çalışılması sebebiyle analizlerde Hoek ve Brown yenilme modeli kullanılmıştır. Analizler Plaxis BV tarafından geliştirilen Plaxis2D v2018.01 ve Rocscience tarafından geliştirilen RS2 v8.005 programlarında yapılmış olup her iki program da sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile çalışmakta olan 2 boyutlu yazılımlardır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda programların Hoek ve Brown yenilme modeli ile çalışmaları kıyaslanmıştır. Ayrıca, bu kıyası çeşitlendirmek adına kaya ortamının duraylılık analizi Plaxis programında Hardening Soil yenilme modeli kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Hoek ve Brown yenilme modeli kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilmiş olup bölgedeki yüksek şevlerin uzun dönem duraylılık şartlarını Plaxis analizlerine göre sağlamadığı, RS2 analizlerine göre ise sağladığı görülmektedir. Ayrıca, Plaxis programındaki Hardening Soil yenilme modelinde rezidüel kaya parametreleri kullanılarak duraylılık analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analiz sonuçlarının RS2 analiz sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği gözlenmiştir.

ASSESSMENT OF STABILITIES OF STEEP ALONG THE BATMAN-HASANKEYF-GERCUS-MIDYAT HIGHWAY

Keywords

*Rock Mechanics,
Plaxis,
RS2,
Slope Stability,
Hoek and Brown.*

Abstract

Anatolian topography has a very rugged morphology due to its geological evolution. For this reason, slopes are formed in the areas where engineering structures are studied. In this sense, the stabilities of the high rock slopes on the Batman-Mardin Highway within the borders of the province of Batman have been studied by using different analyzes programs. Hoek and Brown failure model has been used in the analyzes due to study in the rock environment. The analyzes have been performed with the programs of Plaxis v2018.01 developed by Plaxis BV and RS2 v8.005 developed by Rocscience. Both programs are 2-dimensional software working with the finite element method (FEM). The Benchmarking study has been performed between the studies made with Hoek and Brown failure model and the programs. In addition to this, the stability analysis in the rock environment has been performed in Plaxis program by using Hardening Soil failure model in order to diversify this benchmarking study. The results have been assessed, and it is seen that the high slopes in the territory do not meet the long-term stability requirements according to the Plaxis analysis, but according to the analysis of RS2, do meet. In addition to this, the stability analysis has been performed by using residual rock parameters in the Hardening Soil failure model in the Plaxis program, and it is observed that these analysis results are similar with the ones obtained from the RS2 analysis.

* İlgili yazar / Corresponding author: yilmazm@istanbul.edu.tr, +90-532-466-4168

Alıntı / Cite

Eke, A., Tuğrul, A., Yılmaz, M., (2021). Batman-Hasankeyf-Gercüş-Midyat Karayolu Güzergâhındaki Yüksek Şevlerin Duraylılıklarının Farklı Analiz Programlarıyla Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 666-682.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Eke, 0000-0002-0157-7704
A. Tuğrul, 0000-0002-5988-5689
M. Yılmaz, 0000-0002-9598-1408

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	17.03.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.03.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Genel anlamda şev “yatay ya da mevcut arazi yüzeyi ile belirli bir açı yapan kütle” olarak tarif edilebilir (Cernica, 1995; Taşkıran vd., 2015). Kitle hareketleri, yerkürenin eğimli yüzeylerinde (yamaç) veya insanlar tarafından gerçekleştirilen şevlerde meydana gelmekte olup mühendislik yapılarında şevlerin duraylılığı söz konusu olmaktadır (Vardar vd., 1990). Kaya şevlerinin duraylılıkları, karayolları ve açık ocak maden işletmeleri gibi birçok mühendislik yapılarında oluşturabileceği can ve mal kaybı riskinden dolayı önem arz etmekte olup şevlerdeki yenilmeler ve duraylılığa etki eden parametrelerin incelenmesi jeoteknik alanda oldukça önemlidir.

Bir şevin duraylılığına etki eden birden fazla parametre söz konusudur. Duraylılık analizlerinde hesaplanan güvenlik katsayısı (SRF) değeri üzerinde en etkili parametreler sırasıyla; şev açısı, GSI, su tablası seviyesi, sismik katsayı ve şev yüksekliğidir (Koca vd., 2014). Bir kaya şevinin duraylılığında tüm bu değişkenler direkt olarak etki etmektedir.

Doğal ya da yapay olarak oluşturulan tüm şevler kendi ağırlıkları, üzerindeki yükler vb. etkiler altında yerçekimine karşı davranış göstermeye eğilimlidir. Şev kütlelerine etki eden kaydırıcı ve direnen kuvvetler arasındaki ilişki ise şevin duraylılığını belirler. Bu bağlamda; kaya şev duraylılığının değerlendirilmesinde kullanılan farklı yöntemler mevcuttur. Şev duraylılığı genellikle; kinematik analizler, limit denge analizleri, sayısal analizler (nümerik) ve Şev Kütle Puanlaması (SMR) gibi kaya kütle sınıflandırma sistemleri ile değerlendirilmektedir. (Hoek vd., 1981; Hoek, 1999; Ulusay vd., 2001; Pantelidis, 2009; Alejano vd., 2011; Karaman, 2013).

Limit denge yaklaşımında kayma düzleminin yeri, şekli ve kayan kütlelerin davranışı ile ilgili kabuller yapılmakta olup gerilme-şekil değiştirme ilişkisi göz önüne alınmamakta ve deplasmanlar hesaplanmamaktadır (Taşkıran vd., 2015). Kaya şev duraylılığının değerlendirilmesinde limit denge yaklaşımına göre daha detaylı analiz gerektiğinde Finite Element Method/Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile çalışan programlar kullanılarak sayısal (nümerik) analizler gerçekleştirilir. Sonlu elemanlar yaklaşımında, sürekli bir ortam sonlu elemanlara bölünerek sistem denklemleri elde edilir ve lineer bir denklem takımına indirgenerek çözüm yapılır. Düğüm noktaları adı verilen noktalarla birleşen elemanlar ile sürekliliği tanımlamayı amaçlayan sonlu elemanlar yöntemi, yenilmenin gerçekleştiği şev modelindeki gerilme ve deformasyonları limit-denge analizlerinin aksine (sadece kayma düzleminin üstündeki alan için dilimlere bölerek değil) tüm modeli kapsayan ağ elemanı içerisinde gerçekleştirerek sonuca varmaktadır (Karaman, 2013; Arkun vd., 2014). Bu sebeple şev duraylılığı incelenirken sonlu elemanlar yöntemi (FEM) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu incelemede üzerinde çalışılmak üzere; Batman ili sınırları içerisinde konumlanan Hasankeyf bölgesindeki Üçyol köyünün güneybatısındaki Batman-Mardin Yolu üzerinde yer alan yüksek (66m) kaya şevleri seçilmiştir. Hasankeyf, doğuda Siirt'in Erüh ve Kurtalan ilçeleriyle, güneyde Gercüş ilçesi, batıda Batman'ın merkeziyle, kuzeyde ise Beşirici ilçesi ile çevrilidir (Şekil 1).

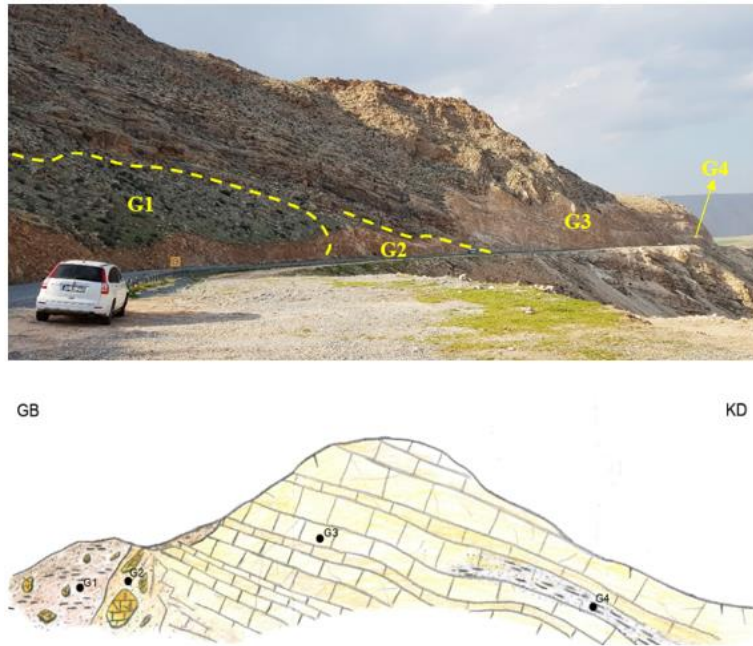


Şekil 1. Çalışma Alanının Google Earth Üzerinde Yer Bulduru Haritası (Site Location Map of the Study Area on Google Earth)

Bu çalışmadaki amaç, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile çalışma alanındaki kaya ortamının şev duraylılığını belirlemektir. Ayrıca geliştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modeli ve Hardening Soil yenilme modeli arasındaki ilişkinin Plaxis2D v2018.01 ve RS2 v8.005 bilgisayar programlarında gerçekleştirilen analiz sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda Batman-Mardin yolu üzerinde analizi gerçekleştirilecek olan kesimde detaylı jeolojik incelemeler yapılmıştır. Güzergâha ait jeolojik birimlerin yapısal ve mühendislik özellikleri ile yeraltı suyu durumunu tespit etmek amacıyla karotlu sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiş, . sondajlardan alınan sağlam kaya numunelerinde kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerini öğrenmek amacıyla tek eksenli sıkışma dayanımı, elastisite modülü gibi laboratuvar testleri yapılmıştır. Buna ek olarak GSI belirlemede kullanılan kaya süreksizlik özelliklerinin bazıları (Dolgu, ayrışma, pürüzlülük, açıklık vb.) ISRM (2007) tanımlama kriterine göre tanımlanmıştır.

1.2. Jeolojik Ortam (Geological Environment)

Çalışma alanında tabandan üste doğru Midyat grubu kireçtaşları, yamaç molozu, alüvyon ve yapay dolgu birimleri gözlenmiştir. Duraylılığın incelendiği jeolojik birim Eosen yaşlı Midyat grubu kireçtaşlarından oluşmakta olup arazide sarı, kahverengimsi sarı, bej, gri, sarımsı gri renklerde gözlenmektedir. Karasal olarak çökelmiş olan kireçtaşı birimi kendi içerisinde farklı kaya kalitesinde gözlenmekte olup yüksek şevlerin yer aldığı (analizi yapılacak) kesim sağlam kireçtaşı (G3 kesimi, Şekil 2) birimlerinden oluşmaktadır. Çalışma alanını tarifleyen ve yaklaşık 1 kilometrelik karayolu boyunca gözlenen mostranın genel görünümü ve jeoloji taslak enkesiti Şekil 2’de verilmiştir.

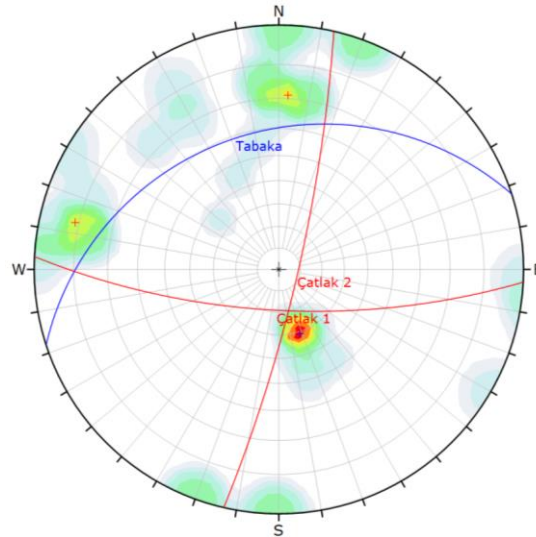


Şekil 2. Çalışma Alanı Genel Mostra Görünümü ve Çalışma Alanı Ölçeksiz Taslak Enkesit Çizimi (G1: Kireçtaşı Birimlerini Üzerleyen Yamaç Molozu G2: Zayıf Kireçtaşı G3: Sağlam Kireçtaşı G4: Kireç, Tebeşirleşmiş Kireçtaşı) (The Study Area General Crop View and the Study Area off Scale Layout Cross Section Drawing (G1: Slope Wash Overlying Limestone Elements G2: Weak Limestone G3: Hard Limestone G4: Lime, Chalky Limestone))

1.3. Kireçtaşının Kaya Kütleleri Özellikleri (Rock Mass Characteristics of Limestone)

Süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kireçtaşında ISRM (2007) tanımlama kriterine göre alan taraması yapılmıştır. Kireçtaşı kaya kütlelerinde tabaka kalınlıkları 1 metreden 4-5 metreye kadar çıkmaktadır. Tabakaların arası kil, silt dolgulu olup dolgu kalınlığı 1-3 cm arasında değişmektedir. Çatlak sistemlerinin açıklığı kapalı (sıkı) olarak gözlenmiştir. Tabakaların devamlılıkları ise >20m olup çok yüksek devamlılık göstermektedir.

Süreksizliklerin hakim yönelimlerini bulmak için DIPS 6.0 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 3). Kaya kütlelerinin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan hakim süreksizliklerin özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 3. Çalışma Alanına Ait Hâkim Süreksizliklerin Dağılımı (2D Stereonet Üzerinde; Dips 6.0) (Distribution of Dominant Discontinuity of the Study Area (on 2D Stereonet; Dips 6.0))

Tablo 1. Çalışma Alanı İçin Belirlenen Hâkim Süreksizlikler ve Genel Özellikleri (Dominant Discontinuity and General Characteristics Determined for the Study Area)

Süreksizlik Türü	Aralık (m)	Devamlılık	Dolgu özellikleri	Pürüzlülük	Eğim / Eğim yönü
Çatlak 1	50 cm.'den	min. >1 m , max 3-10 m	çoğunlukla ezik malzeme; kil, silt	genelde düz-az dalgalı, az	71 / 183
Çatlak 2	birkaç metreye kadar	düşük devamlı- orta devamlı	kalsit dolgulu (1-3 cm)	miktarda dalgalı- yer yer pürüzlü	81 / 103
Tabaka 1					31 / 342

1.4. Hidrojeoloji (Hydrogeology)

Çalışma alanında analizi gerçekleştirilecek kaya birimlerinde yapılan sondajlarda yeraltı suyu seviyesine rastlanılmamış olup mevsimsel su gelimleri muhtemeldir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Kaya kütlelerinin şev duraylılığı ve nümerik analizler konularında literatürde birçok örnek mevcuttur. Buna karşın farklı analiz programlarının karşılaştırıldığı örnekler sınırlıdır. Bu bağlamda, çalışmada kullanılan kaynaklar makale içerisinde atıfta bulunularak verilmiş olup bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Hoek ve Bray (1981), Rock Slope Engineering çalışmasında açık ocak işletmelerinde şev duraylılığı problemlerine yönelik olarak süreksizliklerin (çatlak, tabaka, fay vb.) kaya kütlelerinin davranışını etkilediğini ve kaya davranışı incelenirken süreksizliklerin de dikkate alınması gerektiğinden bahsetmiştir.

Ulusay ve diğ. (1995), Türkiye Kömür İşletmeleri'ne ait Muğla'da yer alan Eskihisar köyündeki kömür işletmesinde döküm sahasının duraylılığını çalışmışlardır. Döküm sahasında meydana gelen riskin araştırılması sonucunda şev eğimi ile döküm malzemesinin içsel sürtünme açısının eşit olduğunu tespit ederek dairesel kaymanın gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Çözüm önerisi olarak genel şev eğiminin ve yüksekliğinin azaltılması gerekliliğinden bahsedilmiştir.

Sönmez ve diğ. (1998), yaptıkları çalışmada doğrusal yenilme vermeyen ve eklem takımlarının gözlemlendiği bir kaya ortamında kayanın parametreleri yapılan gözlemler doğrultusunda ve bilgisayar programı kullanılarak tayin edilmeye çalışılmıştır. Hoek ve Brown sabitleri (mb, s, a) kullanılarak türetilen RMR parametrelerini kullanmışlar ve kesitler üzerinde limit dengeye ulaşmaya çalışmışlardır.

Taşkıran ve diğ. (2015), Şev duraylılığının iki ve üç boyutlu analiz programları ile çözülebilirliğini kıyaslayarak bulmayı amaçlamışlardır. Bir şev örneğinde iki ve üç boyutlu programlarda yaptıkları analizlerde elde ettikleri sonuç değerlerini kıyaslamışlar ve üç boyutlu şev modeli ile elde edilen güvenlik katsayı değerinin iki boyutlu durumda elde edilen değerden daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır.

Rocscience'ın internet sitesinde bulunan makalede Kunst (2017)'nin yüksek lisans tezi çalışmasına atıfta bulunarak RS2, Plaxis2D ve Displacement Analyser/Deplasman Analizci (DIANA) programları sonlu eleman analiz sonuçları kıyaslanmıştır. TBM ile bir tünel kazısı modelinde yapılan analizlerin sonucunda RS2 analizlerinin tutarlı ve doğru olduğu sonucuna varmışlardır.

Ceryan ve diğ. (2018), Kaya şev duraylılığının değerlendirilmesinde farklı yazarların kullandığı yöntemlere değinerek hesaplamalardaki belirsizliklere değinmişlerdir. Girdi parametreleri ve analiz programlarındaki belirsizlikleri en aza indirmek adına kendi örnek çalışmalarında olasılıksal geri analiz yöntemi kullanarak kaya şev stabilite analizi gerçekleştirmişlerdir.

Conrado-Palafox ve diğ. (2019), Plaxis2D ve RS2 yazılımları kullanılarak Yucatecan bölgesindeki bir yol yükünü simüle eden ve arazi yüzeyinde boşluklar nedeniyle oluşan yer değiştirmeleri belirleyen sonlu elemanlarla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında yolun duraylılık sorununu analiz etmişler ve Plaxis2D ve RS2'de elde edilen sonuçların karşılaştırmasını sunmuşlardır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Nümerik analizi gerçekleştirilecek kireçtaşı biriminin analizlerde kullanılacak parametre tayin yöntemleri ve şev geometrisi aşağıdaki başlıklarda bahsedilmiştir.

3.1. Kaya Malzemesinde Yapılan Çalışmalar (Studies in Rock Material)

Çalışma alanındaki kireçtaşı birimlerinin jeoteknik değerlendirmede kullanılmak üzere arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve süreksizlik özelliklerine dair incelemeler yapılmıştır (Tablo 1).

Bunun yanı sıra arazide toplam 211 metre uzunluğunda ve derinlikleri 10,00 m ile 25,00 m arasında değişen 11 adet karotlu sondaj gerçekleştirilmiştir. Sondaj sandıklarından alınan kayaç numunelerinde parametre tayininde kullanılmak üzere kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiş, kireçtaşının kaya kalite göstergesi yapılan sondaj çalışmalarından tayin edilmiştir.

3.2. Nümerik Analizlere Dair (About Numerical Analysis)

Batman-Mardin yolu üzerindeki kireçtaşı biriminden oluşan yüksek şevlerin duraylılıkları sayısal analizler ile değerlendirilmiş olup sonlu elemanlar yaklaşımı ile çalışan Plaxis v2018.01 ve RS2 v8.005 bilgisayar programları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) avantajlarının yanı sıra kendi içinde dezavantajlarını da bulundurmaktadır. Kurulan modeller kabuller doğrultusunda kurulduğu için eğer doğru kabuller yapılırsa doğru sonuçlar elde edilebilir. Bunun yanı sıra doğru parametreler kullanılsa dahi ağ tipi, element tipi ve element sayısı doğru verilmediği takdirde her defasında çok farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu durumda en doğru modeli oluşturabilmek adına çalışma alanının gerçek topografyası ile kayanın mevcut durumu ile ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonrasında şev modelinin uygulandığı kesitlerde istikrarlı sonucu elde edinceye kadar denemeler yapılmış ve nihayetinde gerçeğe en yakın sonucu vereceği düşünülen analiz modeli oluşturulmuştur.

Kaya kütlelerinin davranışı sadece kaya malzemesi ile değil yapısında bulunan süreksizliklerin de dahil edildiği kaya kütleleri ile açıklanabilir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kaya kütlelerinin dayanım özellikleri, kaya malzemesinin yanı sıra, süreksizlik özellikleri de dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu bağlamda 2 boyutlu (2D) analizlerde kullanılacak olan kaya parametrelerinin belirlenmesi, kaya ortamının süreksizlik ve zayıflıklarını da dikkate alarak, kaya kütleleri için geliştirilmiş olan genelleştirilmiş Hoek ve Brown (Hoek, 2006) yenilme modeline uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kaya ortamının 'elasto-birttle-plastic (elastik-gevrek-plastik)' davranacağı öngörüldüğünden ve çalışılan alanda daha önce kazı gerçekleştirilmiş olması sebebiyle analizlerde doruk ve rezidüel parametrelerin kullanılması amaçlanmıştır.

Analiz programlarında kullanılacak tasarım parametrelerinin hesap edilmesinde laboratuvar deneyleri, sondaj çalışmaları ve arazi gözlemleri kullanılmıştır. Arazide kireçtaşı kaya kütlesi, birden fazla kaya kalitesinde gözlenmekte olup yapılan kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçlarından bu durum idrak edilebilir. Buna rağmen kaya malzemesini tanımlayan deney sonuçlarının ortalama değerleri analizi yapılacak kaya kütlelerini tanımlamak için kullanılmıştır. Bunun sebebi, yapılan 11 adet sondajdan sadece 1 tanesinin (SK-2 Numaralı Sondaj) analizi yapılacak en yüksek şev eğimine sahip kritik kesime denk gelmesi ve bu sondajdan (SK-2) alınan verilerin genel ortalamayla uyum sağlamasıdır. Ayrıca en yüksek değerleri seçmeyip genel görünüme göre güvenli tarafta kalmak amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) hesabı yapılırken tüm mostra göz önünde bulundurulmamış, sadece analizi yapılacak kesimin süreksizlik özellikleri dikkate alınmıştır. Böylece analiz programlarında kullanılacak tasarım parametreleri hesaplanırken farklı süreksizlik özellikleri gösteren zonlar için

farklı parametre setleri üretilebilir. Bu bağlamda çalışma alanındaki kireçtaşı birimi süreksizlikleri bakımından homojen olarak kabul edilmemiş, yerel olarak değerlendirilmiştir.

Genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modeli RS2 v8.005 programında aynı isimle yer almakta iken Plaxis v2018.01 programının bu sürümünde sadece Hoek ve Brown adıyla mevcuttur. Her iki programda da GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi), Hoek ve Brown sabitleri (mb, s ve a) gibi kaya kütlelerini tanımlamaya yönelik parametreler kullanılmaktadır.

RS2 v8.005 programının Hoek ve Brown yenilme modelinde doruk ve rezidüel parametreler aynı anda girilebilir olduğu için parametre takımı olduğu gibi kabul edilmiştir. Bu kabulden önce plastik malzeme modeli için rezidüel ve doruk parametreler eşit tutularak analizler gerçekleştirilmiş ancak farklı rezidüel parametrelerin girildiği ilk durum analizlerine göre daha yüksek değerler verdiği tespit edildiğinden güvenli tarafta kalan ilk durum (rezidüel ve doruk parametrelerin ayrı olduğu) hesaplamaları kullanılmıştır.

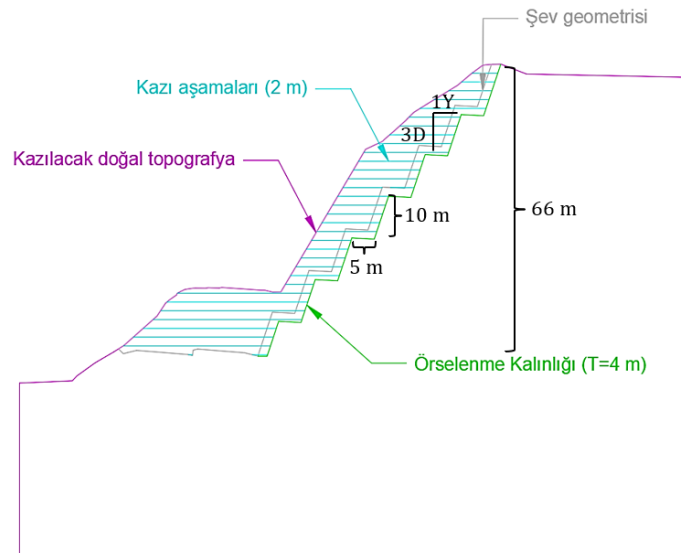
Plaxis v2018.01 programının genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modeli kayanın doruk ve rezidüel parametrelerini aynı anda girmeye olanak tanımadığı için parametre takımında doruk parametre takımı seçilerek kullanılmıştır. Bunun sebebi; rezidüel parametrelerle yapılan analizlerde doruk parametre analizlerine göre daha düşük değer çıkmış olması ve doruk parametre ile yapılan analiz sonuçlarının zaten duraylılık şartlarını sağlamamış olmasıdır.

Bunun yanı sıra, Plaxis v2018.01 programında gerçek değerlere yakın sonuçlar hesaplaması nedeniyle önerilen Hardening Soil yenilme modeli üzerinde de duraylılık analizi gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda doruk Mohr-Coulomb parametreleri ile yapılan analizlerin çok yüksek sonuç vermesi sebebiyle güvenli tarafta kalarak rezidüel parametreler kullanılmıştır.

Çalışmalarda statik durum toplam yer değiştirme, statik durum güvenlik sayısı – maksimum makaslama yer değiştirmesi ve sismik durum güvenlik sayısı – maksimum makaslama yer değiştirmesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Sismik analizlerde yatay deprem katsayısı çalışılan alan için AFAD Türkiye deprem tehlike haritasından belirlenerek $k_h=0.066$ kullanılmıştır. Örselenme faktörü (D) için şev kazılarında önerilen (Hoek, 2012) 0.7 değeri alınmış olup analizlerde kazı aşamaları 2 metre olarak tasarlanmış ve örselenme kalınlığı (T) Hoek, 2012'ye göre 4 metre olarak belirlenmiştir.

3.3. Şev Tasarımının ve Analiz Kesitinin Belirlenmesi (Determination of Slope Design and Analysis Section)

Çalışma alanındaki kireçtaşı birimleri doğal şev eğimi ile duraylı olup belli bir kazı geometrisine sahip değildir. Mevcut karayolunun genişletilmesi dahilinde çalışma alanında birçok şev geometrisi oluşacaktır. Analizlerde 1Y/3D şev geometrisinin uygulandığı ve genel şev yüksekliği 66 metre olan kritik kesit kullanılmıştır. Tekil şev yüksekliği 10 metre ve palye genişliği 5 metre olarak tasarlanan analiz kesiti Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kritik Kesit Analiz Modeli (Analysis Model of Critical Cross Section)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Kireçtaşının süreksizlik özellikleri için yapılan arazi gözlemleri '1.3. Kireçtaşının Kaya Kütleli Özellikleri (Rock Mass Characteristics of Limestone)' başlığında verilmiştir. Tasarlanan şev geometrisinde yüksekliği 66 metre olan kireçtaşının duraylılık analizleri için yapılan deneysel çalışmalar aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

4.1. Sondaj Çalışmaları (Borehole Tests)

Analizi yapılacak kireçtaşı kaya kütlelerinin yapısal ve mühendislik özellikleri ile yeraltı suyu durumunu tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen sondajların özet tablosu Tablo 2'de verilmiş olup analiz kesitinin olduğu kesime en yakın sondaj olan SK-2 numaralı sondaja ait numune fotoğrafı Şekil 5'teki gibidir.

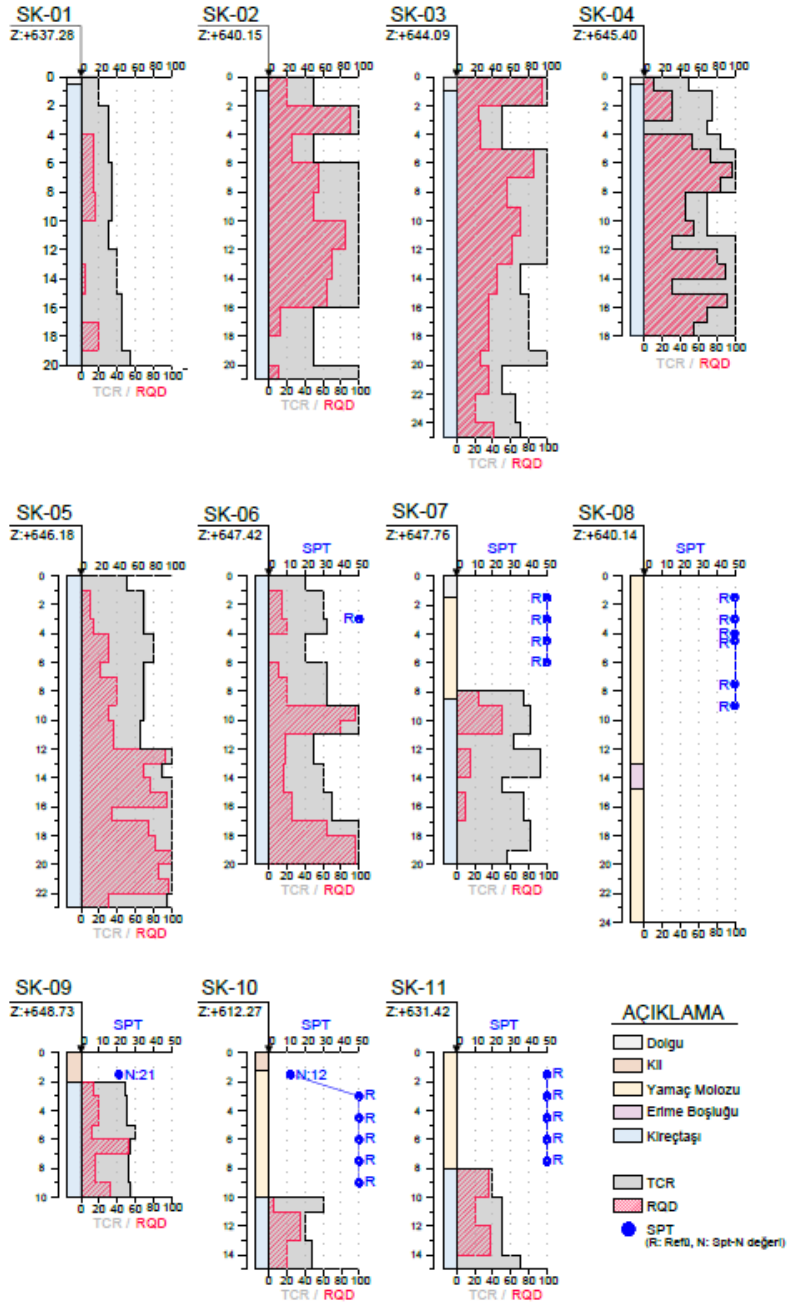
Tablo 2. Kireçtaşı Biriminde Yapılan Sondajların Özet Tablosu (Summary Table of Boreholes in the Limestone Unit)

No	Sondaj No	Derinlik [m]	Yeraltı Suyu Seviyesi (YASS)
1	SK-1	20	Gözlenmedi
2	SK-2	21	Gözlenmedi
3	SK-3	25	Gözlenmedi
4	SK-4	18	Gözlenmedi
5	SK-5	23	Gözlenmedi
6	SK-6	20	Gözlenmedi
7	SK-7	20	Gözlenmedi
8	SK-8	24	Gözlenmedi
9	SK-9	10	Gözlenmedi
10	SK-10	15	Gözlenmedi
11	SK-11	15	Gözlenmedi



Şekil 5. SK-2 Sondajı 6-10m Arası Numune Fotoğrafi (Sample Photograph of SK-2 Borehole From 6 to 10m)

Yapılan sondaj çalışmalarında yeraltı suyu seviyesine rastlanmamıştır. Kireçtaşının kaya kalite göstergesi sondaj çalışmalarından tayin edilmiş olup Rock Quality Designation/Kaya Kalite Göstergesi (RQD), Total Core Recovery/Toplam Karot Yüzdesi (TCR) verilerini gösteren sondaj grafikleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kireçtaşında Yapılan Sondajların TCR ve RQD Grafikleri (TCR and RQD Graphics of Boreholes in the Limestone)

4.2. Laboratuvar Deneyleri (Laboratory Tests)

Analizi yapılacak kireçtaşı kaya malzemesinin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla ve parametre tayininde kullanılmak üzere sondaj sandıklarından alınan kayaç numunelerinde kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler TS/EN ISO17025 standartına uygun yapılmış olup kaya mekaniği deneyleri özeti Tablo 3'te, istatistiksel sonuçları Tablo 4'teki gibidir.

Tablo 3. Kaya Mekanik Deneyleri Özet Tablosu (Summary Table of Rock Mechanics Tests)

Sondaj No	Derinlik		Birim Hacim	Tek Eksenli	Elas.	Nokta
	Baş.	Bitiş	Ağırlık	Sıkışma D.	Modülü	Yükleme
	[m]	[m]	γ_n [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	E_i [GPa]	I_{S50} [MPa]
SK-1	4	4.15	22.5	21.8	-	-
SK-1	9.85	9.95	22.34	-	-	0.4
SK-1	11.5	11.55	20.88	-	-	0.3
SK-1	14.9	15	22.78	-	-	0.6
SK-1	18.5	18.7	21.94	13.5	4.098	-
SK-1	19.75	19.8	19.95	-	-	0.3
SK-2	2.5	2.75	22.47	26.1	-	-
SK-2	8.7	9	21.97	16.7	5.149	-
SK-2	9.5	9.55	23.39	-	-	2.9
SK-2	12.9	12.95	22.75	-	-	0.6
SK-2	20.85	20.9	24.81	-	-	3.6
SK-3	5	5.05	23.33	-	-	1.5
SK-3	6.8	7	23.58	35.1	-	-
SK-3	7.25	7.3	23.6	-	-	3.8
SK-3	7.8	8	24.08	26.8	-	-
SK-3	11.3	11.35	22.63	-	-	0.8
SK-3	12.1	12.5	24.4	34.6	10.279	-
SK-3	16.5	16.55	23.17	24.8	-	-
SK-3	21.8	21.85	23.06	-	-	1.6
SK-3	24.1	24.25	23.07	33.4	-	-
SK-4	7.5	7.78	22.6	15.5	-	-
SK-4	12.4	12.45	23.53	-	-	1.3
SK-4	12.8	13	22.99	23.8	-	-
SK-4	17.85	17.9	23.98	38.1	-	-
SK-5	5	5.1	21.04	19.5	-	-
SK-5	7.2	7.25	20.67	-	-	1.6
SK-5	10	10.1	22.43	27.7	8.637	-
SK-5	11.1	11.2	23.72	38.7	-	-
SK-5	18.5	18.7	20.27	-	-	0.5
SK-5	22.7	22.75	20.74	-	-	0.7
SK-6	1.7	1.75	23.64	-	-	2.5
SK-6	6.5	6.6	21.64	12.6	-	-
SK-6	10.6	10.7	21.52	11.9	3.528	-
SK-6	13.6	13.65	21.66	-	-	0.8
SK-6	16.55	16.6	20.59	-	-	0.3
SK-6	17	17.35	22.47	10.7	-	-
SK-7	2.5	2.6	22.09	-	-	1.4
SK-7	7.1	7.2	22.74	18.3	-	-
SK-7	7.7	7.75	22.83	-	-	2.1
SK-7	8.3	8.4	23.04	16.4	5.003	-
SK-7	17.1	17.2	21.82	-	-	0.7
SK-7	18.5	18.55	20.67	-	-	0.3
SK-8	3.1	3.15	22.33	-	-	1.5
SK-8	7.5	7.55	23.56	-	-	2.8
SK-8	9.2	9.25	23.82	-	-	2.5
SK-8	11.5	11.55	23.48	-	-	2.5
SK-8	19.8	19.85	20.91	-	-	1.8
SK-9	4.8	4.9	22.13	21.7	-	-
SK-9	6.2	6.4	23.05	25.5	7.74	-
SK-9	7.7	7.75	24.02	-	-	2.5
SK-9	9.8	10	22.28	22	-	-
SK-10	2	2.15	20.51	16.3	-	-
SK-10	7.5	7.55	21.48	-	-	1.8
SK-10	9.5	9.55	24.21	-	-	2.9
SK-10	10.5	10.8	23.86	32.9	10.209	-
SK-10	12.9	13	22.83	-	-	2.7
SK-11	2.1	2.2	22.31	-	-	1.4
SK-11	6.1	6.2	22.22	37.4	-	-
SK-11	9.85	10	23.47	30	-	-
SK-11	11.8	11.85	25.15	-	-	4.7
SK-11	12.2	12.3	21.96	24.4	7.232	-
SK-11	14	14.05	21.21	-	-	0.5

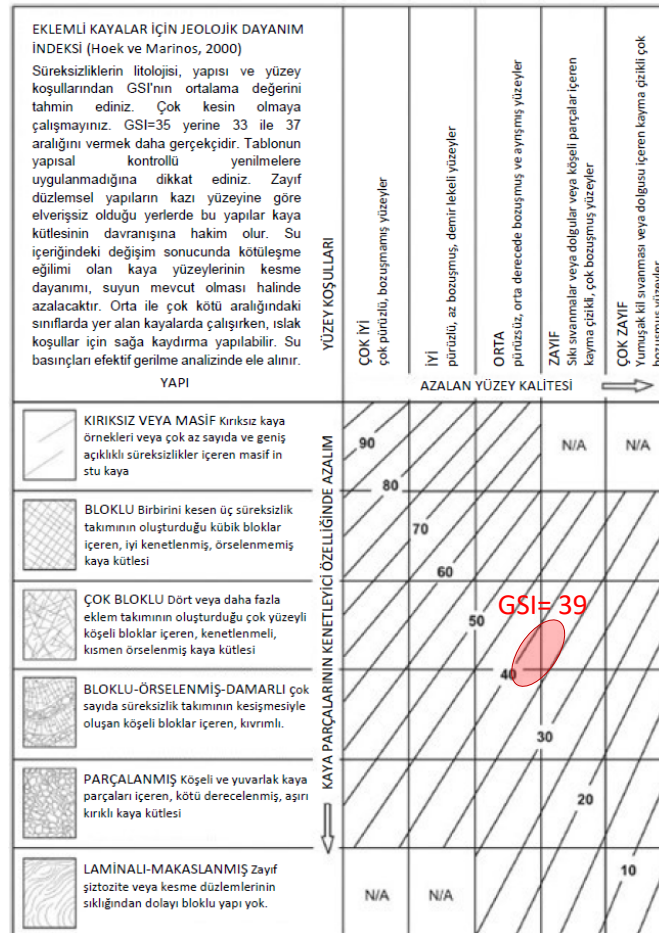
Tablo 4. Midyat Grubu Kireçtaşlarına Ait Laboratuvar Deney Sonuçları İstatistikleri (Laboratory Experiment Results Statistics of the Midyat Group Limestones)

	Birim Hacim	Tek Eksenli	Elas.	Nokta
	Ağırlık	Sıkışma D.	Modülü	Yükleme
	γ_n	σ_{ci}	E_i	I_{s50}
	[kN/m ³]	[MPa]	[GPa]	[MPa]
Numune Sayısı	62	28	9	34
Minimum Değer	19.95	10.70	3.53	0.30
Maksimum Değer	25.15	38.70	10.28	4.70
Ortalama Değer	22.55	24.15	6.88	1.65
Standart Sapma	1.18	8.47	2.55	1.15

4.3. Kireçtaşı Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi (Determination of Limestone Design Parameters)

Midyat grubu kireçtaşı biriminin parametreleri laboratuvar verileri ve kaya kütledeki süreksizliklerden yararlanarak geliştirilmiş Hoek ve Brown yenilme kriteri ile tespit edilmiş olup bu amaçla kullanılan değerler; masif kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{ci}), Jeolojik dayanım indeksi (GSI), Kayaç malzemesine ait boyutsuz malzeme sabiti (m_i), Örselenme faktörü (D), Elastisite modülü (E_i) ve Birim ağırlık (γ)'tır. Birimin sondaj numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarının ortalamaları kullanılarak tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{ci}), birim ağırlığı (γ), elastisite modülü (E_i) belirlenmiştir.

Yapılan sondaj çalışmalarının kaya kalite göstergesi (RQD) değerlerinin ortalaması 30 olarak hesaplanmış olup jeolojik dayanım indeksi (GSI) değeri için RocData bilgisayar yazılımında bulunan ve Hoek (2013) tarafından revize edilmiş eşitlik kullanılmış; $GSI = 1,5JCond89 + RQD/2$ ve yaklaşık 39 olarak tespit edilmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8).



Şekil 7. Jeolojik Gözlemlerden GSI Tahmini Tablosu (GSI Expectation Table From Geological Observation) (Hoek ve Marinos, 2000)

Definition of JCond89, after Bieniawski (1989)

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0

Guidelines for classification of discontinuity conditions

Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 to 3 m	3 to 10 m	10 to 20 m	More than 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	More than 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard infilling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft infilling < 5 mm	Soft infilling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderate weathering	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

Şekil 8. Hoek vd. (2013)'a Göre JCond89 Koşullarıyla Hesaplanan GSI Tahmini (GSI Estimate Calculated with JCond89 Conditions According to Hoek et al., 2013) (RocData v5.007)

Çalışma alanındaki kaya kütlelerinin rezidüel parametreleri de hesaplanmıştır. Bu bağlamda rezidüel GSI (GSI_r) değeri $GSI_r = GSI_e e^{-0.0134 GSI}$ bağıntısı kullanılarak (Cai vd., 2007) $GSI_r = 23$ olarak hesaplanmış ve rezidüel tasarım parametreleri hesabında kullanılmıştır.

Kaya kütlelerinin mi değeri üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi mevcut olmadığı için RocData v5.007 programındaki yazarlar tarafından önerilen mi değerleri dikkate alınmıştır. Örselene faktörü değeri D=0.7 olarak kabul edilmiştir. Buna göre, kireçtaşı için tek eksenli sıkışma dayanımı $\sigma_{ci} = 24.20$ MPa, malzeme sabiti $m_i = 12$, birim ağırlığı $\gamma = 22.60$ kN/m³, elastisite modülü $E_i = 6.90$ GPa olarak öngörülmüştür. Bununla birlikte, örtü yüksekliğinden bağımsız olarak kullanılan genelleştirilmiş Hoek ve Brown ölçütleri de (mb, s ve a) hesaplanmıştır. Hardening Soil yenilme modelinde kullanmak üzere Mohr-Coulumb değerleri de belirlenmiş olup tüm hesaplamalar RocData v5.007 bilgisayar yazılımı kullanılarak ve 60 metrelik örtü kalınlığına göre gerçekleştirilmiştir. Kireçtaşının tasarım parametreleri Tablo 5'te verildiği gibidir.

Tablo 5. 60 Metrelik Örtü Kalınlığı İçin Kireçtaşlarının Kaya Kütleleri Tasarım Parametreleri (Rock Mass Design Parameters of the Limestones for 60-Meter Cover Thickness)

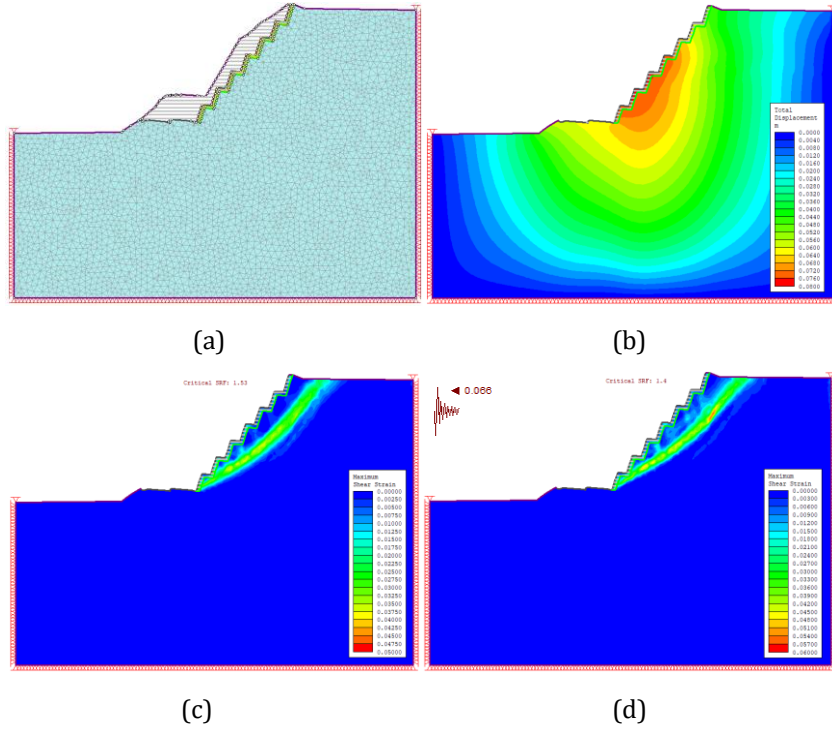
	Örselenme Faktörü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü	Hoek ve Brown Ölçütleri		
	D	c	Ø	Em	mb	s	a
		[kPa]	[°]	[GPa]			
Doruk Parametreler	0	341	43	1.03	1.3584	0.0011	0.5122
	0.7	218	33	0.38	0.4203	0.0001	0.5122
Rezidüel Parametreler	0	233	37	0.37	0.7671	0.0002	0.5358
	0.7	129	25	0.20	0.1745	0.00001	0.5358

4.4. Nümerik Analiz Sonuçları (Results of Numerical Analysis)

Hoek ve Brown yenilme modeli kullanılarak RS2 v8.005 ve Plaxis v2018.01 bilgisayar programlarında gerçekleştirilen analizlerde 1Y/3D şev geometrisinin uygulandığı haliyle genel şev yüksekliği 66 metre olan analiz kesiti kullanılmıştır. Her aşamada uygulanacak kazı yüksekliği 2 metre olarak belirlenmiş ve 4 metre olarak hesaplanan örselenme kalınlığı kesimine örselenmiş (D=0.7) numune parametreleri uygulanmıştır.

Ağ (mesh) tipi uniform, element tipi 6 düğümlü üçgenler (6 noded triangles), ağ (mesh) element sayısı 5000 olarak

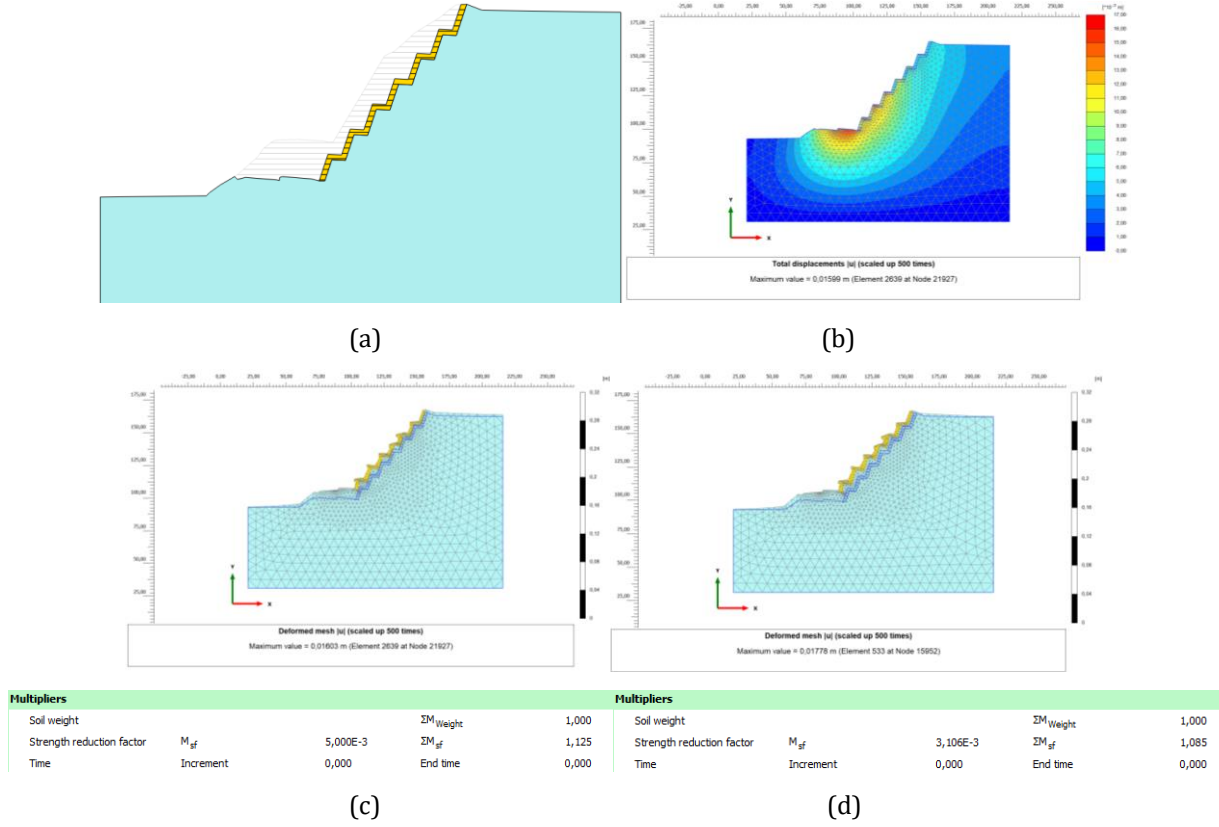
gerçekleştirilen RS2 v8.005 analizlerinin çıktıları Şekil 9’ da, analiz sonuçları özet tablosu Tablo 6’da verilmiştir. Çok sıkı ağ (very fine mesh) tipi ile gerçekleştirilen Plaxis v2018.01 analizlerinin çıktıları ve sonuç özet tablosu ise Şekil 10 ve Tablo 7’deki gibidir.



Şekil 9. RS2 Programında ‘Hoek ve Brown’ Yenilme Modeli ile Gerçekleştirilen Duraylılık Analizleri (a) Analize Yönelik RS2 Modeli (b) Toplam Yer Değiştirme (Statik) (c) Statik Durum Güvenlik Sayısı ve Maksimum Makaslama Yer Değiştirmesi (d) Sismik Durum Güvenlik Sayısı ve Maksimum Makaslama Yer Değiştirmesi (The Stability Analysis Performed With ‘Hoek & Brown’ Failure Model in RS2 Program (a) RS2 Model for Analysis (b) Total Displacement (Static) (c) Static State Safety Number and Maximum Shearing Displacement (d) Seismic State Safety Number and Maximum Shearing Displacement)

Tablo 6. RS2 v8.005 Duraylılık Analiz Sonuçları (Hoek ve Brown Yenilme Modeliyle) (RS2 v8.005 Stability Test Results (With Hoek ve Brown Failure Model))

Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
8	1.53	1.4

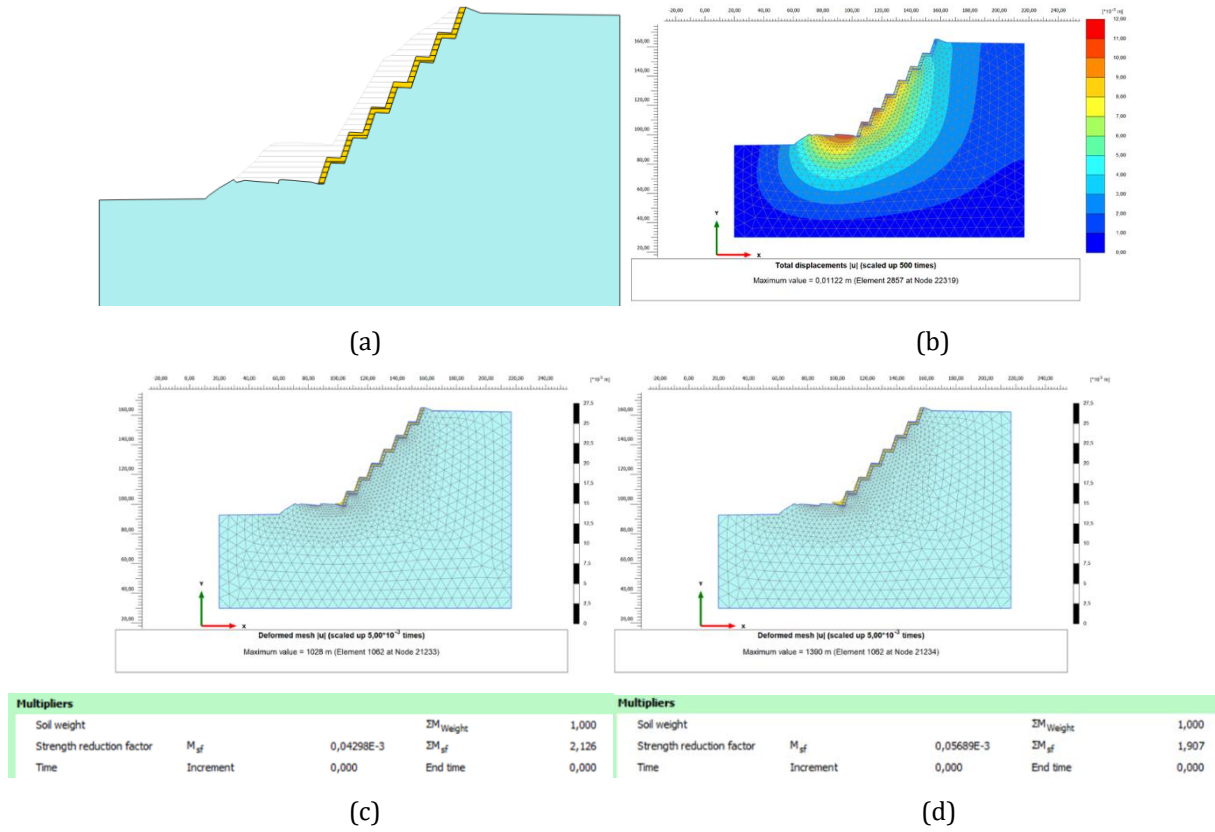


Şekil 10. Plaxis Programında 'Hoek ve Brown' Yenilme Modeli ile Gerçekleştirilen Duraylılık Analizleri (a) Analize Yönelik Plaxis2D Modeli (b) Toplam Yer Değişirme (Statik) (c) Statik Durum Güvenlik Sayısı (d) Sismik Durum Güvenlik Sayısı (The Stability Analysis Performed With 'Hoek ve Brown' Failure Model (a) Plaxis2D Model for the Analysis (b) Total Displacement (Static) (c) Static State Safety Number (d) Seismic State Safety Number)

Tablo 7. Plaxis v2018.01 Duraylılık Analiz Sonuçları (Hoek ve Brown Yenilme Modeliyle) (Plaxis v2018.01 Stability Analysis Results (With Hoek ve Brown Failure Model))

Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
1.6	1.125	1.085

Hardening Soil yenilme modeli kullanılarak Plaxis v2018.01 bilgisayar programında gerçekleştirilen analizlerde aynı analiz modeli ve hesaplanan Mohr-Coulumb değerleri kullanılmıştır. Çok sıkı aę (very fine mesh) tipi ile gerçekleştirilen Plaxis v2018.01 analizlerinin çıktıları ve sonuç özet tablosu Şekil 11 ve Tablo 8'daki gibidir.



Şekil 11. Plaxis Programında 'Hardening Soil' Yenilme Modeli ile Gerçekleştirilen Duraylılık Analizleri (a) Analize Yönelik Plaxis2D Modeli (b) Toplam Yer Değişirme (Statik) (c) Statik Durum Güvenlik Sayısı (d) Sismik Durum Güvenlik Sayısı (The Stability Analysis Performed With the 'Hardening Soil' in Plaxis Program (A) Plaxis2D Model for the Analysis (b) Total Displacement (Static) (c) Static State Safety Number (d) Seismic State Safety Number)

Tablo 8. Plaxis v2018.01 duraylılık analiz sonuçları (Hardening Soil yenilme modeliyle) (The Plaxis v2018.01 stability analysis results (with the Hardening Soil failure model))

Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
1.12	2.126	1.907

Yapılan analizlerin sonuçlarını birlikte gösteren özet analiz sonuç tablosu aşağıdaki gibidir (Tablo 9).

Tablo 9. Duraylılık Analiz Sonuçları Özet Tablosu (Summary Chart of Stability Analysis Result)

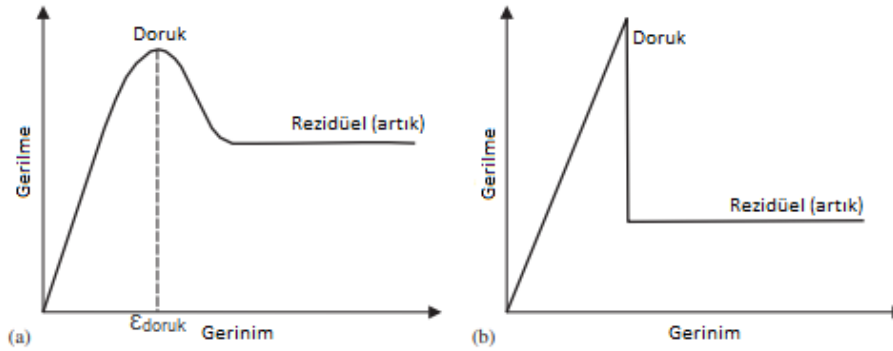
Yapılan Analizler	Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
RS2 Duraylılık Analiz Sonuçları (Hoek ve Brown)	8	1.53	1.4
Plaxis Duraylılık Analiz Sonuçları (Hoek ve Brown)	1.6	1.125	1.085
Plaxis duraylılık analiz sonuçları (Hardening Soil)	1.12	2.126	1.907

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Seçilmiş karayolu şevinin duraylılığı sayısal analizler ile değerlendirilmiş olup sonlu elemanlar yaklaşımı ile çalışan Plaxis v2018.01 ve RS2 v8.005 bilgisayar programları kullanılmıştır. 2 boyutlu (2D) analizlerde kullanılacak olan kaya parametrelerinin belirlenmesi kaya kütleleri için geliştirilmiş olan genelleştirilmiş Hoek ve Brown (Hoek, 2006) yenilme modeline uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Belli bir normal gerilme altında gerinim/deformasyon değeri malzemenin doruk dayanım değerine ulaştığında

doruk dayanım değerleri kademeli olarak düşerek rezidüel değere ulaşabileceği gibi yumuşatma mekanizması olmaksızın doğrudan rezidüel dayanım değerine düşerek gevrek yenilme de gösterebilir. Bu durum sayısal modeller için son derece önemlidir. Rezidüel dayanımlar uygun şekilde belirlenmezse asla optimum kaya destek tasarımı elde edilemez (Cai vd., 2007).



Şekil 12. (a) Kayalardaki Birim Deformasyon Yumuşaması, (b) Kayalardaki Tam Gevrek Yenilme (Cai vd., 2007) ((a) Unit Deformation Softening on Rocks, (b) Complete Brittle Failure on Rocks (Cai vd., 2007))

Bu bağlamda çalışma alanındaki kaya kütlelerinin 'elasto-birttle-plastic (elastik-gevrek-plastik)' davranış gösterebileceği ve daha önce kazıya maruz kaldığı düşünülerek kaya kütlelerinin genelleştirilmiş Hoek & Brown yenilme modeli için doruk ve rezidüel olmak üzere iki ayrı parametre takımı hesaplanmıştır.

Hoek ve Brown yenilme modeli kullanılarak gerçekleştirilen güvenlik analizlerinde RS2 v8.005 programında malzeme tipi plastik olarak seçilerek doruk ve rezidüel parametre takımları olduğu gibi kabul edilmiştir. Sadece doruk parametrelerle yapılan analiz sonuçları çok daha yüksek çıktığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Plaxis v2018.01 programındaki analizlerde ise doruk parametreler kullanılmıştır. Rezidüel parametrelerle yapılan analiz sonuçları daha düşük çıktığı için değerlendirmeye alınmamıştır.

Bir kaya şev tasarımında kayma yüzeyinin kesme dayanımı sürtünme açısı (f) ve kohezyon (c) ile ilişkili olup kayanın bir Coulomb malzemesi olduğu kabul edilir (Coulomb, 1773; Keskin, 2008; Wyllie vd., 2004). Plaxis programında Mohr-Coulomb modelinden daha gelişmiş olan ve gerçek değerlere yakın sonuçlar hesaplaması nedeniyle önerilen Hardening Soil yenilme modeli (Çelik, 2017) sıkça kullanılmaktadır. Bu sebeple Plaxis v2018.01 programında yapılan genelleştirilmiş Hoek ve Brown analizlerine ek olarak Hardening Soil yenilme modeli ile de bir analiz gerçekleştirilmiş olup analizlerde rezidüel Mohr-Coulomb parametreleri kullanılmıştır. Doruk parametrelerle yapılan analiz sonuçları daha yüksek çıktığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Bu bağlamda, yapılan tüm analizlerin kıyasına yönelik;

Şev tasarım yönteminde kesme kuvveti (yer değiştirme kuvvetinin) kayanın kesme dayanımından (direnen kuvvetten) büyük ise şev duraylı olmayacaktır (Keskin, 2008). Bir şevin duraylı olarak değerlendirilmesi için güvenlik katsayısının daima "1"den büyük olması gerekmekte olup geçici durum şev çalışmaları için en az "1,3", uzun dönem şev çalışmalarında ise en az "1,5" olmalıdır (AASHTO, 2002). Ayrıca "Walsh, 2003"ün belirttiği üzere; uzun dönem şev duraylılıklarında statik güvenlik sayısının $\geq 1,50$, sismik güvenlik sayısının ise $\geq 1,10$ olması beklenmektedir.

Hoek ve Brown ve Hardening Soil yenilme modeli ile gerçekleştirilen kaya şevi duraylılık analizlerinin programlara göre karşılaştırmalı sonuç tablosu aşağıdaki gibidir (Tablo 10). Analizlerde kullanılan parametreler Tablo 11'de tekrar özetlenmiştir.

Tablo 10. Duraylılık Analiz Sonuçları Kıyas Tablosu (Benchmarking Table of the Stability Analysis Results)

Analiz Programları	Analizler	Yenilme Modeli	
		Genelleştirilmiş Hoek & Brown (*, **)	
RS2 v8.005	Toplam yer değiştirme (cm)	8	
	Statik Güvenlik	1.53>1.50	
	Sismik Güvenlik	1.4>1.10	
Plaxis v2018.01		Genel. Hoek ve Brown (*)	Hardening Soil (**)
	Toplam yer değiştirme (cm)	1.6	1.12
	Statik Güvenlik	1.125<1.50	2.126>1.50
	Sismik Güvenlik	1.085<1.10	1.907>1.10

* Tablo 11'de yer alan doruk parametre seti kullanılmıştır.

** Tablo 11'de yer alan rezidüel parametre seti kullanılmıştır.

Tablo 11. Kireçtaşı Tasarım Parametreleri (Design Parameters of the Limestone)

	Örselenme Faktörü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü	Hoek ve Brown Ölçütleri		
					D	c	Ø
		[kPa]	[°]	[GPa]			
* Doruk Parametreler	0	341	43	1.03	1.3584	0.0011	0.5122
	0.7	218	33	0.38	0.4203	0.0001	0.5122
** Rezidüel Parametreler	0	233	37	0.37	0.7671	0.0002	0.5358
	0.7	129	25	0.20	0.1745	0.00001	0.5358

Tüm bu veriler ışığında, sonuç olarak;

- Genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modelinin kullanıldığı durumda; kaya şevi RS2 v8.005 programında uzun dönem duraylılık şartını sağlamaktayken Plaxis V2018.01 programında duraylılık şartını sağlamamıştır. Genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modeli Plaxis V2018.01 programındaki hesaplamalarda RS2 v8.005 programına göre daha düşük değer vermiştir (Tablo 10). Doruk ve rezidüel parametrelerin birlikte girilmesi, kaya malzemesinin ilk yenilme gerçekleştikten sonra malzeme dayanımının rezidüel duruma geçeceğini ifade eder (Rocscience Manuel). Bu bağlamda, genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modeli kullanılarak her iki programda da (RS2 v8.005, Plaxis2D V2018.01) gerçekleştirilen hesaplamaların farklı sonuç veriyor (Tablo 10) olmasının nedeni Plaxis programında yenilme sonrasında geçiş yapılacak rezidüel değerlerin tanımlanmayışı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, Plaxis programında sadece doruk parametrelerin kullanılmasına rağmen şev duraylılık şartlarını sağlamaması (daha yatık olan şev geometrisinin uygulanmadığı haliyle kaya kütlelerinin zaten duruyor olmasından dolayı) şüphe uyandırıcıdır.
- Hardening Soil yenilme modeli ile Plaxis programında (kayanın rezidüel parametreleri kullanılarak) yapılan analiz sonuçlarının RS2 programında genelleştirilmiş Hoek ve Brown yenilme modeliyle (kayanın plastik malzeme modelinde doruk ve rezidüel parametreleri kullanılarak) yapılan analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir (Tablo 10). Bu bağlamda, farklı çalışma ortamlarındaki kayaç çeşitleri ve parametreleriyle yapılacak güvenlik analizleri bu uyumun tartışılmasına olanak verecek veri çokluğunu sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- AASHTO, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials, 17th Edition, Washington, D.C., USA
- Alejano, L.R., Ferrero, A.M., Oyanguren, P.R., Fernandes, M.I.A., 2011. Comparison of Limit– Equilibrium, Numerical and Physical Models of Wall Slope Stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48, 16–26.
- Arkun, A.K., Ergen, M., Çakır, Ferit., 2014. Bitki Kökleriyle Şev Stabilizasyonunun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 77-83.
- Cai, M., Kaiser, P. K., Tasaka, Y., Minami, M., 2007. Determination of Residual Strength Parameters of Jointed Rock Masses Using The GSI System, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 44, 247-265.
- Cernica, J.N., 1995. *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*, Jhon Wiley And Sons Inc., Canada.
- Ceryan, N, Kesimal, A and Ceryan, S 2018. Probabilistic Analysis Applied to Rock Slope Stability: A Case Study From Northeast Turkey, *Integrating Disaster Science and Management*, 221-261.
- Conrado-Palafox, A. L., Equihua, L., Arreygue-Rocha, E., 2019. Numerical Comparison of Two Model WITH RS2&Plaxis2D of a Road in a Karstic Terrain.
- Coulomb, C.A., 1773. Sur Une Application Des Rgles De Maximis Et Minimis A Quelques Problemes De Statique Relatifs A l'Architecture. *Acad. Roy. Des Sciences Mewoires De Math. Et De Physique Par Divers Savans*, Vol.7, 343-382.
- Çelik, S., 2017. Tünel Kazısından Dolayı Zemin Yüzeyindeki Oturmaların Mohr-Coulomb ve Pekleşen Zemin Modelleriyle Nümerik Tahminlerinin Kararlaştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 7(4), 95-102.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering*. 3rd Edition. London, Institute of Mining and Metallurgy. 358.
- Hoek, E., 1999. Putting Numbers to Geology – An Engineer's Viewpoint. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 32, 1-19.
- Hoek, E., Marinos, P.G., 2000. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and Tunnelling International*;132(11):45-51.
- Hoek, E., 2006. *Rock Mass Properties*, in *Practical Rock Engineering Canada: The University of Toronto Press*, 1-47.
- Hoek, E., 2012. Blast Damage Factor D, *Technical Note For Rocnews*, 4-6.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart, 47th US Rock Mecanics / Geomechanics Symposium Held in San Francisco, CA, USA June 23-26.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Ankara.
- Karaman, K., 2013. Kaya Şev Duraylılığının Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Ünye, Ordu). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37 (1), 27-47.
- Keskin, M.Ö., 2008. Çukurova Yöresi Kuvarsit İşletmelerinde Bilgisayar Destekli Şev Dizaynı ve Şev Stabilitate Analizleri. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Koca, Kadakçı, T., Koca, Y.M., 2014. Açık Ocak Albit İşletmesindeki Kaya Şevlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Duraylılık Değerlendirmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38 (1), 1-18.
- Kunst, D.J., 2017. *Modelling Construction Phases of Bored Tunnels with Respect to Internal Lining Forces: A Comparison of Finite Element Programs*, Semantic Scholar. Delft University of Technology Master Thesis.
- Pantelidis, L. 2009. Rock Slope Stability Assessment Through Rock Mass Classification Systems. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 315–325.
- Sönmez, H., Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1998. A Practical Procedure For the Back Analyses of Slope Failures in Closely Jointed Rock Masses, *International Journal of Rock Mechanics&Mining*.
- Taşkıran, T., Yavuz, V.S., Keskin, M.S., 2015. Şev Stabilitésinin İki ve Üç Boyutlu Modeller İle İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Cilt 6, Sayı 1, 1-8.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Karaca, A., 1995. Buckling Failure at an Open – Pit Coal Mine and Its Back Analysis. *Proceedings, 7th International Congress on Rock Mechanics*, Tokyo, Japan September, 25-29.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E., 2001. Causes, Mechanism and Environmental Impacts of Instabilities at Himmetoglu Coal Mine and Possible Remedial Measures. *Environmental Geology*, 40 (6), 769–786.
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2. Baskı, Ankara, ISBN: 975-395-466-2, s.14-163,256.
- Vardar, M., Özmen, M. Ve Eriş, İ., 1990; "Uygulamalı Jeoloji", İTÜ Maden Fakültesi, Kaya Mekaniği ve Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İstanbul, 7/40.
- Walsh, M., 2003. *Engineering and Design Slope Stability*, Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000.
- Wyllie, D., Mah, C., 2004. In: Hoek, E., Bray, J. (Eds.), *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4th edn. based on the 3rd edn. Spon Press, London and New York, p. 86.



BİLİŞİM ALTYAPISI ÜZERİNE SUNUCUSUZ MİMARİ PLATFORMU İNŞA ETME

Mete KÖSE^{1*}, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD, Isparta, Türkiye

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

Anahtar Kelimeler

*Sunucusuz Mimari,
Bulut Bilişim,
Sunucusuz Fonksiyon,
Sunucusuz Bilişim.*

Öz

Sunucusuz Mimari, kullanıcının sadece uygulamasını geliştirdiği, diğer tüm katmanların bulut bilişim ya da altyapı sağlayıcıları tarafından sunulduğu kavram olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada yerinde bir veri merkezi, altyapısı bulunan kurum ve kuruluşların, hiçbir bulut sağlayıcısı kullanmadan mevcut altyapısı üzerinde örnek bir sunucusuz mimari platformunu nasıl kurulabileceği üzerinde durulmuştur. Tasarım öncesinde, sunucusuz bilişim hizmeti veren popüler bulut sağlayıcıları araştırılmıştır. Bu sağlayıcılardan en çok kullanılan ilk iki sağlayıcı olan Amazon Web Services (AWS) ve Microsoft Azure platformlarının sunucusuz mimari platformları üzerinde temel ve benzer kod içerikleri ile fonksiyonlar oluşturularak performans testleri yapılmıştır. Yapılan tasarım; bilişim katmanı, stabilite ve ölçeklendirme katmanı, ölçme ve izleme katmanı olarak üç ayrı katmana ayrılmış ve temel olarak bir mimari elde edilmiştir. Bu tasarım üzerinde popüler bulut sağlayıcıların sunucusuz bilişim platformlarında yapılan performans testlerine benzer testler yapılmıştır. AWS ve Azure üzerindeki testlerle, yapılan tasarımın performans testleri karşılaştırılmış ve üç platform üzerine koyulan, aynı görevdeki üç fonksiyonun oturum sayıları, ortalama cevap süreleri, maksimum cevap süreleri grafiklerle gösterilerek analiz edilmiştir. Sonuçta; yapılan tasarımın iyileştirme ve geliştirme noktaları, popüler bulut sağlayıcılarından geri kalan noktaları, avantajları ve dezavantajları ortaya çıkarılmış ve yerinde bir altyapısı olan kurum ve kuruluşların sunucusuz mimari ihtiyaçları için kullanımı mümkün bir tasarım elde edilmiştir.

BUILDING A SERVERLESS ARCHITECTURE PLATFORM ON INFORMATION TECHNOLOGY INFRASTRUCTURE

Keywords

*Serverless Architecture,
Cloud Computing,
Serverless Function,
Serverless Computing.*

Abstract

Serverless Architecture is called the concept in which the user only develops the application and all other layers are presented by cloud computing providers or other infrastructure providers. In this study, an exemplary serverless architecture platform, which has an on-premise data center and infrastructure, can be designed without using any cloud provider, is mentioned. Prior to design, popular cloud providers providing serverless computing services were researched and performance tests were performed by creating basic and similar code contents and functions on serverless architectural platforms of Amazon Web Services (AWS) and Microsoft Azure platforms, which are the first two most used providers. The design made was detailed with three layers: the computing layer, the stability and scaling layer, the observability layer, and as a result, an architecture was essentially obtained. Performance tests were performed on this design, similar to the tests performed by popular cloud providers on serverless IT platforms. The performance tests of the designed architecture were compared with the tests on AWS and Azure. The session numbers, average response times and maximum response times of the three functions in the same function were analyzed by graphs. In line with the conclusion, the points of improvement and development of the designed architecture, its advantages and disadvantages were mentioned. A serverless

* İlgili yazar / Corresponding author: metekose@metekose.com, +90-246-211-1375

architectural design, which can be used for the serverless architectural needs of institutions and organizations with an on-site infrastructure, was obtained.

Alıntı / Cite

Köse, M., Küçüksille, E.U., (2021). Bilişim Altyapısının Üzerine Sunucusuz Mimari İnşa Etme, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 683-700.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Köse, 0000-0002-1917-8664

E. U. Küçüksille, 0000-0002-3293-9878

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 29.04.2021

Revizyon Tarihi / Revision Date 27.05.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date 30.05.2021

Yayın Tarihi / Published Date 20.06.2021

1. Giriş (Introduction)

Bilişim altyapılarına ait katmanların teknolojileri, yıldan yıla çok hızlı ve çeşitli yeni teknolojilerle dallanarak gelişimine devam etmektedir. Bugün hemen hemen tüm kurum ve kuruluşların; internete açık web uygulamaları, satışlarını doğrudan kişilerle buluşturan kurumların da online olarak satış yapabilen platformları, mobil uygulamaları ve ürünlerin değerlendirildiği forumları vb. bulunmaktadır.

Bilişim teknoloji altyapılarındaki hızla teknolojik değişiklikler, kurum ve kuruluşların adaptasyonunu zorlaştırmış, bu durum da büyük bilişim firmalarının sunduğu 'Bulut Bilişim' altyapılarına yönelmeye neden olmuştur. Bulut bilişimde birçok katman hazır birer servis olarak sunulmakta olduğundan, hem zaman maliyeti hem de güncelleme maliyetinden doğan işgücü açısından avantajlıdır. Aynı şekilde günümüzde, özellikle online satış yapan ya da küresel olarak PII (Personal Identical Information) olarak anılan kişisel özel veri bulunduran kurum ve kuruluşlar için güvenlik çok önemli bir konu başlığı olmuş, bu çerçevede yasalarda da zorunlu hale getirilen bazı maddeler sayesinde kurum ve kuruluşların önceliği haline gelmiştir. Güvenlik bakış açısı da bulut bilişimde büyük oranda sağlayıcı tarafından sağlandığından, bulut bilişime yönelimde güvenlik de önemli bir başlık olmuştur.

Bulut bilişim sağlayıcıları, katman-katman önce altyapıyı, sonra ilgili platformları ardından da yazılımları servis olarak sunmaya başlamış, bu da kurum ve kuruluşların inşa ettiği geleneksel bilişim teknolojilerinin büyük oranda değişimine neden olmuştur. Önce altyapılarının bir kısmını bulut bilişim sağlayıcıları üzerinden hizmete sunan şirketler, ardından azalan operasyon ve kaynak maliyeti sonrası platformlarını ve iş fonksiyonlarını da bulut bilişim altyapılarından hizmet verir hale getirmektedirler.

Sunucusuz Mimari ise, platformun hizmet olarak sunulduğu, yani kullanıcının sadece uygulamasını geliştirdiği, diğer tüm katmanların bulut bilişim sağlayıcıları tarafından sunulduğu kavram olarak adlandırılmaktadır. Bir farklı anlatımı da, backend servisleri (BaaS) ve fonksiyon servisleri (FaaS)'ni bir arada bulunduran ve bu servislerin geliştirme hizmetlerinin bulut sağlayıcısına bırakılmadan, kurum ve kuruluşların kendilerinin geliştirdiği yapısıdır. Matematiksel gösterimle, (BaaS) + (FaaS) = Serverless denilebilir.

Literatürde araştırılan çalışmalarda, popüler bulut bilişim sağlayıcıları üzerinde sunucusuz bilişimin inşaları örneklendirilmiş ve bu inşaların performans testleri yapılmıştır. Sunucusuz bilişimin inşası için gereken uygulama katmanındaki değişiklikler, mikroservis yaklaşımlarına değinilmiştir. Popüler bulut sağlayıcıları üzerindeki depolama alanları kullanılarak, uygulamaların ve sunucusuz bilişimin hangi optimal konfigürasyonlarla maksimum verimde çalışabileceği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, hiçbir bulut bilişim altyapısı kullanmayan, mevcutta üzerinde, yerinde (on-premise) bir altyapı barındıran sisteme, sunucusuz mimarinin nasıl inşa edilebileceği anlatmaktır. Bir diğer deyişle, daha önce hiç sunucusuz mimari hizmeti vermemiş bir altyapının bu hizmeti nasıl verebileceğini teknik olarak anlatmaktır. Bu kapsamda önce sunucusuz mimari kavramına detaylı olarak değinilecek ve ardından günümüzde bu hizmeti sunan büyük sağlayıcıların bunu nasıl yaptıklarından bahsedilecektir. Geliştirilen Yöntem kısmında ise, bu sistemler gibi bir sistemin mevcut bir altyapıda nasıl inşa edilebileceği teknik olarak anlatılacaktır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Soltani vd. (2018) çalışmalarında, bulut sağlayıcı hizmetinin tek bir sağlayıcı yerine çoklu sağlayıcılar tarafından alınmasının daha çok fayda getireceğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak sunucusuz mimarinin, gereksiz altyapı yönetimlerini gizleme ve geliştiricilerin sadece koduna odaklanması sağlama gibi kolaylıklarının yanında, sağlayıcıların kısıtladığı taraflarının da olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında çoklu bulut sağlayıcısı ile sunucusuz mimarinin kısıtlamalarının önüne geçebilecek bir mimari sunmuşlardır.

Perez vd. (2018) çalışmalarında, özellikle yeni modern bir uygulama mimarisi olan mikroservis mimarisi uygulamaları için, sunucusuz mimarinin sağlayıcıların sunduğu kısıtlardan dolayı kurulum ve yaygınlaşma gibi konularda zorluk çıkardığını belirterek, SCAR temeliyle, sunucusuz konteyner bazlı mimari oluşturmuşlardır. Bellek olarak büyük görüntü işlemlerinde, cache bazlı optimizasyonlarla, SCAR'ın maliyeti düşürdüğünü, AWS Lambda ile konteyner kullanımının uygun hale geldiği göstermişlerdir. Bu makalede, AWS Lambda platformu, geliştirilen çözüm ile bir arada performans testine sokulmuştur.

Jain vd. (2020) çalışmalarında, AWS Lambda sunucusuz bilişimin, AWS Elastic konteyner hizmetinin, AWS Fargate hizmetinin, AWS SCAR çatısının performans analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak kullanılacak uygulama türüne göre, kolay konfigüre edilebilecek şekilde bir çözümün kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir.

McGrath (2017) çalışmasında, Dotnet tabanlı, Microsoft Azure içinde, Windows konteynerlerde çalışan, performans merkezli bir sunucusuz bilişim tasarımı sunmuştur. Tasarlanan sunucusuz bilişim platformuna ait performans metrikleri önermiştir. Google, IBM, Microsoft ve AWS üzerinde eş zamanlı istek kabul etme testi yapmış ve grafiklerle göstermiştir. Bu makalede, Azure üzerindeki sunucusuz mimariye alternatif, Azure'dan bağımsız bir sunucusuz bilişim yöntemi geliştirilmiştir.

Nabell (2019) çalışmasında, bulut sağlayıcılarının sunucusuz bilişim platformları üzerinde çalışan, olay merkezli stateless uygulama fonksiyonları için, CPU ve memory gibi konfigürasyonel değerlerin optimal değerlerini bulma konusunu bir problem olarak ele almıştır. Bu problemi çözmek için, Bayesian Optimizasyonu kullanan bir çatı sunmuş ve bu çatı sayesinde optimal konfigürasyon değerlerini elde etmiştir. Bu çatı aynı zamanda, harcanan zaman ve tutarın azaltılması amaçlı istatistiksel öğrenme tekniklerini kullanmaktadır. Bu teknikler vasıtasıyla harcama tahminleri yaparak en doğru konfigürasyon değerlerinin atanmasına yardımcı olmaktadır.

Gimenez-Alventosa vd. (2019) çalışmalarında, büyük veri setleriyle kullanılan MapReduce dağıtık bilişim modeli işleri için AWS Lambda üzerinde Amazon S3 depolama alanını kullanarak yüksek performanslı bir sunucusuz mimari yaratmışlardır. Sonuçlar göstermektedir ki, AWS Lambda, çoklu ve sık dağıtık modellenen işler için homojen olmaya performanslı bir bilgi işlem platformu sağlamaktadır.

Ghaemi vd. (2020) çalışmalarında, sunucusuz görevleri yürütmek için kişisel bilgisayarların hesaplama kapasitesinden yararlanan açık, genel, blok zinciri tabanlı sunucusuz bir platform olan ChainFaaS sistemini tanıtmışlardır. Bu platforma önemli sayıda kişisel bilgisayar bağlandığı takdirde, bazı görevlerin veri merkezlerinden alınabileceğini belirtmişlerdir. Önerdikleri sistemin bir prototipini üretmişler ve uygulanması halinde yeni veri merkezi inşa etme ihtiyacının azalacağını bunun da çevreye olumlu bir etki sağlayacağından söz etmişlerdir.

Eismann vd. (2020) çalışmalarında, açık kaynaklı projeler, endüstriyel kaynaklar, akademik literatür ve bilimsel hesaplamalardan 89 sunucusuz uygulamayı analiz ederek elde ettikleri sonuçları paylaşmışlardır. Bu makalede benzer performans testi yöntemi kullanılmıştır.

Bebortta vd. (2020) çalışmalarında, geospatial büyük verilerin yönetimi için Amazon Web Services (AWS) Lambda, Google Cloud Functions ve Microsoft Azure Functions gibi iyi bilinen farklı, ölçeklenebilir sunucusuz çerçevelerini incelemişlerdir. Geospatial büyük verileri analiz etmede popüler olarak kullanılan mevcut yaklaşımlardan bazılarını tartışmışlar ve sınırlamalarını belirtmişlerdir. Ayrıca bu veriler için bir çerçeve önermişler ve bu çerçevenin performansını güvenilirlik, ölçeklenebilirlik, hız ve güvenlik parametreleri açısından değerlendirerek görselleştirmişlerdir. Önerdikleri model, zamanlama kısıtlamalarını azaltmak için sunucusuz bir çerçeve entegre ettiğini ve ayrıca yüksek boyutlu hiperspektral veriler için geospatial veri işleme ile ilişkili performansı iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Sarkar vd. (2019) çalışmalarında, sunucusuz bilgi işlem paradigmasına dayalı hizmetleri modellemek için akıllı bir binada Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının yönetimi için bir çerçeve önermişlerdir. Önerilen çerçevenin, heterojen bir IoT ağından oluştuğunu belirtmişlerdir. IoT uyumlu bir sunucusuz paradigmanın dağıtımının, uç, sis ve bulut bilgi işlem katmanları boyunca hiyerarşik bir yapısal tasarımdan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Sunucusuz bilgi işlem paradigmasındaki heterojen IoT ağının yönetiminin, bakımının ve kullanılabilirliğinin etkili ve verimli olmasını sağlamak için bu çerçevede bir veri dağıtım algoritması da önermişlerdir. Çalışma sonunda yaptıkları deney, bulut modeline gönderilen verilere kıyasla sis modeli için gecikmenin daha az olduğunu göstermiştir.

Gupta vd. (2019) çalışmalarında, sunucusuz sistemlerde büyük ölçekli dışbükey optimizasyon problemlerini çözmek için rastgele bir Hessian tabanlı optimizasyon algoritması olan OverSketched Newton'u geliştirmişlerdir. Yaptıkları deneylerde, AWS Lambda'da toplam çalışma süresinde, son teknoloji dağıtılmış optimizasyon semalarına kıyasla yaklaşık %50 azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

Singhvi vd. (2019) çalışmalarında, çok kiracılı(multi-tenant) sunucusuz bir ortamda düşük gecikmeli istek yürütmeyi sağlayan bir platform olan Archipelago'yu sunmuşlardır. Bu platform için yaptıkları testlerde, Archipelago'nun gerçekçi uygulama isteği iş yüklerinin% 99'undan fazlası için gecikme süresini karşıladığını ve son teknoloji sunucusuz platformlara kıyasla kuyruk gecikmelerini 36 kata kadar azalttığını ifade etmişlerdir.

Sreekanti vd. (2020) çalışmalarında, tahmin sunma sistemlerinin, büyük hacimli düşük gecikmeli çıkarım makine öğrenimi modelleri sağlamak için tasarlandığını belirtmişlerdir. Tanıdık bir veri akışı API'nın bu gecikmeye duyarlı göreve çok uygun olduğunu ve değiştirilmemiş kara kutu makine öğrenimi modellerinde bile optimizasyona uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Bu API'ı sağlayan ve bunu otomatik ölçeklendirmeli sunucusuz arka uçta gerçekleştiren bir sistem olan Cloudflow'un tasarımını sunmuşlardır. Sonuçta, Cloudflow'un optimizasyonlarının sentetik iş yüklerinde önemli performans iyileştirmeleri sağladığını ve Cloudflow'un gerçek zamanlı video analizi gibi zorlu uygulamaların gecikme hedeflerini karşılayan gerçek dünya tahmin pipeline hatlarında kadar gelişmiş tahmin servis sistemlerinden 2 kat daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir.

Li vd. (2019) çalışmalarında, sunucusuz bilgi işlemin performansının, birkaç popüler açık kaynaklı sunucusuz platform kullanan bir dizi tasarım sorununa bağlı olup olmadığını araştırmışlardır. Farklı açık kaynaklı sunucusuz platformlar için performansı (aktarım hızı ve gecikme) etkileyen özellikleri belirtmişlerdir. Ayrıca, yalnızca kaynak tabanlı veya iş yükü tabanlı otomatik ölçeklendirmenin sunucusuz platformların ihtiyaçlarını karşılamak için yetersiz olduğunu gözlemlediklerini ifade etmişlerdir.

Manner vd. (2019) çalışmalarında, sunucusuz işlevler için hata tespiti ve çözümünü iyileştirmek amacıyla yarı otomatik bir sorun giderme süreci sunmuşlardır. Sundukları konseptin işlem adımlarının; log kalitesini artırdığını, başarısız yürütmeleri otomatik olarak algıladığını ve log verilerinde sağlanan bilgilere dayanarak test iskeletleri oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Schleier-Smith vd. (2020) çalışmalarında, bulut işlevleri için paylaşılan bir dosya sistemi sunmuşlardır. Sundukları dosya sisteminin, geleneksel paylaşılan dosya sistemlerinin sunabileceği şeylerin ötesinde ölçeklenebilirlik ve performans elde etmek için bulut işlevlerinin ayırt edici yönlerinden yararlanırken tanıdık POSIX semantiği sunduğunu belirtmişlerdir.

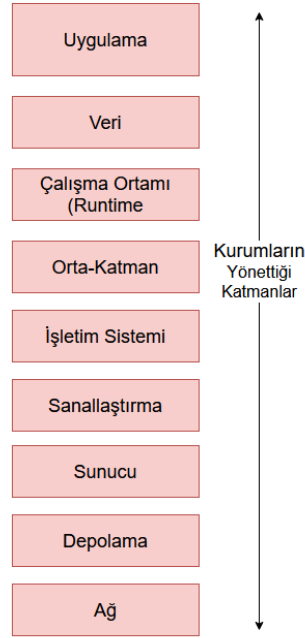
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Kurum ve kuruluşlar, bilgisayarla yapılan işlemlerin, bir insan kaynağı ile manuel olarak yapılmasına kıyasla daha hızlı ve güvenilir olduğunu fark ettikten sonra, bilişim altyapılarını kurmaya yönelmişlerdir. Başta finans kuruluşları olmak üzere dünya genelinde kuruluşların bilişim altyapısı inşaları hız kazanmıştır. 2000'li yılların ilk onluk diliminin sonuna doğru gitgide büyüyen altyapılar hem insan kaynağı hem de maliyet açısından kuruluşların yükünü artırmıştır. Yönetim ve bakım zorluğu gibi sebeplerle, altyapılar, yerini önce yönetiminin dış kaynak (out-source) firmalara devrine, ardından da hem yönetim hem de bakım maliyetlerinin bulut bilişim sağlayıcıların otomatik yönetilen sistemlerine bırakmıştır.

Bulut bilişim modeli, John McCarthy'nin 1960'larda ortaya attığı "Bir gün hesaplama işlemleri geniş kamusal ağlar üzerinde gerçekleşecek" görüşüne dayanmaktadır. Bulut kavramı gerçekte bir telekomünikasyon terimi olup servis sağlayıcı ile son kullanıcı arasında kalan ağ üzerindeki sistemi sembolize eder (Yıldırım, 2020).

3.1. Geleneksel Bilişim Sistemleri (Traditional Computing Systems)

Geleneksel altyapılar, bir diğer deyişle içerisinde hiçbir bulut sağlayıcı bulundurmeyen altyapılar; tüm ağ, depolama, sunucu, sanallaştırma, işletim sistemi, orta-katman, veri katmanı ve uygulama katmanını kendisi inşa ederek, bakım ve güncelleme maliyetlerini de kurum ve kuruluşların yönettiği altyapılardır. Geleneksel altyapılarda kurumların yönetmek zorunda olduğu katmanlar Şekil 1'de gösterilmiştir.

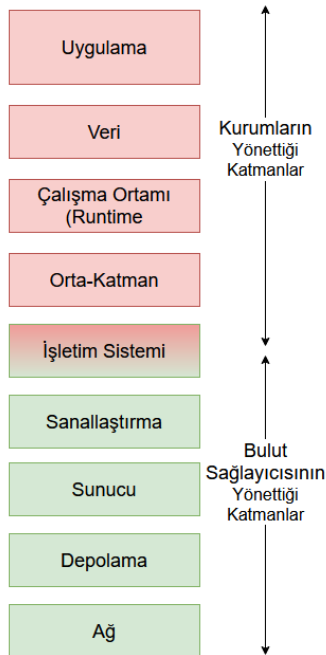


Şekil 1. Geleneksel altyapılarda kurumların yönettiği katmanlar (Layers managed by institutions on traditional infrastructures)

3.2. Altyapı Hizmeti - (Infrastructure as a Service)

Bir bulut sağlayıcısının, ilgili kurum ve kuruluşun altyapı hizmetlerindeki katmanlardan; ağ, depolama, sunucu, sanallaştırma ve işletim sistemi üzerindeki güncelleme, bakım ve onarım gibi operasyonlarına ait hizmetleri kiralarak servis olarak sunmasına Altyapı Hizmeti (IaaS) denir. Bunun sonucunda müşteriler, bu katmanların yönetimi için insan kaynağına gerek duymazlar. Aynı şekilde, donanım satın almak zorunda da kalmamış olurlar. Bulut sağlayıcıları bu hizmeti görünmez bir şekilde, fiziksel ya da sanal olarak sunabilirler.

IaaS kapsamında müşterinin yönettiği ve bulut sağlayıcısının yönettiği katmanlara ait çizim Şekil 2'de gösterilmektedir. Bulut hizmet sağlayıcısı, bu katmanlardaki hizmetin sağlanabilmesi için gerekli fiziksel kaynakların yönetiminden sorumludur.

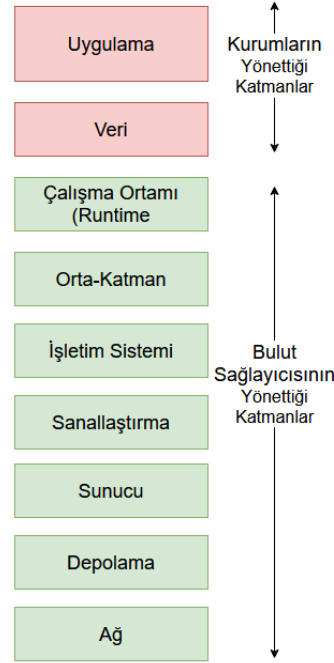


Şekil 2. IaaS kapsamında kurum ve sağlayıcının yönettiği katmanlar. (Layers managed by institutions and providers within the scope of IaaS.)

3.3. Platform Hizmeti - (Platform as a Service)

Bir bulut sağlayıcısının IaaS ile sunduğu hizmetlere ek, işletim sistemindeki tüm hizmetleri, orta-katmandaki yazılımı, orta-katman yazılımının çalıştığı platform yazılımını da sunduğu hizmet türüne platform hizmeti denmektedir. PaaS, öncelikli olarak IaaS kullanıcısı olan müşterilerin, zamanla yazılımlarını 'buluta hazır' (cloud-ready) hale getirerek, orta-katmanın da bulut sağlayıcısından hizmet alınabilir olmasına ve orta katmanın üzerinde koşacağı işletim sisteminin de kiralanabilmesi sonuçlarının doğmasına neden olmuştur. Cloud-ready kavramı ilk olarak PaaS ile ortaya çıkmıştır.

PaaS kapsamında müşterinin yönettiği ve bulut sağlayıcısının yönettiği katmanlara ait çizim Şekil 3'de gösterilmektedir. Bulut hizmet sağlayıcısı, yeşil ile gösterilen bu katmanlardaki hizmetin sağlanabilmesi için gerekli fiziksel kaynakların yönetiminden sorumludur.

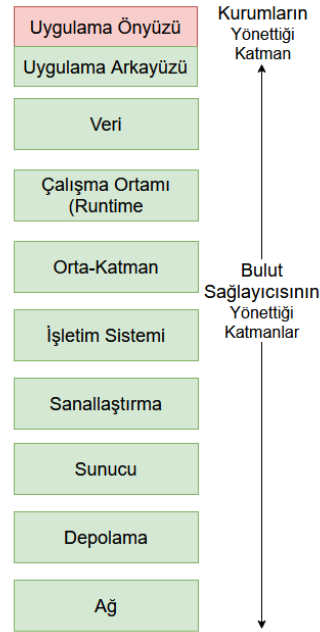


Şekil 3. PaaS kapsamında kurum ve sağlayıcının yönettiği katmanlar. (Layers managed by institutions and providers within the scope of PaaS.)

3.4. Sunucusuz Bilişim - (Serverless Computing)

Sunucusuz bilişim ya da mimari, PaaS'da işletimi orta-katman da dahil bulut sağlayıcısına bırakmanın üzerine, veri ve uygulamanın arka tarafta koşan (backend) servislerini de bulut sağlayıcısının işletimine bırakma işlemi olarak adlandırılabilir. Müşteri kodunu yükler ve bulut sağlayıcısı bu kodu çalıştırır. Sunucusuz denmesinin ana sebebi, uygulama çalışırken sunucu önemsenmemelidir' mesajı vermektir.

Şekil 4'te bir bulut sağlayıcısının ve müşterinin Sunucusuz Bilişim kullandığında hangi sistemleri yönettiği gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere, uygulama backend'inin bir kısmını sağlayıcı bir kısmını müşteri yönetebilir. Backend'in hizmet olarak sunulmasına BaaS (Backend as a Service) adı verilmektedir. Yalnızca uygulamanın son kullanıcıya açılan kısmı, bu genellikle bir koddur, müşteri tarafından yönetilmektedir. Eğer backend tarafındaki kod, sağlayıcının belirlediği bazı yazılım dillerinin çatısında (framework) hazırlanmışsa buna da FaaS (Function as a Service) denilmektedir. Bu nedenle BaaS ve FaaS'ın bir arada bulunması durumuna Sunucusuz Mimari denmektedir. İkisi aynı anda bulunmak zorunda değildir. Yalnız BaaS ya da yalnız FaaS işletimine de sunucusuz mimari işletimi denilebilir.



Şekil 4. Sunucusuz mimaride kurum ve sağlayıcının yönettiği katmanlar. (Layers managed by institutions and providers within the scope of serverless architecture.)

3.5. Popüler Bulut Sağlayıcılarının Sunduğu Sunucusuz Bilişim Hizmetlerinin Performans Testi - (Performance Test of Serverless Computing Services Served By Popular Cloud Providers)

Şekil 5'te uluslararası bir teknoloji araştırma şirketi olan Gartner'ın raporu görülmektedir. Bu rapora göre, Temmuz 2019 itibariyle kullanışlı, sektörde lider ve vizyoner sağlayıcılar gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, Amazon ve Microsoft sektörde lider konumdadırlar. Google da onları takip etmektedir (Gartner, 2019).



Şekil 5. Magic Quadrant, Bulut Sağlayıcıları. (Magic Quadrant, Cloud Providers).

3.5.1. Amazon Web Services Sunucusuz Bilişim / Lambda - (Amazon Web Services Serverless Computing / Lambda)

AWS, hem IaaS hem PaaS hem de Serverless hizmetleri konusunda 2020 itibariyle birçok istatistikte, pazar payında lider olarak gösterilmektedir. Sunucusuz (Serverless) mimarisini de AWS Lambda ismiyle, etkinlik odaklı (event-driven) bir yapıda Kasım 2014 yılında piyasaya sürmüştür. Daha önce Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) ismiyle duyurduğu PaaS ve IaaS hizmetlerini Lambda ile daha mikro seviyede vermeye başlamıştır. Verilen hizmet etkinlik merkezli (event-driven) mantığında tasarlandığından, bir etkinliğin gerçekleşmesiyle beraber hızlıca, Lambda üzerinde bir servis ayağa kaldırabilecek yapıda hizmet vermektedir.

Lambda'nın performansını ölçmek amacıyla AWS üzerinde, 'sunucusuz' bir uygulama oluşturulmuştur. Uygulamanın içine de Şekil 6.'da gösterilen kod bloğu yer alan Node.js 12.0.x ile yazılmış, bir fonksiyon

yerleştirilmiştir. Bu fonksiyon için 128 MB bellek ayrılmış ve 2dk boyunca her saniye 100 sanal kullanıcının yük vermesi sağlanmıştır. Bu süre zarfında toplam 2531 oturum oluşmuştur.

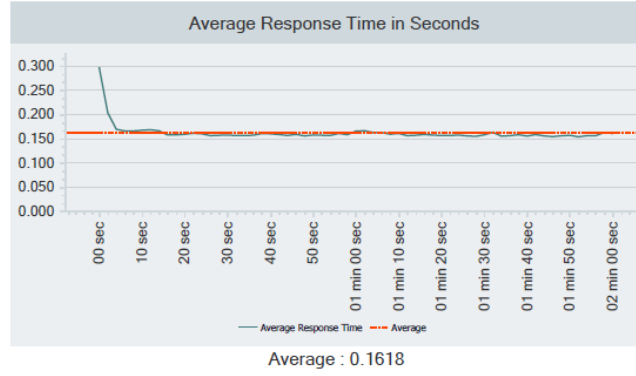
```

1 exports.handler = function(event, context) {
2   context.succeed("Hello, World!");
3 };

```

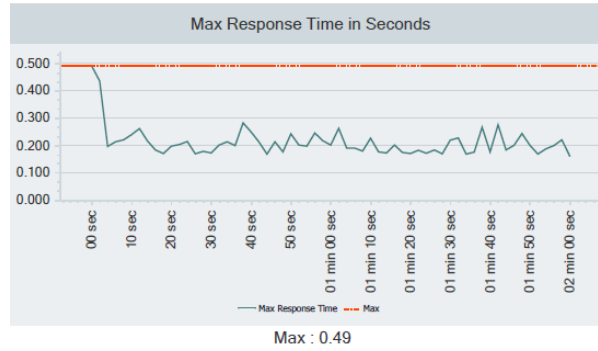
Şekil 6. Lambda'nın performansını ölçmek amaçlı kullanılan kod. (The code used to measure the performance of Lambda.)

Şekil 7'de ise isteklere verilen ortalama cevap süresi yer almaktadır. İlk oturum, AWS üzerindeki konteynerin ayağa kalkmasının ardından başladığından 0,3 saniye civarındadır fakat sonrasında 2531 isteğe ortalama 0.1618 saniyede cevap verebilmiştir. Yeşil çizgi Ortalama cevap süresini, kırmızı ise genel ortalamaya etkisini göstermektedir.



Şekil 7. Lambda performans testi ortalama cevap süresi grafiği. (Average response time graph of Lambda performance test.)

Şekil 8'de ise maksimum cevap süreleri saniye cinsinden gösterilmektedir. Yine aynı sebepten konteynerin hizmet verebilir hale gelmesi için geçen süre de dahil olunca, ilk istek cevap süresi en yüksek istektir ve bu değer 0,49 saniyedir. Yeşil çizgi maksimum cevap süresini, kırmızı çizgi ise en yüksek değeri işaretlemektedir.



Şekil 8. Lambda performans testi maksimum cevap süresi grafiği. (Maximum response time graph of Lambda performance test.)

3.5.2. Microsoft Sunucusuz Bilişim / Azure Functions – (Microsoft Serverless Computing / Azure Functions)

Microsoft'un Azure ismiyle sunduğu Bulut Hizmeti, ilk olarak 2008'in Ekim ayında piyasaya sürülmüştür. Dünyaca ünlü birçok araştırma şirketinin istatistiklerine göre, uluslararası boyutta en çok kullanılan ikinci bulut sağlayıcısıdır. Azure 'sunucusuz' bilişim hizmetini 'Azure Functions' ismiyle ilk olarak Mart 2016'da hizmete sunmuştur.

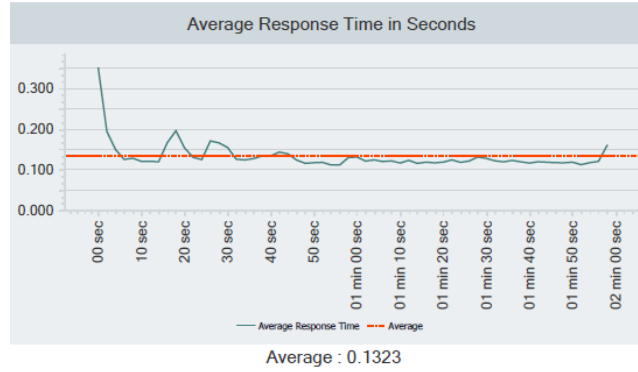
Azure Functions'ın performansını ölçmek amacıyla, Azure üzerinde sunucusuz bir uygulama ve içerisinde bir adet FaaS hizmeti barındıran fonksiyon oluşturuldu. Şekil 9'da bu kod bloğu yer almaktadır. Burada daha önce AWS üzerinde denenilen kodun aynısı, bu sefer Windows temelli bir işletim sistemi üzerinde, yine bir Node.js 12.0.x platformu üzerinde çalıştırılmıştır. Bu fonksiyon için ayrılması gereken bellek kullanıcı tarafından atanmamış, Microsoft Azure platformu grafiklerde görüldüğü gibi ortalama 132 MB değerinde bir belleği kendisi otomatik ölçeklendirerek atanmıştır. AWS ile aynı test özellikleriyle çalıştırılmıştır. 2 dakika boyunca her saniye 100 sanal kullanıcının ilgili servise yük vermesi sağlanmıştır.


```

1 * module.exports = async function (context, req) {
2   context.log('JavaScript HTTP trigger function processed a request.');
```

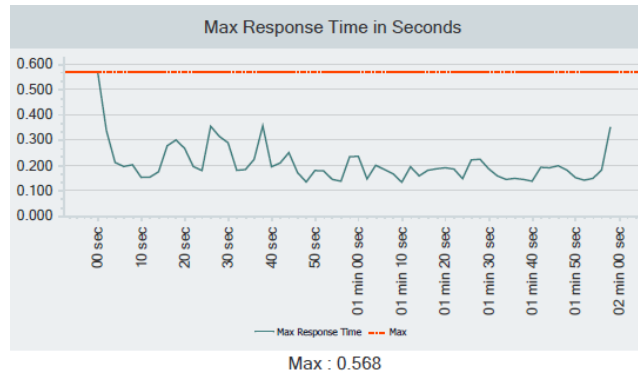
Şekil 9. Azure Functions'ın performansını ölçmek amaçlı kullanılan kod. (The code used to measure the performance of Azure Functions.)

Şekil 10'da ise isteklere verilen ortalama cevap süresi yer almaktadır. İlk oturum, Azure üzerindeki sistemin ayağa kalkmasının ardından başladığından 0.4 saniye civarındadır fakat sonrasında 2548 isteğe ortalama 0.1323 saniyede cevap verebilmiştir. Yeşil çizgi ortalama cevap süresini, kırmızı ise genel ortalamaya etkisini göstermektedir.



Şekil 10. Azure Functions performans testi ortalama cevap süresi grafiği. (Average response time graph of Azure Functions performance test.)

Şekil 11'de maksimum cevap süreleri saniye cinsinden gösterilmektedir. Yine aynı sebepten fonksiyonun Windows bazlı işletim sistemi üzerinde hizmet verebilir hale gelmesi için geçen süre de dahil olunca, ilk istek cevap süresi en yüksek istektir ve bu değer 0.568 saniyedir. Yeşil çizgi maksimum cevap süresini, kırmızı çizgi ise en yüksek değeri işaretlemektedir.



Şekil 11. Azure Functions performans testi maksimum cevap süresi grafiği (Maximum response time graph of Azure Functions performance test.)

Örnek bir matematiksel model ile formül gösterimi verilmiştir. Formüller ortalı olarak hizalanmalıdır. Formüllerin yerleştirilmesinde sorun yaşandığı takdirde çerçeve kalınlığı belli olmayan bir tablo içerisine yerleştirme yapılabilir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Geliştirilen Mimari (Developed Architecture)

Bulut sağlayıcılarının sunduğu sunucusuz bilişim mimarileri, üzerinde bulundukları BaaS ya da FaaS'ın çalıştırılabilmesi için öncesinde bir tetikleyiciye ihtiyaç duyar. Bu tetikleyici veri tabanına atılan bir kayıt da olabilir, sistemler üzerine bırakılan bir 'etkinlik' de olabilir bir yere atılmış bir web çatalı da olabilir. Bir diğer deyişle, özellikle başka bir amaç için de programlanabilir.

Yerinde altyapısı olan ve bu altyapısıyla geliştiricilere hizmet veren bir kurumda, aslında sistem yöneticileri ile

geliştirici ekipler arasında bir SaaS (Software as a Service) hizmeti vardır. Geliştirici ekipler yazılımı geliştirip, ilgili kurumun sistemlerine, yazılımın yaygınlaşması için talepte bulunurlar.

Bu bölümde yerinde altyapısı olan, bir diğer deyimle geleneksel bir altyapı bulunduran bir kurum ya da kuruluşun, elindeki sistemle nasıl basit bir sunucusuz mimari oluşturabileceğinden ve bu mimarinin minimum hangi bileşenleri içermesi gerektiğinden ve bu doğrultuda geliştirilen yöntemden bahsedilecektir.

Aslında temelde, müşteri elindeki SaaS platformuna bir web çatalı (webhook) atarak sunucusuz mimari ile çalıştığını ya da sunucusuz bir mimari inşa ettiğini düşünebilir. Fakat inşa edilecek bir sunucusuz mimarinin bazı temel hizmetleri sunuyor olması gerekmektedir.

Birincisi, web çatalı ile tanımlanan fonksiyon arasındaki, tetikleme mekanizmasının bağlarını yapacak bir programdır. Bu program temel olarak, web çatalı üzerinden gelen isteği, geliştiricinin tanımladığı fonksiyona iletecek, iletirken de ilişkiyi kuracak programdır. Geliştirilecek sunucusuz platform, tanımlanacak her fonksiyon için ayrı bir konteyner ya da bir web sunucusu ayağa kaldırmalıdır. Eğer aynı sunucu ya da aynı konteyner üzerinde koşacaksa bu durum kodların birbirlerinin kaynaklarını tüketmesine neden olabilir.

İkincisi, fonksiyonların geliştirilebilmesi için sunulacak programlama ortamlarıdır. Bir önceki bölümde Azure ve AWS üzerindeki sunucusuz platformları performans testine sokarken geliştirme dili olarak Node.js kullanılmıştır. Kurum da eğer kendi sunucusuz platformunu geliştirecekse, belirli diller için geliştirme ortamı sunmalıdır. Kurum kendi geliştirme politikalarına göre bu dilleri hızlıca belirleyip, bu diller için bir geliştirme ortamı sunabilir.

Üçüncüsü ise fonksiyon tanımıdır. Verilecek FaaS hizmeti için, temel bir 'fonksiyon' tanımı ve onun arkasındaki iş mantığı belirlenmelidir. SaaS içinde koşan bir web kancası tetiklendiğinde çalışacak ilk şey fonksiyondur.

Dördüncüsü, sunucusuz platform üzerinde tanımlanacak fonksiyonlar için bir API katmanıdır. Bu API katmanı tüm, yaratma, okuma, güncelleme ve silme (CRUD) işlemlerini yapabilir olmalıdır. Fonksiyonların üzerindeki işlemler bu API'larla, geliştiricinin kullanabileceği formatta olmalıdır.

Son olarak bir diğer gereksinim de yapılacak çalışmanın verimli olması amacıyla, yaratılacak olan sunucusuz bilişim platformunun iyi performanslı ve izlenebilir olmasıdır. Koyulacak fonksiyonun performans metrikleri, uygulamanın bilişim katmanında yarattığı yük, disk maliyeti, kapasite yönetim metrikleri gibi tüm izleme metrikleri kolaylıkla görüntülenebilir olmalıdır. Kuşkusuz bir FaaS zamandan kazandıracaktır fakat performansı da uygulamanın hiçbir sunucusuz hizmet almadan, eski geleneksel yapıda bağımsız şekilde çalışmasına yakın bir performansta olmalıdır.

4.1.1. Bilişim Katmanı (Computing Layer)

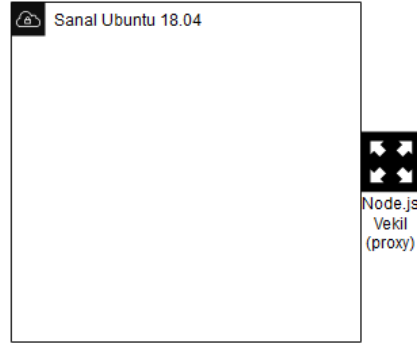
Sunucusuz Bilişim için en temelde gerekli bir donanım ve bu donanıma ait bir CPU, bellek, disk ve dışarıyla iletişimi için gerekli ağ ara birimleri bulunmalıdır.

AWS bu katmanda kendisine ait bir işletim sistemi olan Amazon Linux (AMI) kullanırken AMI'yı host olarak kabul eden konteyner çözümlerini; Azure ise bu katmanda seçimi kullanıcıya bırakarak, Windows, Linux ya da Linux tabanlı konteyner çözümlerini sunmaktadır. Bir önceki bölümde elde edilen performans verileri ise; bellek değeri otomatik olarak artan ve 130 MB civarında olan Windows çözümünün, 128 MB bellek ile AMI üzerinde oluşturulmuş sunucusuz fonksiyona göre daha hızlı çalıştığını göstermektedir.

Geliştirilen çözümde, bilişim katmanı Vmware teknolojisi ile sanallaştırılmış bir sanallaştırma katmanı üzerinde, Ubuntu 18.04 işletim sistemi, bu işletim sistemi dağıtımının minimum sistem gereksinimleri olan, 2 GHZ çift çekirdek işlemci, 2 GB bellek ve 25 GB boş hard disk ile bir VM olarak oluşturulmuştur.

Bu katman, sunucusuz mimarinin tanımında da yer alan, aslında bir sunucunun var oluşunu fakat geliştiricinin hiç düşünmediği, arka plandaki o sunucuyu temsil etmektedir.

Bu katmanın, üzerinde çalışacak fonksiyonları ve o fonksiyonların yönetimsel anlamdaki, CRUD (Create, Read, Update, Delete) işlemlerini yapılabilmesi için içerisinde bir istek kabul eden ve yönlendirebilen bir kapıya (port) ihtiyacı bulunmaktadır. Eğer kurumun kendine ait bir vekil sunucusu ya da HTTP URI bazlı yönlendirme yapabilen bir yük dağıtıcısı varsa bu sunucunun önüne konumlandırılabilir. Tasarlanan çözümde sunucunun dışarısında, Node.js tabanlı bir vekil sunucu konumlandırılmıştır. Şekil 12'de bu görselleştirilmiştir.

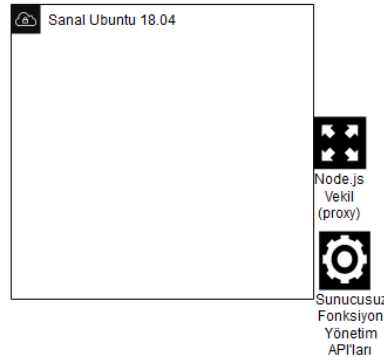


Şekil 12. Tasarlanan çözümün Node.js proxy'si ile gösterimi. (View of the designed solution with Node.js proxy.)

Node.js ile programlanan bu vekil web sunucusunun ana görevi, gelen HTTP isteklerini anlamlandırıp, isteği arkadaki Ubuntu sunucusuna yönlendirmek, dolayısıyla sanal Ubuntu sunucusunun üzerine konumlandırılacak fonksiyonlarla aradaki bağı kurmaktır.

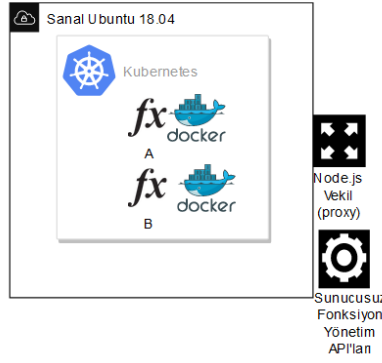
Bundan sonraki aşamada eklenecek bileşen ise, içeri koyulduğu varsayılan bir fonksiyonun yönetimsel amaçlı ihtiyaç duyacağı API katmanlarıdır. Geliştirici fonksiyonunu istediği zaman görüntüleyebilir, silebilir, yaratabilir veya güncelleyebilir. Bu CRUD işlemlerinin yapılabilmesi için bir API katmanı gerekmektedir. Bu API katmanı da aynı şekilde sunucunun üzerinde ya da dışarıda konumlandırılabilir. Eğer fonksiyonların tüm verileri, sunucusuz fonksiyonun çalışacağı sunucu üzerinde tutulacaksa içeride konumlandırılabilir. Tasarlanan çözümde, fonksiyonların yönetilmesi amaçlı kullanılacak API'lar sunucunun dışında başka bir çalışma ortamında konumlandırılmıştır. CRUD API'ları CouchDB üzerinde, Ubuntu sunucusunun dışında konumlandırılmıştır. Sunucusuz bir fonksiyonun hangi sunucuda çalışacağına da bu API katmanı karar verecek ve vekil sunucuda ilgili konfigürasyonu yaparak yönlendirme işlemini sağlayacaktır.

Şekil 13'de sunucusuz fonksiyonların yönetilmesi amaçlı kullanılacak olan, CRUD işlemlerini barındıran API katmanının, tasarlanan çözüme eklenmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 13. Tasarlanan çözüme yönetimsel API katmanının eklenmesi. (Adding the administrative API layer to the designed solution.)

Ubuntu sanal sunucusunun içerisine, Docker konteyner altyapısı ve o altyapının orkestrasyonu için ise Kubernetes kurulmuştur. Burada Kubernetes ve Docker tercih edilmesinin sebebi tamamen elde bulunan kaynağın kısıtlı olmasındandır. Eğer birden çok sunucu olsaydı, sunucularda hiçbir konteyner bileşeni kullanmadan, farklı dizinlerde çalışan Node.js ve Python çalışma ortamı ile fonksiyonları rahatça ayağa kaldırılabilirdi. Fakat Kubernetes ve Docker, belirli formattaki konfigürasyonları ile kolayca bir çalışma ortamı ayağa kaldırabilme yeteneğine sahip olduğundan tercih edilen çözüm bu ikili olmuştur. Kubernetes içindeki iki konteynere iki tane farklı Node.js fonksiyonu koyulmuştur. Şekil 14'te bu görselleştirilmiştir.



Şekil 14. Tasarlanan çözüme fonksiyonların eklenmesi. (Adding functions to the designed solution.)

İki farklı geliştiricinin A ve B fonksiyonlarını çalıştırabilmesi için, tasarlanan sunucusuz platforma ilettiği varsayıldığında, bu iki fonksiyonun da web üzerinden erişilebilmesi için fonksiyonların çalışacağı konteynerlerin her birinin bir porttan dinleme yapması ve porta gelen isteği bu fonksiyonlara iletebilmesi gerekmektedir. Tasarlanan çözümde basit şekilde, konteynerler içerisinde aşağıdaki Node.js kod bloğuyla iki farklı porttan dinleme yapılmış ve bu fonksiyonların çağrılmasını sağlanmıştır. Şekil 15’de A fonksiyonunun Node.js http sunucusu ile çağrılmasının örneği verilmiştir. İşaretili kısım A fonksiyonudur. B fonksiyonunu da farklı bir port ve farklı bir konteyner IP’si üzerinden açılmıştır. Buradaki işlem manuel değil, daha önce tasarlanan CRUD API’ları vasıtasıyla yapılmaktadır. Fonksiyon yaratma API’ı, ilgili port ve konteyneri Kubernetes üzerinden seçerek, ‘MerhabaDunya’ isimli A fonksiyonunun içinde olduğu Şekil 15’de gösterilen kod bloğunu ayağa kaldırır.

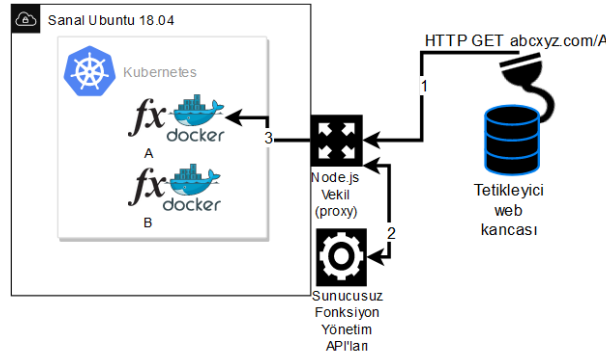
```

1  const http = require('http');
2
3  const hostname = 'docker_container1';
4  const port = 8080;
5
6  Function MerhabaDunya() {
7    return "Merhaba Dunya";
8  }
9
10 const server = http.createServer((req, res) => {
11   res.statusCode = 200;
12   res.setHeader("Content-Type", 'text/plain');
13   res.end(MerhabaDunya());
14 });
15
16 server.listen(port, hostname, () => {
17
18 });

```

Şekil 15. A fonksiyonunun dışarıdan erişilmesi için yazılan kod. (The code written to access the A function from the outside.)

Şekil 16’da, tasarlanan çözümdeki sunucusuz fonksiyon yönetim API’ları sayesinde, Ubuntu sunucusu üzerine konuşlandırılmış, geliştirici tarafından etkinleştirilmiş bir A ve B fonksiyonu ve bu fonksiyonları tetikleyecek web kancası gösterilmiştir. Web kancası (webhook), daha önce tasarlanan altyapıda var olan bir veri tabanı üzerine kancası takılı bir biçimde belirli bir tipteki kaydın veri tabanında yaratılmasını beklemektedir. Veri tabanına kayıt geldiğinde Web kancası tetikleme işlemini başlatacaktır. Tetikleme sonrası web kancasının yarrattığı HTTP isteği GET metodu ile 1 numaralı okta gösterilmiştir. İstek Node.js ile yazılmış vekil sunucusuna gelir (1). Hangi adresin hangi konteynere, hangi hosta yönlendirileceği API’ların bağlı olduğu veri tabanında tutulmaktadır. Proxy sunucusu API’lara isteğin nereye yönlendirileceğini sorar (2), API ise cevabında URI yönlendirmesine bakarak, URI dizinindeki /A yönlendirmesine istinaden A konteynerine yönlendirileceğini iletir. İstek tekrar Node.js vekil sunucusuna gelir ve vekil sunucu A fonksiyonunun gömülü olduğu A konteynerine, kancanın yaratmış olduğu isteği iletir (3).



Şekil 16. Tetikleyici vasıtasıyla A fonksiyonunun çağırılması. (Calling of function A via trigger.)

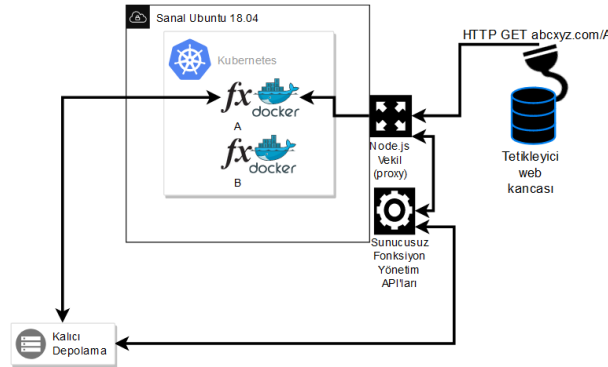
Böylelikle, fonksiyon A için yazılmış kod bloğu, geliştiricinin nerede çalıştığını hiç göz önünde bulundurmadan, yani sunucusuz mimari kavramına uygun bir şekilde çalışmış olur. Sunucusuz mimari hizmeti verecek bir kurumun, basit bir şekilde inşa edebileceği yapı bu şekilde, temel olarak tasarlanabilir. Burada Kubernetes gibi bir konteyner orkestrasyon aracı kullanmak, birçok çalışma ortamını da hızlıca entegre edebilmeyi sağlar. Yazılımcı, bu işlem sonunda, sunucusuz mimari için yazılmış olan CRUD API'ları ile, kendi fonksiyonunu, sadece ilgili fonksiyona ait kod bloğunu ileterek hızlıca altyapı içerisindeki LAN (Local Area Network) ortamına açacaktır. Buradaki çalışma ortamı platformları, kurumun yazılım geliştirme politikalarına göre genişletildiğinde, örneğin Python, Dotnet Core, ruby vb. platformlarla genişletildiğinde çok daha çeşitli mimarilerle dallanabilir.

4.1.2. Stabilitate ve Ölçeklendirme Katmanı (Stability and Scaling Layer)

Şekil 16'daki gibi bir mimari elde edildiğinde, sunucusuz mimari içerisinde basit ve temel bir FaaS hizmeti verilebilmiş olmaktadır. Bu mimari, kurumun geneline yayılmak istendiğinde ve üretim ortamına da açılmak istendiğinde iki önemli başlık göz önünde bulundurulmalıdır.

Bunlardan birincisi stablitedir. Eğer inşa edilecek sunucusuz platform sık sık hata alıp kapanırsa veya performans açısından sorunlar yaratarak, sunucusuz mimari üzerindeki işletim bileşenlerinin bellekleri şişerse bu tür bir işletim kurumun mevcut altyapıdan geriye gitmesine neden olacaktır.

Stabilitenin önemli başlıklarından bir diğeri de veri kaybının yaşanmamasıdır. Örneğin bir X fonksiyonu, web kancası aracılığıyla tetiklendiğinde, fonksiyonun kodlarının, varsa dışarıdan tüketilecek başka bir API'a ait anahtarların ve fonksiyona ait konfigürasyonların kalıcı olarak tutulması gereken bir depolama alanına ihtiyacı olacaktır. Aynı şekilde yönetim API'larının da kullanacağı ana veri kaynağı bu veri deposu olabilir. Sektörde Amazon'un Dynamo DB'si, MongoDB, CosmosDB gibi veritabanı sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 17'de kalıcı depolama alanının mimariye entegrasyonu gösterilmiştir. Tasarlanan çözümde kalıcı depolama alanı ayrı bir sunucuda kurulu CouchDB ürünü olarak belirlenmiştir. Tasarım temel prensiplerle resmedildiğinden tasarım için gerekli ihtiyaçları karşılamaktadır.



Şekil 17. Tasarıma kalıcı bir depolama alanının eklenmesi. (Adding a permanent storage to the design.)

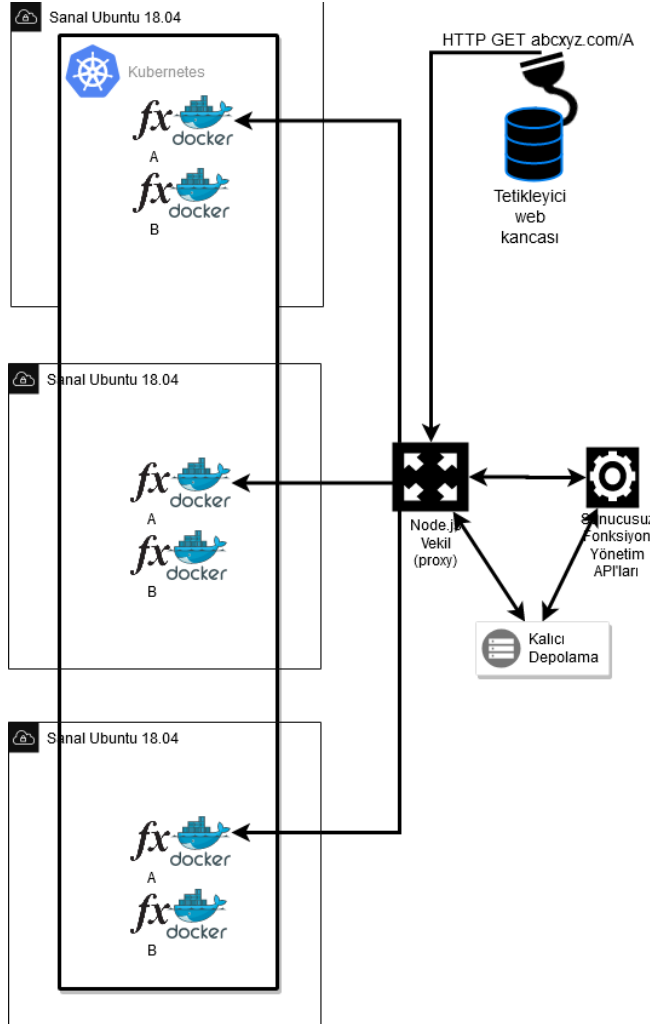
Geliştirici, kodu içerisinde bazı verileri veri tabanına atmak isteyebilir. Fakat geliştirici verisinin hangi veri tabanında tutulduğunu bilmez, çünkü o hizmetler sunucusuz mimari içinde mevcuttur. Yazılımcı fonksiyonu ilettiğinde, veri deposuna, sunucusuz mimari platformunun sağladığı kütüphanelerle erişecektir. Bu kütüphanelere ait kodlar da bu kalıcı depolama alanında muhafaza edilerek, konteynerin içerisinde ihtiyaç

duyduğu anlarda kullanılacaktır. Şekil 18'de, örnek olarak A fonksiyonu geliştiricisinin, kendi uygulaması için, dışarıdan kullanacağı bir adresi, kalıcı depolama alanı olan CouchDB'ye atma yöntemi gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, kalıcı depolama alanına './couchdb' şeklinde erişilmektedir. Yazılımcıya bu erişimi sağlayacak olan merkezi sunucusuz mimari kütüphaneleridir. Örneğin Amazon ve Microsoft bu erişimleri SDK haline getirmiştir ve bu şekilde paylaşmıştır. Tasarlanan çözümde, couchDB'nin varsayılan kütüphaneleri ile bu gereksinim sağlanmıştır.

```
var endpoints = require('../couchdb').use('endpointsForFunctionA');
exports.create = function create(endpoints) {
  endpoints.insert(endpointName, endpointAddress);
};
```

Şekil 18. A fonksiyonuna tanımlı endpoint verilerine yenisinin eklenmesi. (Adding new endpoint data defined to A function.)

İkinci önemli konu ise, sunucusuz mimarinin ihtiyaca göre yatayda ya da dikeyde ölçeklendirilebilmesidir. Ölçeklendirme temelde dikey ve yatay olarak iki yolla yapılabilir. Dikey ölçeklendirme, Kubernetes içerisindeki konteynerleri çoklayarak hızlıca yapılabilir. Tasarlanan çözümde bu büyüme için Kubernetes'in autoscale mekanizması kullanılmıştır. Büyük bulut sağlayıcıları bunu saniyeler içerisinde gerçekleştirebilmektedir. Ölçeklendirme artı yönde büyüme ya da eksi yönde daralma anlamlarını içerebilir. Sunucusuz mimari platformu içerisine koyulan fonksiyonun, bazı zaman aralıklarında çok fazla istek almasından kaynaklı ekstra bellek kaynağına, ekstra Node.js konteynerine ihtiyacı olabilir. Bu anlarda uygulamanın yatayda büyümesi gerekebilir. Yatayda büyümek, dikeyde büyümeye oranla daha fazla zaman ve finansal maliyet gerektirecektir. Bu nedenle yatayda büyümeye önce Kubernetes'in performansı izlenmeli ve bu verilere göre karar verilmelidir, Eğer ki ekstra bir sanal sunucuya ihtiyaç varsa, bunu sanallaştırma katmanı üzerindeki sanallaştırma katmanı API'ları ile, mevcut sunucuya ek sunucu eklenerek çözülebilir. Tasarlanan çözümde Vmware kullanıldığı için dikey büyüme ihtiyacı VMware API'ları aracılığıyla, Ubuntu host'unu çoklayarak yönetilmiştir. İlk sunucu Kubernetes master olarak kalırken, diğer sunucular Kubernetes node'ları olarak kalmıştır. Böylelikle Şekil 19'daki gibi bir mimari elde edilmiştir.



Şekil 19. Tasarlanan çözümün yatay büyüme ile ölçeklendirilmesi. (Scaling the designed solution with horizontal growth.)

Ölçeklendirme politikası, uygulamadan uygulamaya değişkenlik göstereceğinden, genel bir politika ile yönetilmesi, uygulamaların istedikleri ölçeklendirmeye erişememelerini ya da az örnekleme ile çalışacak uygulamanın, politika gereği çok fazla örnekleme (instance) elde ederek fazladan kaynak tüketmesine neden olabilir. Fonksiyonların yönetilecek olduğu API katmanında, yeni bir fonksiyon eklenmesi isteği sırasında mutlaka ölçeklendirme parametreleri de istemelidir. Bu parametrelere göre hem Kubernetes içindeki AutoScale yönetimi hem de sanallaştırma katmanı yönetimiyle, dikey ya da yatay şekilde büyümeyi gerçekleştirebilir.

4.1.3. Geliştirilen Sunucusuz Mimari Çözümünün Performans Testi (Performance Test of Developed Serverless Architecture Solution)

Tasarlanan mimarinin performansını ölçmek amacıyla sunucusuz altyapı mimarisi üzerinde, 'sunucusuz' bir uygulama oluşturulmuştur. Uygulamanın içine de Şekil 20'de gösterilmiş olan kod bloğu yerleştirilmiştir. Bu kod Node.js 12.0.x ile yazılmış bir fonksiyondur. Bu fonksiyon için 128 MB bellek ayrılmış ve 2dk boyunca her saniye 100 sanal kullanıcının yük vermesi sağlanmıştır. Bu süre zarfında toplam 2447 oturum oluşmuştur.

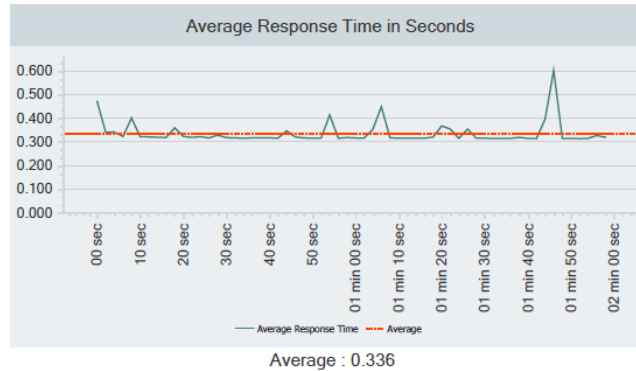
```

1
2 function MerhabaDunya() {
3   return "Merhaba Dünya";
4 }

```

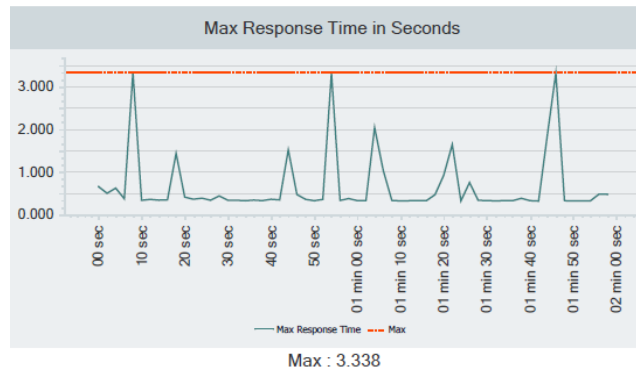
Şekil 20. Tasarlanan çözümün performansını ölçmek amaçlı kullanılan kod. (The code used to measure the performance of the designed solution.)

Şekil 21'de ise isteklere verilen ortalama cevap süresi saniye cinsinden yer almaktadır. İlk oturum, tasarlanan mimari üzerindeki konteynerin ayağa kalkmasının ardından başladığından 0,5 saniye civarındadır fakat sonrasında 2447 oturuma ortalama 0.336 saniyede cevap verebilmiştir. Yeşil çizgi Ortalama cevap süresini, kırmızı ise genel ortalamaya etkisini göstermektedir.



Şekil 21. Tasarıma ait performans testinin ortalama cevap süresi grafiği. (Average response time graph of the performance test of the design.)

Şekil 22'de maksimum cevap süreleri saniye cinsinden gösterilmektedir. Tasarlanan mimaride belirli periyotlarda cevap süreleri yükselmektedir. 2 dakikalık test boyunca maksimum cevap süresi 3.338 saniyedir. Yeşil çizgi maksimum cevap sürelerini kırmızı ise maksimum değeri işaretlemektedir.



Şekil 22. Tasarıma ait performans testinin maksimum cevap süresi grafiği. (Maximum response time graph of the performance test of the design.)

4.1.3. Geliştirilen Sunucusuz Bilişim Mimarisi Çözümünün Performans Testinin Sağlayıcılarla Kıyaslanması (Performance Test Comparison of Developed Serverless Architecture Solution and Popular Cloud Providers)

Çalışma kapsamında, iki popüler bulut sağlayıcısı ile tasarlanan çözümün performansları, aynı özelliklerle yapılan performans test kriterleriyle ölçülmüştür. Cevap yükleri hepsinde aynı şekilde ve aynı formatta planlanmıştır. Fonksiyonların kod içeriği de hemen hemen aynıdır. Burada temel fark, Amazon ve Azure platformlarının yazılım geliştiricilere sunduğu geliştirme platformun farkından meydana gelmektedir.

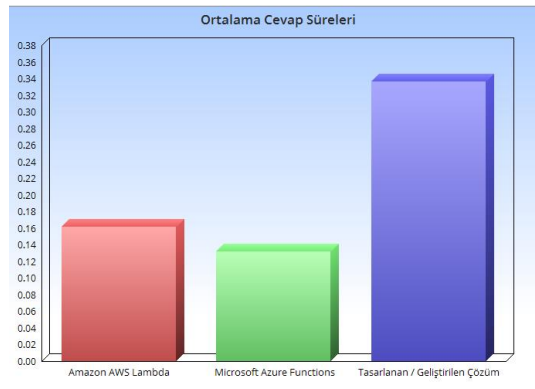
Testlerin koştugu sunucuların fiziksel lokasyonlarının belirlenmesinde 3 test için de aynı yer seçilmiş ve testi yapan ajanların, bellek, işlemci, ağ kaynakları eşit tutulmuş, kullanılan ajanlar birbirlerinin klonları şeklinde görev almıştır.

Testlerin yapıldığı fiziksel lokasyonlar ve fonksiyonların bulunduğu yerler Şekil 23'de gösterilmiştir. Kırmızı işaret Amazon'daki test edilen fonksiyonun bulunduğu veri merkezi olan IOWA'yı, mavi Azure'daki fonksiyonun fiziksel lokasyonu olan North Virginia'yı, yeşil tasarlanan ve geliştirilen çözümün Ubuntu sunucusunun bulunduğu yer olan İstanbul'u, Sarı işaret de testi yapan sunucunun bulunduğu fiziksel lokasyon olan Minnesota'yı göstermektedir. Tasarlanan ve geliştirilen çözüme ait sunucusuz mimari, testin yapıldığı yere, diğer sağlayıcılara oranla daha uzaktır. Bu nedenle 'ağ gecikmesi' kavramı burada göz önünde bulundurulmalıdır.



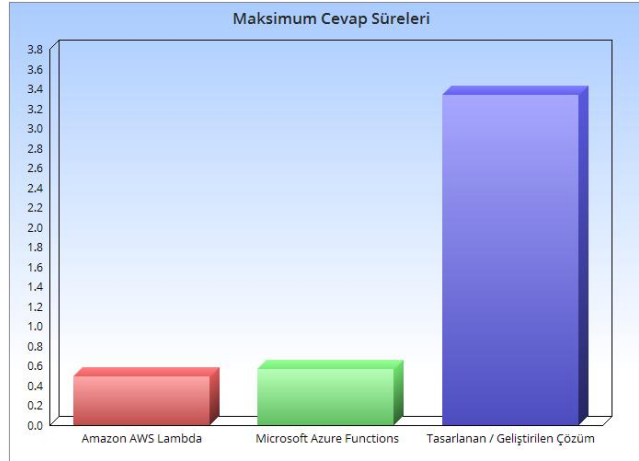
Şekil 23. Yapılan performans testlerinin fiziksel lokasyonları. (Physical locations of the performance tests performed.)

Şekil 24'de ortalama cevap süreleri grafikleştirilmiştir. Aynı test süresi içerisinde en kısa sürede cevabı Azure verirken, ona çok yakın bir değerle Amazon ikinci sırada yer almıştır. Tasarlanan çözümde ise bu süre hemen hemen Amazon'un iki katı, Azure'un üç katı civarındadır.



Şekil 24. Sağlayıcılar ve tasarlanan çözümün ortalama cevap süresi grafiği. (Average response time graph of the providers and the designed solution.)

Şekil 25'de maksimum cevap süreleri gösterilmiştir. Maksimum cevap süresinde Azure en düşük değerle, en hızlı şekilde cevap verebilen sunucusuz platform olmuştur. Amazon ikinci sırada, tasarlanan çözüm ise son sıradadır. Bu grafik açık bir şekilde tasarlanan çözümde performans iyileştirmeleri yapılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 25. Sağlayıcı ve tasarlanan çözümün maksimum cevap süresi grafiği. (Maximum response time graph of the providers and the designed solution.)

Yapılan performans testine ait diğer tüm veriler karşılaştırmalı olarak Şekil 26'da gösterilmiştir.

Çözüm Adı	Amazon AWS Lambda	Microsoft Azure Functions	Tasarlanan / Geliştirilen Çözüm
Hata alan istek sayısı	0	0	0
Standart sapma - Varyans	0.0249	0.0431	0.162
Ortalama cevap süresi (sn)	0.1618	0.1323	0.336
Maksimum Bekleme Süresi (sn)	0.49	0.568	3.338
Toplam Oturum Sayısı	2531	2548	2447
Hata Alan Oturum Sayısı	0	0	0
Başarılı Oturum Sayısı	2531	2548	2447
Bir saniyedeki maksimum kullanıcı sayısı	100	100	100
Test Süresi (saat:dakika:saniye)	0:02:11	0:02:11	0:02:11
İşletim Sistemi Teknolojisi	Linux Konteyner	Windows	Linux Konteyner
Fonksiyonun Fiziksel Lokasyonu	IOWA	Kuzey Virjina	İstanbul
Test Lokasyonu	Minnesota/Amerika	Minnesota/Amerika	Minnesota/Amerika
Test Tarihi	07.06.2020	07.06.2020	12.06.2020

Şekil 26. Sağlayıcı ve tasarlanan çözümün performans testinin karşılaştırmalı verileri. (Comparative performance test data of the providers and designed solution.)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Değerlendirme ve kıyaslamalar göstermektedir ki, tasarlanacak olan sunucusuz platformda en çok efor gerektirecek konulardan biri performanstır. Eğer tasarlanacak olan sistemde performans açısından mevcut sisteme oranla bir yavaşlık olursa, bu sistem yalnızca geliştirme zamanından kazandıracağı için çok faydalı olmayacaktır. Geliştirme zamanı önemli bir konudur fakat asıl önemli olan uygulamanın üretim ortamında göstereceği performans ve son kullanıcı memnuniyeti olduğundan, sunucusuz mimari platformu tasarımında performans önemli bir kalem olarak ele alınmalıdır.

Çalışmalardan edinilen bilgilere göre, sunucusuz mimari hizmeti veren sağlayıcılar, çok fazla programlama diliyle entegre olabilmektedir. Tasarlanan yapıda ise yalnızca Node.js dili ve ona ait tek bir platform (12.0.x) desteklenmektedir.

Tasarlanan mimaride herhangi bir kimlik ve erişim yönetimi sistemi IAM (Identity and Access Management) bulunmamaktadır. Bu nedenle de fonksiyonların erişim adresleri, eğer yanlış bir şekilde configure edilirse, servisi tüketmesi gereken uygulamaların yerine başka uygulamaların da aynı servisi tüketmesi sonuçları meydana gelebilir. Uygulama erişim kullanıcılarının ve erişim yetkilerinin merkezi bir sistemde tutulması ve mimari içerisinde ayağa kalkacak fonksiyonun bu yetkilere bakarak işlemleri kabul etmesi, güvenlik açısından önemli bir maddedir.

Tasarlanan mimaride tetikleyici olarak yalnızca web kancası kullanılmıştır. Tetikleyici türleri, bazı dış hizmetlerin tetikleyicilerini veya bir API yönetim aracını da tetikleyici olarak kullanarak genişletilebilir. Bu genişleme sunucusuz mimarinin kullanım senaryolarını da arttıracaktır.

Tasarlanan mimaride tek bir istekte çalışacak maksimum süre ile ilgili bir zaman aşımı değeri koyulmamıştır. AWS bu değeri 900 saniye olarak belirlerken Microsoft bu değeri 600 saniye olarak belirlemiştir. Bu değerın limitsiz olması bütün fonksiyonların buldukları Pod'lar ya da konteynerler içerisinde şişmelerine neden olacağı için bu limit mutlaka sunucusuz mimari bileşenleri içerisinde koyulmalıdır.

Diğer koyulması gereken bir limit ise eş zamanlı çalıştırılma limitidir. Eğer bir fonksiyon eş zamanlı olarak sonsuz istek kabul etmek zorunda kalırsa bu da aynı şekilde bütün sistemin yorulmasına ve hizmet verememesi anlamına gelebilecektir. AWS bu değeri 1000 paralel çalıştırma limiti ile sınırlandırırken, Microsoft tetikleyici türüne göre kimi zaman limitsiz kimi zaman ise tetikleyicinin verdiği limitlere göre sınırlandırmıştır. Tasarlanan mimaride, tetikleyici olarak web kancası kullanıldığı için bu limitin detaylı performans testlerine göre belirlenerek atanması gerekmektedir.

Sunucusuz mimari içerisine fonksiyon geliştirecek yazılım ekiplerinin, geliştirdikleri kodu nasıl yaygınlaştıracakları da önemli bir maddedir. AWS hem sıkıştırılmış format türü olan zip yüklemelerini hem de AWS önyüzü içerisindeki kod düzenleme sayfalarıyla, geliştirilen kodu yaygınlaştırmaktadır. Aynı şekilde AWS'nin eklentileri ile birçok yaygınlaşma ürününe entegrasyon kolaylıkla sağlanabilir. Microsoft ise direkt git kod deposu üzerinden, kendi geliştirme aracı olan Visual Studio üzerinden, yine kendi depolama aracı olan OneDrive üzerinden ve ZIP şeklinde tüm yaygınlaştırmaları kabul etmektedir. Aynı şekilde önyüzünde de bir kod düzenleme sayfası bulunmaktadır. Azure platformunun da birçok yaygınlaştırma aracıyla entegrasyon eklentileri bulunmaktadır. Tasarlanan yapıda kod geliştirmeleri aşamasında bir çözüm sunulmamış fakat yaygınlaşma için CRUD API'ları tasarımda yer almıştır. Bu çalışmada tasarlanan mimarinin, ve yapılan analizlerin yerinde bir veri merkezi, altyapısı olan kurumların kendi sunucusuz mimarisini yapması konusunda temel bir biçimde ışık tutması beklenmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Bebortta S, Das K, Kandpal M, Barik K, Dubey H., 2020. Geospatial Serverless Computing: Architectures, Tools and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(5), 311.
- Eismann S, Scheuner J, Van Eyk E, Schwinger M, Grohmann J, Herbst N, Abad C, Losup A., 2020. Serverless Applications: Why, When, and How?. *IEEE Software*, doi: 10.1109/MS.2020.3023302.
- Gartner. 2019. Google Cloud gains in Gartner's 2019 cloud infrastructure Magic Quadrant. <https://www.zdnet.com/article/google-cloud-gains-in-gartners-2019-cloud-infrastructure-magic-quadrant/> (Erişim Tarihi: 29.09.2020).
- Ghaemi S, Khazaei H, Musilek P. ChainFaaS, 2020. An open blockchain-based serverless platform. *IEEE Access*, 8, 131760-131778.
- Gimenez-Alventosa V, Molto G, Caballer M., 2019. A framework and a performance assessment for serverless MapReduce on AWS Lambda. *Future Generation Computer Systems*, 97, 259-274.
- Gupta V, Kadhe S, Courtade T, Mahoney W, Ramchandran K., 2019. Oversketching newton: Fast convex optimization for serverless systems. *arXiv preprint*, 1903.08857.
- Jain P, Munjal Y, Gera J, Gupta P., 2020. Performance Analysis of Various Server Hosting Techniques. *Procedia Computer Science*, 173, 70-77.
- Li J, Kulkarni G, Ramakrishnan K, Li D., 2019. Understanding open source serverless platforms: Design considerations and performance. *Proceedings of the 5th International Workshop on Serverless Computing*, December 2019, 37-42.
- Manner J, Kolb S, Wirtz G., 2019. Troubleshooting Serverless functions: a combined monitoring and debugging approach. *SICS Software-Intensive Cyber-Physical Systems*, 34(2-3), 99-104.
- McGrath J., 2017. Serverless Computing: Applications, Implementation, and Performance. MSc Thesis, University of Notre Dame, Indiana, USA.
- Mustafa Yıldırım, 2015. Bulut Bilişim. <http://www.yildirimmustafa.com/2015/06/bulut-bilisim/> (Erişim Tarihi: 29.07.2020).
- Nabeel A., 2019. Orchestration and Management of Application Functions over Virtualized Cloud Infrastructures. Ph.D. Thesis, Boston University, Boston, USA.
- Perez A, Molto G, Caballer M, Calatrava A., 2018. Serverless computing for container-based architectures. *Future Generation Computer Systems*, 20(1), 50-59.
- Sarkar S, Wankar R, Srirama N, Suryadevara K., 2019. Serverless management of sensing systems for fog computing framework. *IEEE Sensors Journal*, 20(3), 1564-1572.
- Schleier-Smith J, Holz L, Pemberton N, Hellerstein M., 2020. A FaaS File System for Serverless Computing. *arXiv preprint arXiv:2009.09845*.
- Singhvi A, Houck K, Balasubramanian A, Shaikh D, Venkataraman S, Akella., 2019. A. Archipelago: A Scalable Low-Latency Serverless Platform. *arXiv preprint arXiv:1911.09849*.
- Soltani B, Ghenai A, Zeghiba N., 2018. Containerized Serverless Architecture in Multi Cloud Environment. *Procedia Computer Science*, 134, 121-128.
- Sreekanti V, Subbaraj H, Wu C, Gonzalez E, Hellerstein M., 2020. Optimizing Prediction Serving on Low-Latency Serverless Dataflow. *arXiv preprint arXiv:2007.05832*.



COVID-19 HASTALIĞININ TEŞHİSİNDE DERİN ÖĞRENME VE VERİ MAHREMİYETİ

Yavuz CANBAY^{1*}, Abdullah İSMETOĞLU², Pelin CANBAY³

^{1,3} Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Öz

Yapay Zekâ,
Derin Öğrenme,
Veri Mahremiyeti,
Covid-19,
Araştırma.

Covid-19 hastalığı, ortaya çıktığı günden bugüne birçok can kaybına yol açmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından pandemi olarak ilan edilen bu hastalığa yakalanan kişilerde ciddi akciğer tahribatları oluşabilmektedir. Hekimlerin bu hastalığın teşhisinde akciğer özelinde çekilen bilgisayarlı tomografi (Computed Tomography - CT) ve X-Ray (Chest X-Ray - CXR) görüntülerini inceleyerek teşhis koydukları bilinmektedir. Bu CXR görüntülerinin çekildiği anda enfekte olduğu değerlendirilen kişilere hekim kontrolü öncesi yapılacak bir erken teşhis ile koruyucu önlemler hızlıca alınabilir ve hekimlerin hastalığı teşhis süreçleri kısaltılabilir. Diğer birçok hastalığın teşhisinde başarılı sonuçlar üreten yapay zekâ yöntemlerinin, Covid-19 hastalığında da başarılı sonuçlar ürettiği güncel çalışmalarda görülebilmektedir. Elde edilen başarılı sonuçların yanında, kullanılan sağlık verileri kişisel veri sınıfına girdiği için bu verilerin işlenmesinde ve analiz edilmesinde mahremiyet koruyucu önlemlere ihtiyaç olduğu açıktır. Gerek Kişisel Verileri Koruma Kanunu (KVKK) gerekse de Genel Veri Koruma Tüzüğü (General Data Protection Rule - GDPR), bu tür verilerin işlenmesinde mahremiyetin korunmasına özen gösterilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Covid-19 hastalığını tespit eden yapay zekâ odaklı çalışmalar incelenmiş, kullanılan açık veri kümeleri sunulmuş, Covid-19 hastalığının tespitinde mahremiyeti dikkate alan çalışmalar gözden geçirilerek genel değerlendirmelerde bulunulmuştur.

DEEP LEARNING AND DATA PRIVACY IN DIAGNOSIS OF COVID-19

Keywords

Artificial Intelligence,
Deep Learning,
Data Privacy,
Covid-19,
Review.

Abstract

Covid-19 disease has caused many mortalities since the day it emerged. People who suffer from this disease, which is announced as a pandemic by World Health Organization (WHO), are more likely to have serious lung damages. It is known that physicians diagnose this disease by examining computed tomography (CT) and X-Ray (Chest X-Ray - CXR) images of the lung. At the moment these CXR images are taken, preventive measures can be taken quickly with an early diagnosis before physician control the people who are considered to be infected, and in addition, physicians' diagnosis processes can be shortened. It can be seen from the literature that artificial intelligence methods have produced successful results in the diagnosis of Covid-19 disease. Besides the successful results, it is a fact that since the health data is classified as personal data, privacy preserving measures are required in the processing and analysis of these data. Both Personal Data Protection Law and General Data Protection Rule (GDPR) reveal the need to focus on preserving privacy in the processing of these data. In this study, studies focusing on artificial intelligence to detect Covid-19 disease were examined, the open data sets used in the literature were presented, studies considering privacy in the detection of Covid-19 were investigated and general evaluations were presented.

Alıntı / Cite

Canbay, Y., İsmetoğlu A., Canbay, P., (2021). Covid-19 Hastalığının Teşhisinde Derin Öğrenme ve Veri Mahremiyeti, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(2), 701-715.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Canbay, 0000-0003-2316-7893
A. İsmetoğlu, 0000-0002-4291-6450
P. Canbay, 0000-0002-8067-3365

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.01.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.03.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.04.2021
Yayın Tarihi / Published Date	20.06.2021

* İlgili yazar / Corresponding author, yavuzcanbay@ksu.edu.tr, +90-344-300-1705

1. Giriş (Introduction)

Covid-19, insanlara ve hayvanlara bulaşabilen, patojeni olan tek sarmallı bir RNA virüsü olup, 2019 yılında Çin'in Wuhan kentinden dünyaya yayılarak bir pandemi haline gelmiştir (Akkuş, 2020). Bu hastalığın tespitinde PCR testleri kullanılmakla beraber, hekimler ek olarak CT ve CXR grafikleri de isteyerek teşhis koyabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre Covid-19 hastalığında vaka sayısı dünya çapında 120 milyonu geçmiştir ve halen yayılmaya devam etmektedir (World Health Organization, 2021). Söz konusu hastalığın tespitinde kullanılan PCR testlerinin maliyetli olması, bu testlerin sonuçlarının uzun sürede çıkması ve bundan dolayı hekimlerin tedavi aşamalarına kısa sürede başlayamamasından dolayı, hastalığın tespitinde bu süreci iyileştirecek zeki sistemlerin kullanılması kaçınılmaz olmuştur (Narin vd., 2020).

Yapay zekâ yöntemleri, özellikle derin öğrenme algoritmaları son yıllarda sağlık alanında önemli çözümler sunan bir teknoloji haline gelmiştir. Dünyada çoğu hastalığın tespitinde yapay zekâ yöntemlerinden faydalanılmaktadır (Karaküçük ve Eker, 2020). Covid-19 hastalığının teşhisinde de yapay zekâ yöntemlerinin kullanıldığı literatürdeki çeşitli çalışmalarda görülmektedir. Derin öğrenme algoritmaları ile geliştirilmiş birçok başarılı sistem Covid-19 hastalığı ile mücadele sürecinde faydalı olacaktır fakat bu sistemlerin ilgili hastaların mahremiyetini de dikkate alması gerektiği de sürecin bir diğer önemli boyutudur.

Mahremiyet, günümüzde kanunlarla koruma altına alınan temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle, teknolojinin hızlı bir şekilde gelişerek her alanda varlığını gösterdiği bu dönemde birçok siber saldırıya maruz kalan insanların mahremiyetinin korunması, insanların gerçek ve sanal ortamlarda birey olabilmeye hakkı olarak tanımlanabilir (Canbay vd., 2020). Veri mahremiyeti, toplanan verilerin sistem içerisinde veri sorumluları tarafından hukuka ve etik kurallara uygun olarak işlenmesi ve korunmasıdır (Vural, 2018).

Günlük yaşamımızın ayrılmaz parçası olan bilişim teknolojileri, uygulamalar aracılığıyla her geçen gün büyüklüğü ve çeşitliliği artan veriler toplamakta ve işlenmektedir. Toplanma amaçları farklı olsa da bu veriler içerisinde kişileri doğrudan veya dolaylı olarak tanımlayabilen çeşitli bilgileri içerebilir. Kişisel verilerin işlenmesinde olması gereken idari ve teknik tedbirlerin alınmaması veri ihlallerinin sıkça yaşanmasına neden olmaktadır. Veri ihlallerinin zararlarının azaltılması amacıyla mahremiyet koruyucu önlemlerin alınması gerekir. Veri mahremiyeti, veri sahibi ile bu veriyi kullanacak olan paydaşlar arasında verinin nasıl saklanacağı, nerde kullanılacağı ve kimlerle ne düzeyde paylaşılacağı arasında denge kurmaya çalışan önemli bir konudur.

Veri mahremiyeti veri sahibinin mahremiyetini korumada yardımcı olsa da, aynı zamanda, verinin fayda sağlama avantajını da sağlar (Canbay vd., 2020). Mahremiyet odaklı veri ihlallerinin en aza indirgenmesi amacıyla mevcut saldırıların ve eksikliklerin tespit edilmesine ve yeni mahremiyet koruyucu modellere ihtiyaç vardır. Veri mahremiyetinin korunmasına yönelik çalışmalar yapılarak kişisel verilerin kanunlara uygun olarak işlenmesindeki uyumsuzlukların giderilmesi, kişisel verilerin korunması açısından önemlidir (Vural, 2018).

Kişisel Verileri Koruma Kurumu, yayınlamış olduğu kamuoyu duyurusunda, kişisel verilerin pandemi durumunda da hukuka uygun ve temel ilkeler esas alınarak işlenmesi gerektiğine ve veri güvenliğine yönelik gerekli idari ve teknik tedbirlerin alınmasının gerektiğine değinmiştir (Kişisel Verileri Koruma Kurumu, 2020). Bu duyuruda, veri toplayıcıların veya sorumlularının bir kişisel veri olan hastalık ile ilgili verileri paylaşırken hastanın mahremiyetini de dikkate alarak paylaşması gerektiği, aksi takdirde gerekli her türlü idari ve cezai yaptırımların yapılacağı açıkça ifade edilmiştir. Ancak bilgi toplumunda cezalar dâhil tüm yaptırımlar, mahremiyet ihlallerinin tamamının önüne geçememektedir. Gerek veri paylaşımı gerekse de verilerin analiz edilmesi hususunda, Covid-19 verilerinin sahiplerinin mahremiyetini korumak önemli bir problemdir. Covid-19 hastalarına ait CT ve CXR görüntüleri kişisel veri olduğu için bu verilerin analiz edilmesi aşamasında veri mahremiyetinin sağlanması gerekmektedir. Özellikle son zamanlarda CT ve CXR görüntülerinden Covid-19 tespiti yapılan çalışmalar analiz edildiğinde, veri mahremiyeti hususuna gerekli önemin verilmediği görülmüştür.

Bu çalışmada, Covid-19 hastalığının tespitinde yapay zekâ yöntemlerinden derin öğrenme yaklaşımlarını kullanan çalışmalar irdelenmiş, literatürde bu alanda kullanılan veri kümeleri gözden geçirilmiş, bu hastalığının tespitinde veri mahremiyetini dikkate alan çalışmalar derlenerek mevcut durum analizi yapılmıştır.

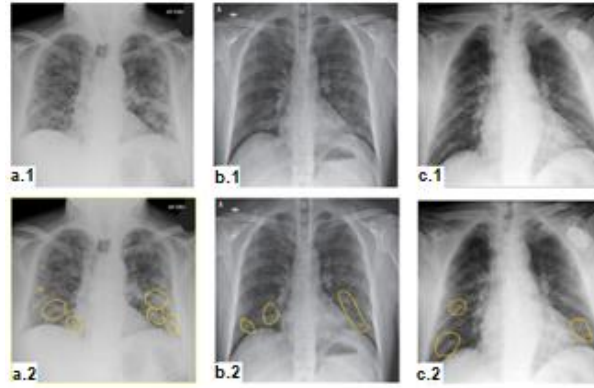
Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2'de konu kapsamında ilgili çeşitli tanımlara yer verilmiştir. Bölüm 3'de detaylı literatür incelemesi yapılarak bu alandaki çalışmalar gözden geçirilmiştir. Bölüm 4'te bu çalışma kapsamında elde edilen araştırma bulgularına yer verilmiştir. Son olarak Bölüm 5'te ise çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. Tanımlar (Definitions)

Bu bölümde, Covid-19 hastalığı, yapay zekâ, derin öğrenme ve veri mahremiyeti kavramları için tanımlar sunulmuştur.

2.1 Covid-19 Hastalığı (Covid-19 Disease)

Covid-19 hastalığı, 2019 yılında Çin'in Wuhan kentinde başlamış olup bugün DSÖ tarafından pandemi olarak kabul edilmiştir. Covid-19 virüsü, insanlara ve hayvanlara bulaşabilen, patojeni olan tek sarmallı bir RNA virüsüdür. Toplam vaka sayısı tüm dünyada 120 milyonu geçmiş ve ülkemizde ise 2,9 milyon rakamını aşmış olup halen hızlı bir şekilde artmaya da devam etmektedir. Covid-19 hastalığı sebebiyle hayatını kaybedenlerin sayısı ise dünyada 2.5 milyonu geçmiş olup ülkemizde otuz bin rakamına ulaşmıştır (World Health Organization, 2021). Covid-19 virüsü solunum yoluyla insan vücuduna girerek kişinin akciğerinde kalıcı hasarlar bırakabilmektedir. Şekil 1'de Covid-19 hastası 3 kişi için çekilen CXR görüntüleri verilmiştir. Daire içine alınan kısımlar Covid-19 virüsünün sebep olduğu akciğerdeki tahribatları göstermektedir.

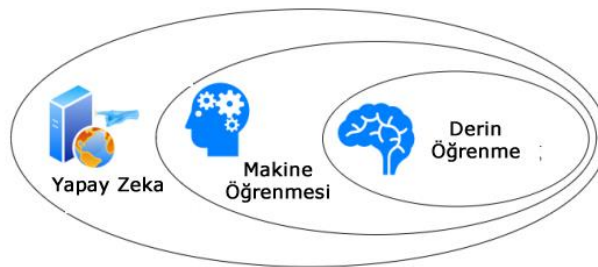


Şekil 1. Üç farklı hastadan Covid-19 için çekilen CXR görüntüleri (CXR images taken from three different Covid-19 patients) (Minaee vd., 2020)

Covid-19 hastalık teşhisinde patojenik laboratuvar testleri vazgeçilmez bir standart olmasına rağmen test sonuçları ciddi zaman almaktadır. Bu nedenle, hastalığın hızlıca tespiti için yapay zekâ destekli sistemlere ihtiyaç vardır. CT ve CXR görüntülerindeki Covid-19 temelli radyografik değişikliklere dayanarak, yapay zekânın derin öğrenme yöntemlerinin Covid-19'un spesifik grafik özelliklerini çıkarabileceğini, patojenik testten önce klinik bir tanı sağlayabileceğini ve böylece hastalığın kontrolü için kritik bir öneme sahip olan zamandan tasarruf edilebileceği değerlendirilmektedir.

2.2 Derin Öğrenme (Deep Learning)

Yapay zekâ literatürde genel olarak, insan zekâsının çalışma yapısını bilgisayarlara aktararak bilgisayarların insana özgü davranışlarından olan, sonuç çıkarma, çözüm bulma, genelleme yapabilme, problemi anlama ve geçmişteki deneyimlerinden yararlanarak öğrenme gibi mantık gerektiren görevlerini yerine getirme kabiliyeti olarak tanımlanmıştır (Nabiyev, 2012). Yapay zekâ, bilgisayar sisteminde insan zekâsını kopyalamaya veya taklit etmeye çalışan bir bilim dalıdır. Şekil 2'den de görüleceği üzere, yapay zekâ genel olarak makine öğrenmesi ve derin öğrenme alt alanlarını içermektedir.



Şekil 2. Yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme bağlantısı (The relationship between artificial intelligence, machine learning and deep learning) (Alafi, 2019)

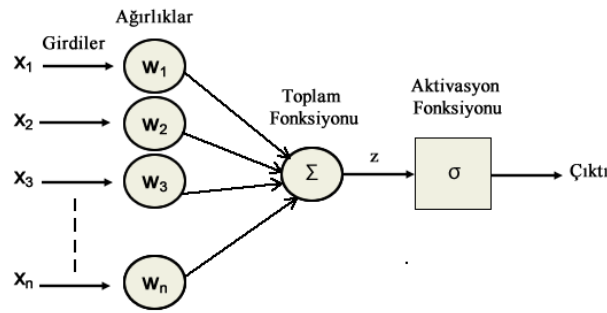
Derin öğrenme, yapay sinir ağları aracılığıyla tanınan ve beyin nöronlarının çalışma prensibinden esinlenen bir makine öğrenimi tekniğidir (Alafi, 2019). Karmaşık derin sinir ağları ilk defa (Lecun vd., 2015) çalışmasında

başarılı bir şekilde eğitilmiştir. Derin öğrenme, belirli bir göreve özgü algoritmaların aksine, veri temsillerine dayalı makine öğrenimi yöntemi olup çok büyük miktarda yapısal olmayan veya etiketlenmemiş veriden de öğrenebildiği için, pek çok uygulamada avantajlar sağlamaktadır. Diğer makine öğrenmesi yaklaşımları ile karşılaştırıldığında derin öğrenme, daha soyut bilgiler öğrenmek için derin mimariler inşa etme avantajına sahiptir. Derin öğrenme yöntemlerinin en önemli özelliği, öznitelik temsillerini otomatik olarak öğrenebilmesi ve böylece çok fazla zaman alan işlemlerden kaçınmasıdır (Coşkun vd., 2017).

Bu başlıkta, derin öğrenmedeki temel mimarilerden olan Derin Sinir Ağları (Deep Neural Network - DNN), Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network - CNN), Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Network - RNN) ve son olarak Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory - LSTM) açıklanmıştır.

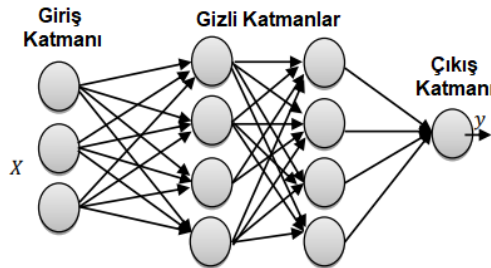
2.2.1. DNN mimarisi (Architecture of DNN)

DNN, insanın beyin fonksiyonlarının makineler tarafından taklit edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş işlem birimleridir. Katmanlı yapılarda nöron adı verilen temel işlem birimleri, katmanlar arasındaki bağlantılar sayesinde birbiri ile iletişimde bulunur (P. Canbay, 2020). Bilgi, DNN sistemi ve mimarisi tarafından, makinenin kendi kendine öğrenme yetenekleri olarak adlandırılan bir öğrenme süreci aracılığıyla edinilir (Goodfellow vd., 2016). Şekil 3'te tek katmanlı ve tek sinir hücreli en temel sinir ağı gösterimi verilmiştir.



Şekil 3. Bir yapay sinir hücresi örneği (An example for an artificial neuron) (P. Canbay, 2020)

Derin öğrenmenin ana ilham kaynağı, süregelen bilgi, gözlem ve deneyimdir. Genel olarak bir girdi katmanı, çok sayıda gizli katman ve bir tane çıktı katmanından oluşur. Günümüzde pek çok alanda kullanılmakla beraber özellikle ses işleme, doğal dil işleme, makine çevirisi ve görüntü işleme alanlarında sıklıkla tercih edilmektedir (Canbay ve Sağıroğlu, 2020). Şekil 4'te içinde üç nöron bulunan bir giriş katmanı, her biri 4 dört nörondan oluşan iki gizli katman ve tek bir nöron içeren çıkış katmanı için bir DNN mimari yapısı örneği verilmiştir.



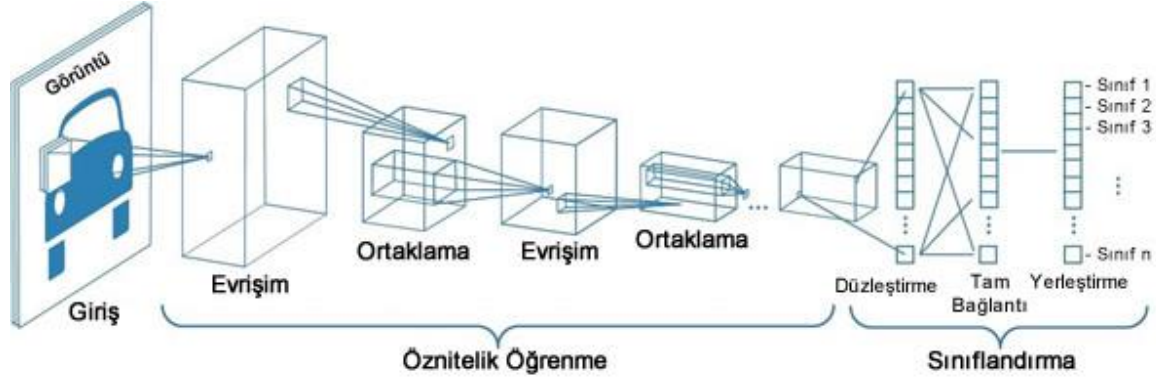
Şekil 4. Bir DNN mimarisi örneği (An example of DNN architecture) (Kimanuka ve Büyük, 2018)

DNN, birbirine bağlı nöronlardan oluşmakta olup bu nöronlar katmanlar halinde yapılandırılmıştır. DNN mimarisi 3 katmandan oluşur. Bunlar; giriş katmanı (veri özelliklerinden oluşur), gizli katman (birden fazla gizli birimden oluşur) ve son olarak çıktı katmanıdır. DNN mimarisinin birden fazla gizli katmana sahip olduğu için derin sinir ağı olarak ifade edilmesinin temel sebebi budur (Kimanuka ve Büyük, 2018). DNN mimarisinde bulunan gizli katmanlardaki nöronların sayısı, sınıflandırma doğruluğunda hayati bir rol oynamaktadır. DNN mimarisini klasik yapay sinir ağlarından ayıran en önemli özelliği, bu mimarinin çok katmanlı ve her katmanında da çok sayıda nöron içermesidir (Aydoğan ve Karci, 2020).

2.2.2. CNN mimarisi (Architecture of CNN)

Görüntü tanıma problemlerinde yoğun olarak kullanılan CNN mimarisi ilk olarak (Fukushima, 1980) çalışmasında tanıtılmış, kullanımı ise ilk olarak (LeCun vd., 1998) çalışmasında önerilmiştir. CNN mimarisi genel olarak evrişim ve ortaklama katmanlarını içerir. Evrişim katmanı ile öznitelik haritaları oluşturulur. Her evrişim katmanında

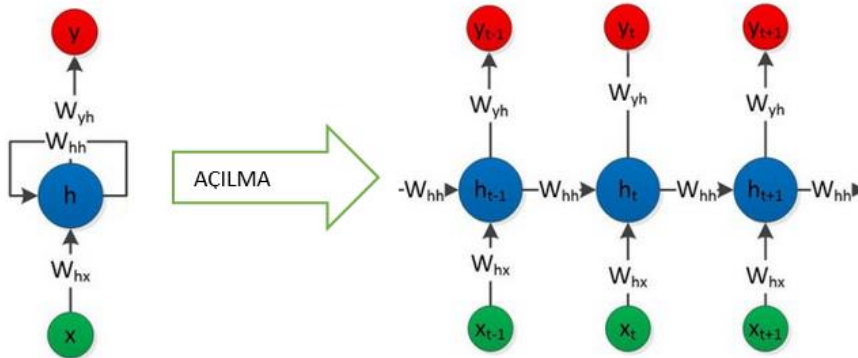
farklı filtreler uygulanabilir (Coşkun vd., 2017). Matematiksel olarak bir öznetelik haritası tarafından gerçekleştirilen her filtreleme işlemi, ayrı bir evrişimdir. Evrişim katmanlarında gerçekleşen filtreleme işlemi sonucunda, ortaklama katmanları anlamsal olarak benzer özellikleri tekrar bir araya getirmektedir. En son gerçekleşen ortaklama işleminden sonra, görüntünün düzeltilmesi ve tespit edilen özelliklere göre sınıflandırılması yapılmaktadır (Lecun vd., 2015). Şekil 5'te CNN mimarisinin çalışma prensibi ve içerdiği katmanlar verilmiştir.



Şekil 5. CNN mimarisi çalışma prensibi (The working principle of CNN architecture) (Tan, 2019)

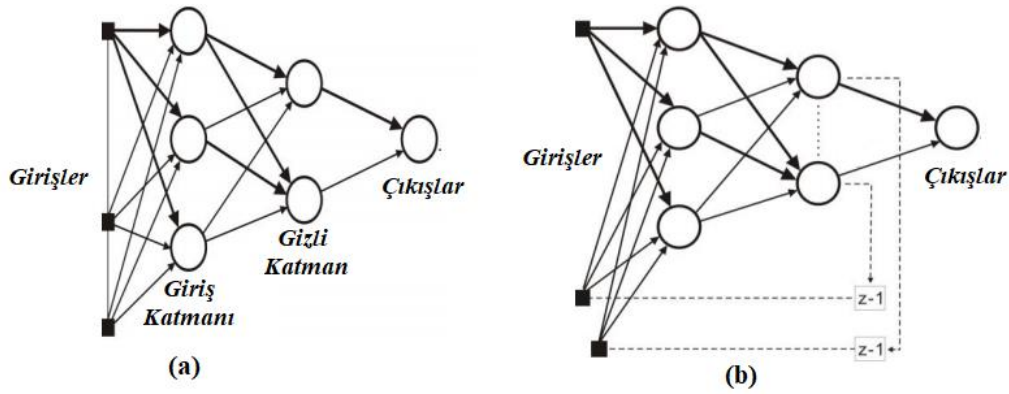
2.2.3. RNN mimarisi (Architecture of RNN)

Sıralı bir şekilde bulunan verileri işlemek için kullanılan bir derin öğrenme mimarisidir (Onan, 2020). RNN'de mevcut giriş bilgileri önceki giriş bilgileri ile birlikte değerlendirilir. Yani RNN'ler önceki bilgileri ile yeni öğrendiği bilgileri birlikte değerlendirirler. Örneğin; bir konuşma esnasında genellikle $t-1$ anında kullanılan kelime t anında kullanılan kelimeyle, t anında kullanılan kelime ise $t+1$ anında kullanılan kelimeyle bağlantılıdır (P. Canbay, 2020). RNN'de önceki işlemin çıktısı sonraki işlemin girdisi olarak kullanıldığı için, RNN'ler iletir beslemeli sinir ağlarından farklı bir yapıya sahiptir. RNN mimarisinde giriş verileri ağdan geçirilerek bir çıkış değeri elde edilir. Elde edilen bu çıkış değeri olması gereken değerler ile karşılaştırılarak değerlerde farklılık olup olmadığı kontrol edilir ve varsa hata ölçümü yapılır. Ağ üzerindeki ağırlık değerleri hataya bağlı olarak değiştirilir ve bu şekilde en doğru sonuca ulaşılarak çıktı verebilen bir model oluşturulmuş olur. RNN mimarisi girdi verilerini işleme alırken kendi hafızalarını kullanmaktadır (Metin ve Karasulu, 2015). Şekil 6'da tekrarlayan sinir ağı mimarisi ve mimarinin hesaplamasına ait yapı verilmiştir.



Şekil 6. Tekrarlayan sinir ağı mimarisi örneği (An example of recurrent neural network architecture) (Zheng vd., 2017)

RNN mimarisinin yapısında, bir giriş katmanı, iki gizli katman ve bir çıkış katmanı bulunur. Bu katmanların hepsi birbirinden bağımsız bir şekilde çalışmaktadır. Dolayısıyla her katmanın kendine göre bir işlevi vardır ve her katman farklı bir görevi yerine getirir. Bu sayede sistemin daha geçerli sonuçlar vermesi amaçlanmaktadır (Britz, 2015). Tekrarlanan bu aşamalar sonucunda bir önceki giriş durumu depolanır ve yeni elde edilen giriş değeriyle birleştirilir. Bu sayede yeni elde edilen girişin bir önceki girişle olan ilişkisi sağlanır. Bu yaklaşım, ses tanıma, doğal dil işleme gibi önceki girdiler hakkında bilgi gerektiren çeşitli görevler için faydalıdır.

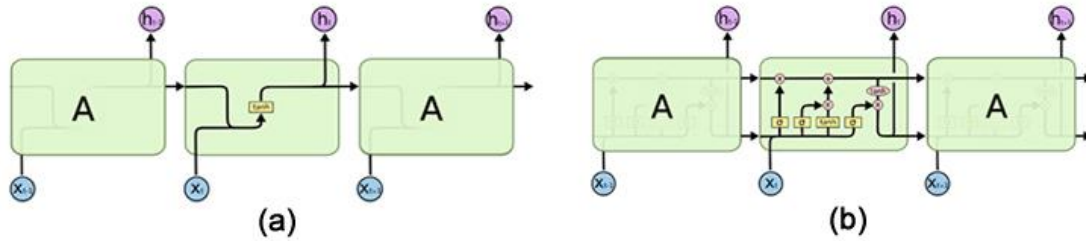


Şekil 7. (a) İleri doğru bilgi işleme yapan sinir ağı yapısı (Neural network structure with feed forward processing), (b) Tekrarlayan sinir ağı yapısı (Recurrent neural network structure) (De Campos, 2017)

Şekil 7’de ileri doğru bilgi işleme yapan sinir ağı ile yinelemeli sinir ağı yapısının çalışma prensibi verilmiştir. İleri doğru bilgi işleme yapan sinir ağındaki sonuç o andaki girişe bağlıdır. Çünkü bilgi işleme sürekli ileriye doğrudur. Yinelemeli sinir ağı yapısındaki sonuç ise sadece o andaki girişe göre değil, diğer girişlere de bağlı olarak elde edilir. Bu ağlarda çıkışlar, hem o anda gelen hem de daha önce gelmiş olan bilgilerin birleştirilmesi ile üretilir.

2.2.4. LSTM mimarisi (Architecture of LSTM)

RNN mimarisinin bir türü olan LSTM ilk olarak (Hochreiter ve Schmidhuber, 1997) çalışmasında yeni, verimli ve gradyan tabanlı bir yöntem olarak tanıtılmıştır RNN mimarisinden farklı olarak LSTM mimarisinde, uzun süre önceki herhangi bir girdiyi hatırlamak için kullanılan ve hafıza hücreleri olarak adlandırılan özel katmanlar bulunmaktadır (Latifoğlu ve Nuralan, 2020). Şekil 8’de standart bir RNN’deki modül ile LSTM’deki tekrar eden modülün yapısı verilmiştir.



Şekil 8. (a) RNN’deki tekrar eden modül yapısı (Recurring module structure in RNN), (b) LSTM’deki tekrar eden modül yapısı (Recurring module in LSTM) (Olah, 2015)

Standart RNN’de tek bir *tanh* sinir ağı katmanı bulunurken, LSTM ise çok özel bir şekilde etkileşime giren 4 adet *tanh* sinir ağı katmanı bulunmaktadır. Bu katmanlar sayesinde uzun veya kısa zaman periyotları hatırlanmaktadır. LSTM mimari yapısının temeli RNN mimarisi ile aynıdır. Ancak LSTM yapısında gizli durumları hesaplamak için farklı bir fonksiyon kullanılır. LSTM mimari yapısında bulunan hafızalara hücre denir. Bu hücreler önceki durumu h_{t-1} ve geçerli girişi x_t girdi olarak alan bilgi işlem merkezleridir. Hücreler, bu merkezler sayesinde hafızada neler silineceğine ve nelerin tutulacağına karar verir. Sonuç olarak bu hücreler, mevcut belleği, önceki durumu ve girdiyi birleştirir. Bu tür birimlerin, uzun vadeli bağımlılıkları yakalamada çok etkili oldukları anlaşılmaktadır (Metin ve Karasulu, 2015).

Derin öğrenme algoritmaları, sundukları yüksek başarıma rağmen, sağlık verilerine uygulandığında kişisel veri mahremiyetini ihlal edilebileceği için bu tür çözümlerde veri mahremiyetinin dikkate alınması gerekir (Sun vd., 2019).

2.3 Veri Mahremiyeti (Data Privacy)

Mahremiyet, kişinin bağımsız ve özgür olarak var oluşunun temelini oluşturmakla beraber birey olmanın temel gereksinimlerinden de biridir (Dülger, 2015). Veri mahremiyeti, veri sorumluları tarafından toplanan kişisel verilerin yaşam döngüsü içerisinde hukuka ve etik kurallara uygun olarak işlenmesi ve bireyin kendisine ait bilgilerin nasıl toplandığı ve kullanıldığı üzerinde kontrol sahibi olması olarak tanımlanmıştır (Jain vd., 2016). Verilerin toplanması ve paylaşılması sürecinde kontrolün verinin sahibinde kalması veri mahremiyeti açısından önemli bir gereksinimdir. Bu süreçte verilerin kimlerle paylaşılacağı, nerelere aktarılacağı ve hangi amaçla

işleneceği şeffaf ve kontrol edilebilir düzeyde olmalı ve bu süreç verinin sahibi tarafından kontrol edilebilmelidir (Vural, 2018). Türkiye’de, kişisel verilerin işlenmesinde başta özel hayatın gizliliği olmak üzere kişilerin temel hak ve özgürlüklerini korunması, kişisel verileri işleyen gerçek ve tüzel kişilerin yükümlülükleri ile uyacakları usul ve esasların belirlenmesi KVKK ile belirlenmektedir (Kişisel Verileri Koruma Kurumu, 2020).

Bir bireyi, doğrudan veya dolaylı olarak tanımlayabilecek her türlü veri kişisel veri olarak kabul edilmektedir. Demografik veriler, sağlık verileri, maaş verileri, ticari veriler, epostalar, konum verileri, fotoğraflar ve videolar kişisel verilere örnek olarak verilebilir. Günümüzde kişisel verilerin mahremiyetinin korunmasında büyük zorluklar yaşanmaktadır. Bunun sebebi, teknolojinin hayatımızın her alanına girmesiyle beraber kişisel verilerin, bilgimiz olmadan ve kontrolümüz dışında üçüncü taraflarca ele geçirilmesi veya üçüncü taraflarla paylaşılmasıdır (Geambasu vd., 2009). Sahip olunan verilerden yüksek seviyede değer üretmek için veriler yayıncılar tarafından yayınlanabilir. Yayınlanan bu veriler içerisinde kişisel verilerin olması halinde, dikkat edilmesi gereken husus, veriye yayınlamadan önce mahremiyet koruyucu önlemlerin uygulanması gerektiğidir (Xu vd., 2014).

2.3.1. Veri mahremiyetinin korunması (Preserving of data privacy)

Verinin bir değer kaynağı olarak üçüncü taraflara paylaşımı, veri ihlalleri konusunda kaygıları da beraberinde getirmektedir. Verinin yayınlanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus saldırganlar tarafından elde edilen arka plan bilgileri ile yapacakları çıkarımlar sonucunda veri mahremiyeti ihlallerinin yaşanmasıdır. Veri mahremiyeti ihlalleri, doğrudan bireyleri hedef aldığı için mağduriyet ve ayrımcılık yaşanmasına sebep olmakta ve bu durum saldırganların ilgisini sıklıkla çekmektedir. Saldırgan, sahip olduğu arka plan bilgisini yayınlanan veri kümeleri ile belirli öznitelikler üzerinde eşleştirme işlemi yaparak veri sahibinin kimlik ve hassas bilgilerini, bilgisi dışında elde ederek ifşa edebilir. Böylesi ihlallerin yaşanmaması için saldırılara karşı yeterli önlemlerin alınması, veri mahremiyetini hedef alan tehditlerin ve mahremiyet koruyucu yaklaşımların bilinmesi gerekir (Canbay, 2019).

2.3.2. Mahremiyet korumalı veri yayınlama (Privacy preserving data publishing)

Veri yayınlama, mevcut verinin sahibinin izni ve bilgisi dâhilinde, çeşitli kişi, kurum veya kuruluşlarla ilgili politika ve stratejilere göre çeşitli platformlarda paylaşılmasıdır. Bu paylaşımın temel amacı kişilerin ve kurumların bu veriden yüksek düzeyde fayda elde etmelerini sağlamaktır. Mahremiyet korumalı veri yayınlama ise içerisinde kişisel veri barındıran veri kümelerini yayınlarken aynı zamanda mahremiyet koruyucu çeşitli önlemleri alarak hassas bilgilerin ifşa edilmesini mümkün olduğu kadar engellenmesini sağlamaktır (Canbay vd., 2020).

Veri yayınlama yöntemi, veri paylaşımında kolay ve ekonomik bir yöntem olduğu için veri işleyen kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından yaygın olarak kullanılır. Ancak içerisinde kişisel veri barındıran veri kümelerinin herhangi bir mahremiyet önlemi alınmadan paylaşılması veya yayınlanması ciddi ifşaları da beraberinde getirir. Bu amaçla literatürde veri yayınlamada yaygın olarak kullanılan mahremiyet koruma modelleri aşağıda verilmiştir (Vural, 2018).

k-Anonimlik modeli; Sweeney tarafından önerilen en temel mahremiyet koruma modelidir. Genel çalışma mantığı, herhangi bir kaydın *k*-1 adet kayıttan ayırt edilemeyecek şekilde grupların oluşturulmasıdır. Kimlik ifşa saldırısına karşı geliştirilmiştir (Sweeney, 2002).

l-Çeşitlilik modeli; *k*-Anonimlik modelinin hassas öznitelikleri koruyamaması problemini gidermek geliştirilmiş olup, eşlenik sınıfların homojen değerlerden oluşmasını engeller. Bu model her eşlenik sınıfındaki hassas özniteliklerin en az *l* sayıda olmasını garanti eder ve homojenite saldırısına bir çözüm sunar (Machanavajhala vd., 2007).

t-Yakınlık modeli; Li ve arkadaşları tarafından önerilen bu model, *l*-Çeşitlilik modelinin çarpık veri dağılımından kaynaklı saldırıları minimize etmek için bir koruma sağlar ve herhangi bir eşlenik sınıfındaki hassas özniteliklerin dağılımının genel tablodaki dağılımına yakın olmasını sağlar (Li vd., 2007).

2.4. Diferansiyel Mahremiyet (Differential Privacy)

Diferansiyel mahremiyet, günümüzde sıklıkla kullanılan ve verilere gürültü ekleme yaklaşımına dayanan bir veri mahremiyeti koruma modelidir (Dwork, 2006). Bu modelin amacı verinin bulunduğu veri tabanı sistemine doğrudan erişim sağlanması yerine, veri tabanı üzerinde yapılacak istatistiksel bir sorgulama için gürültülü sonuçlar döndürmektir (Var ve İnan, 2018). Diferansiyel mahremiyet, veri tabanları üzerinde çalışan algoritmalar için güçlü bir mahremiyet sağlayarak bir standart oluşturur (Abadi vd., 2016).

k -Anonimlik, l -Çeşitlilik, t -Yakınlık gibi modellerin en büyük problemi arka plan saldırılarına karşı tam olarak çözüm sunamamalarıdır. Diferansiyel mahremiyet modeli bu korumayı sağlayarak yüksek seviyede mahremiyet garantisi verir (Canbay ve Sağiroğlu, 2020). Diferansiyel mahremiyet için literatürde bulunan iki tanım aşağıda verilmiştir.

ϵ -Diferansiyel Mahremiyet; A mekanizmasının herhangi S_1 ve S_2 komşuluk veri tabanları üzerinde her D çıktı kümesi için; Denklem 1'de verilen şartı sağlaması halinde ϵ -diferansiyel mahremiyeti sağlamaktadır.

$$\Pr[A(S_1) \in D] \leq e^\epsilon \Pr[A(S_2) \in D] \quad (1)$$

(ϵ, δ) -Diferansiyel Mahremiyet; A mekanizmasının herhangi S_1 ve S_2 komşuluk veri tabanları üzerinde her D çıktı kümesi için; Denklem 2'de verilen şartı sağlaması halinde (ϵ, δ) -diferansiyel mahremiyeti sağlamaktadır.

$$\Pr[A(S_1) \in D] \leq e^\epsilon \Pr[A(S_2) \in D] + \delta \quad (2)$$

Yukarıda sunulan bilgiler ışığında; ϵ -Diferansiyel Mahremiyet temel diferansiyel mahremiyet olarak tanımlanırken, (ϵ, δ) -Diferansiyel Mahremiyet ise $\delta > 0$ değeri için yaklaşık diferansiyel mahremiyet olarak tanımlanır (Beimel vd., 2013).

Diferansiyel mahremiyet mekanizmasının kullanıldığı sistemlerde, istatistiksel olmayan veya cevabı belirli bir kayıt kümesi olan sorgular dikkate alınmayıp, bu sorgulara cevap verilmemektedir. Veri tabanında bulunan kayıtlara doğrudan erişim bu şekilde engellenmektedir. Şekil 9'da diferansiyel mahremiyetin uygulanmasına dair süreç verilmiştir. Bu süreçte veri üzerinde analiz işlemi yapmak isteyen araştırmacı, veri tabanına istatistiksel bir sorgu gönderir. Bu sorgunun gerçek cevabı diferansiyel mahremiyet mekanizmasına gönderilir ve bu mekanizma gerçek cevaba gürültü ekleyerek geri döndürür. Bu şekilde araştırmacının gerçek veriye ulaşması engellenerek onun yerine yaklaşık cevaplara ulaşması sağlanır (Canbay ve Sağiroğlu, 2020). Veri tabanına yapılan sorguların cevaplarına eklenecek gürültü miktarı, sorgunun hassasiyet değeri ile ilgilidir. Bir sorgunun hassasiyeti, sorgunun yapısına göre iki komşu veri tabanı üzerinden hesaplanır (Var ve İnan, 2018).



Şekil 9. Diferansiyel mahremiyet süreci (The process of differential privacy) (Canbay ve Sağiroğlu, 2020)

Diferansiyel mahremiyet, bireylerin mahremiyetini klasik yaklaşımlara göre önemli ölçüde korumaktadır. Örneğin, bir şirkette çalışanların hepatit test sonuçlarının kayıt altına alınıp takip edildiğini varsayalım. Teste giren 100 kişiden 30 kişinin test sonucunun pozitif, 70 kişinin test sonucunun ise negatif olsun. Bir saldırganın, şirket çalışanı Arda'nın test sonucunun pozitif olup olmadığını öğrenmek istediğini varsayalım. Saldırgan, teste katılan 99 kişi hakkında arka plan bilgisi elde etmiş olup, 70 kişinin test sonucunun negatif 29 kişinin test sonucunun pozitif olduğunu öğrenmiştir. Bu nedenle, veri tabanındaki 100. kişi olan Arda'nın test sonucunun pozitif olduğu sonucuna ulaşabilir. Bu tür saldırıları engellemek, saldırganın hedefi hakkında ne kadar arka plan bilgisine sahip olduğu bilinmediği için oldukça güçtür. Diferansiyel mahremiyet, bu tür arka plan saldırılarına karşı mahremiyeti korumayı amaçlar. Saldırganın, bir veri kümesindeki 100 kişiden 99'u hakkında tam bilgiye sahip olsa bile, yine de son kişi hakkındaki bilgileri elde edemeyeceğini garanti eder (Erçin, 2018).

3. Literatür Taraması (Literature Survey)

Bu bölümün temel amacı; Covid-19 tespitinde derin öğrenmeyi kullanan çalışmaları ve Covid-19 tespitinde mahremiyeti dikkate alan çalışmaları inceleyerek özetlemek, ayrıca literatürde kullanılan Covid-19 açık veri kümelerini karşılaştırarak sonraki yapılacak çalışmalara bir ön bilgi sunmaktır.

3.1. Covid-19 Tespitinde Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanan Çalışmalar (Studies Using Deep Learning Techniques to Detect Covid-19)

Literatürde, Covid-19 tespitinde derin öğrenmeyi dikkate alan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Narin ve arkadaşları çalışmalarında (Narin vd., 2020), CT ve CXR görüntülerini kullanarak Covid-19 hastalığını tespit etmek için CNN tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Çalışma kapsamında görüntüler beş evrişimli sinir ağı tabanlı modeller olan ResNet50, ResNet101, ResNet152, InceptionV3 ve Inception-ResNetV2 ile eğitilmiştir. Hastalık teşhisinde, en yüksek başarı %99,7 ile ResNet50 modelinde elde edilmiştir.

Toğaçar ve arkadaşları (Toğaçar vd., 2020), Covid-19 tespitinde derin öğrenme tekniklerinden faydalandılar. Veri setleri; koronavirüs, pnömoni ve normal CXR görüntüleri olmak üzere üç sınıftan oluşmaktadır. Bu çalışmada veri sınıfları, ön işleme adımı olarak bulanık renk tekniği kullanılarak yeniden yapılandırılmış ve orijinal görüntülerle yapılandırılan görüntüler MobileNetV2 ve SqueezeNet derin öğrenme modelleriyle eğitilmiştir. SVM algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırma ile %99,27 başarı oranı elde edilmiştir.

Covid-19 virüsünü, diğer grip ve zatürre türlerinden doğru bir şekilde ayırmak isteyen Farooq ve Hafeez çalışmalarında (Farooq ve Hafeez, 2020), CovidResNet50 olarak adlandırdıkları CNN tabanlı yeni bir yaklaşım önermiştir. Çalışmaya özgü oluşturulan veri setlerindeki CT ve CXR görüntüleri ResNet-50 modeli ile eğitilmiştir. Çalışma ile ResNet50 modelinin eğitim süresi azaltılarak çalışma performansı iyileştirilmiştir. Önerilen yeni yaklaşım ile hastalık teşhisinde %96,23 başarı oranı elde edilmiştir.

Wang ve arkadaşları çalışmalarında (Wang vd., 2020), Covidx veri setinde yer alan 13.870 hastaya ait 13.975 CXR görüntülerinden Covid-19 hastalığını tespit etmek için derin evrişimli sinir ağı tasarımı olan COVID-Net'i tasarlamıştır. Makine-İnsan işbirliği stratejisi ile tasarlanan bu veri seti modeli ile hasta olmayanların sınıflandırmasında %90,5, Covid-19 harici hasta olanların sınıflandırmasında %91,3, Covid-19 hastalarının sınıflandırılmasında ise %98,9 başarı oranı elde etmişlerdir.

Ko ve arkadaşları (Ko vd., 2020), CT görüntülerinden Covid-19 hastalığını teşhis ederek, bu hastalığı diğer solunum yolu hastalıklarından ayrılması için CNN tabanlı bir yapay zekâ sistemi geliştirmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti, Wonkwang Üniversite Hastanesi, Chonnam Ulusal Üniversite Hastanesi ve İtalyan Tıbbi ve Girişimsel Radyoloji Derneğinin veri tabanından alınan CT görüntülerinden oluşmaktadır. Tasarlanan sistemin eğitimi VGG16, ResNet-50, Inception-v3 veya Xception derin öğrenme modelleri ile gerçekleştirilmiş olup FCONet sınıflandırma ağı ile görüntüler sınıflandırılmıştır. Çalışmada, ResNet-50 modeli ile %99,58 duyarlılık, %100,00 özgüllük ve %99,87 başarı oranları elde edilmiştir.

X-Viral ve xCovid veri setinden alınan 43.370 CT ve CXR görüntülerini kullanarak Covid-19 hastalığını, diğer solunum yolu ve akciğer rahatsızlığı olan zatürre hastalığından ayırmak isteyen Zhang ve arkadaşları çalışmalarında (Zhang vd., 2020) CNN tabanlı, Güvene Duyarlı Anormallik Algılama Modeli geliştirmiştir. Geliştirdikleri bu model ile hastalık teşhisinde %71,70 duyarlılık ve %83,30 doğruluk oranı elde etmiştir.

Hu ve arkadaşları çalışmalarında (Hu vd., 2020), Çin'de bulunan hastanelerdeki 588 hastaya ait CT görüntülerinden Covid-19 virüsünü tespit eden ve onu diğer solunum yolu hastalıklarından ayırarak bu görüntüleri sınıflandıran CNN mimarisini kullanan bir yöntem önermiştir. Çalışma kapsamında görüntüler, hasta olmayanlar, zatürre hastaları ve Covid-19 hastaları olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma ile büyük ölçekli klinik çalışmalarında Covid-19 hastalığını diğer hastalıklardan ayırarak, Covid-19 hastalık teşhisinde hatayı en aza indirmek amaçlanmıştır.

Sürüntü testinden önce klinik bir teşhis sağlamayı amaçlayan Wang ve arkadaşları (Shuai Wang vd., 2020), 1065 CT görüntüsü ile oluşturdukları veri seti üzerinde çalışıp geliştirmiş oldukları model ile hastanın sağlığını ve Covid-19 virüsünün bulaş riskini kontrol edebilmek için kritik bir öneme sahip olan zamandan tasarruf etmeyi hedeflemiştir. CNN tabanlı bu model ile Covid-19 hastalık teşhisinde %88 özgüllük ve %87 duyarlılık ve %89,5 doğruluk oranı elde etmiştir.

Hall ve arkadaşları (Hall vd., 2020), CT görüntülerinin Covid-19 hastalık teşhisinde ne kadar yararlı olduğunu göstermek için 4000'den fazla CXR görüntüsü ile 122 CT görüntüsünü kullanarak CNN tabanlı derin öğrenme modeli geliştirmiştir. Yapılan çalışmada görüntüleri kullanılan 102 hastanın tamamının hastalık teşhisi doğru yapılmıştır. Ayrıca, Covid-19 harici solunum yolu hastalıklarının teşhisinde ise %95 başarı oranı elde etmişlerdir.

Hemdan ve arkadaşları (Hemdan vd., 2020), 25 doğrulanmış pozitif Covid-19 vakasına ait 50 CT görüntüsü üzerinde çalışarak CNN tabanlı bir model geliştirmiştir. Çalışma kapsamında, COVIDX-Net, DenseNet, VGG19 ve Google Mobile Net'in derin öğrenme modellerinden faydalanılmıştır. Önerilen çerçeve model ile normal hastaların sınıflandırmasında %89, Covid-19 hastalarının sınıflandırmasında ise %91 başarı oranı elde edilmiştir.

Wang ve arkadaşları (Shuo Wang vd., 2020), 4106 hastadan alınan 5372 CT görüntüsü ile oluşturulan CT-EGFR veri seti ile Covid-19 hastalığının teşhisini gerçekleştiren CNN tabanlı otomatik derin öğrenme sistemi önermiştir.

Veri setindeki görüntüler kullanılarak DenseNet121-FPN ve Covid-19Net modelleri eğitilmiştir. Geliştirdikleri sistem, Covid-19 hastalığını, zatürre ve diğer solunum yolu hastalıklarından ayırt edilebilmek için sınıflandırma işlemi yapmaktadır. Çalışma ile Covid-19 hastalık teşhisinde %90, Covid-19 hastalığını diğer solunum yolu hastalıklarından ayırt etmede %87, normal zatürre hastalığından ayırt etmede ise %88 başarı oranı elde edilmiştir.

Bu bölümde, Covid-19 hastalık teşhisinde derin öğrenme algoritmaları kullanılan, literatürdeki güncel bazı çalışmalara yer verilmiştir. Gün geçtikçe bu çalışmaların sayıları artmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise Covid-19 hastalığının teşhisinde hayati öneme sahip CT ve CXR görüntülerinin analizinde derin öğrenme yaklaşımlarının başarılı sonuçlar üretmesidir. Bu çalışmalardan en yüksek başarı %99,27 ile Toğaçar ve arkadaşları tarafından elde edilmiştir. Genel olarak bu çalışmalarda elde edilen başarılar yüksek olsa da, bunların hiçbirinde veri mahremiyetine değinilmediği görülmektedir. CT ve CXR görüntüleri sağlık verisi olduğu için bu verilerin işlenmesinde mahremiyet koruyucu önlemlere gerek duyulmaktadır. Yukarıda verilen çalışmalar, sadece hastalığın teşhisine odaklanmış veri mahremiyetini dikkate almamıştır. Devam eden bölümde literatürde konu kapsamında veri mahremiyetini dikkate alan çalışma özetlenmiştir.

3.2. Covid-19 Tespitinde Veri Mahremiyetini Dikkate Alan Derin Öğrenme Çalışmaları (Deep Learning Studies Considering Data Privacy in Detection of Covid-19)

Bu bölümde ise Covid-19 hastalığını tespit etmede veri mahremiyetine odaklanan derin öğrenme temelli çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Müftüoğlu ve arkadaşları çalışmalarında (Müftüoğlu vd., 2020), Covid-19 ile enfekte olmuş 139 hastaya ait toplam 373 CXR görüntüsü kullanarak Covid-19 hastalığının teşhisini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Covid-19 tespiti için ilk olarak EfficientNet-B0 modeli ile %94 başarı elde etmiş ancak diferansiyel mahremiyeti uyguladıklarında ise bu başarının %71'e kadar düştüğü belirtilmiştir.

Literatür incelendiğinde, Covid-19 tespitinde veri mahremiyetini dikkate alan tek çalışmanın Müftüoğlu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirildiği, ilgili çalışmada %71 doğruluk oranı sağlanmasına rağmen bu başarının daha yüksek seviyelere çıkarılması gerektiği ve yenilikçi farklı çözümlere ihtiyaç olduğu görülmektedir. Başarı oranının daha da yükseltilmesi için, daha fazla CT veya CXR görüntüsü kullanılarak, farklı parametrelerle diferansiyel mahremiyeti uygulamak bu kapsamda bir çözüm olabilir.

4. Araştırma Bulguları (Results)

Covid-19 hastalığını yapay zekâ sistemleri kullanarak tespit eden çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalarda CXR görüntüleriyle derin öğrenme yöntemleri kullanılarak yüksek başarı oranları elde edildiği Tablo 1'de görülmektedir. Bunun sebebi görüntünün işlenmesi, görüntüden özelliklerin çıkarılması ve çıkarılan özelliklere göre görüntünün sınıflandırılmasında CNN mimarisinin, diğer mimarilere göre yüksek başarı oranı sağlamasıdır. Tablo 1'de derin öğrenme mimarileri kullanılarak Covid-19 hastalık teşhisi yapılan çalışmaların karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 1. Derin öğrenme ile Covid-19 teşhisi yapan çalışmaların karşılaştırılması (Comparison of the studies diagnosing Covid-19 by deep learning)

Çalışma	Görüntü türü	Mimari	Veri Seti	Veri Sayısı(Adet)	Mahremiyet Odaklı	Doğruluk/Başarı Oranı
(Narin vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	Kaggle Chest X-Ray	7406 adet görüntü	Hayır	%98,43
(Toğaçar vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	IEEE 8023	590 adet görüntü	Hayır	%99,27
(Farooq ve Hafeez, 2020)	CT ve CXR	CNN	COVIDx	2839 adet görüntü	Hayır	%96,23
(Linda Wang vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	Covid-19 Open Research Dataset	13975 adet görüntü	Hayır	%98,90
(Shuai Wang vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	Çalışmaya Özgü	274 adet görüntü	Hayır	%89,50
(Hall vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	IEEE 8023	557 adet görüntü	Hayır	%91,24
(Hemdan vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	IEEE 8023	50 adet görüntü	Hayır	%91,00
(Shuo Wang vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	CT-EGFR	5372 adet görüntü	Hayır	%90,00
(Müftüoğlu vd., 2020)	CT ve CXR	CNN	Çalışmaya Özgü	373 adet görüntü	Evet	%71,00

Tablo 1'de sunulan çalışmalar incelendiğinde, CT ve CXR görüntülerinin kullanıldığı, hepsinde genel olarak CNN derin öğrenme mimarisinden faydalandığı, açık olarak yayınlanan veri kümelerinin kullanıldığı, mahremiyet odaklı sadece bir çalışmanın olduğu görülmektedir. Ayrıca, Tablo 1'deki veriler karşılaştırıldığında, Toğaçar ve arkadaşlarının IEEE 8023 veri seti ile CNN mimarisi kullanarak %99,27 ile en yüksek başarı oranını elde ettikleri

görülmektedir. Bu çalışmalardan veri mahremiyetini dikkate alan tek çalışma olarak Müftüoğlu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma olduğu, ancak yine de bu çalışmadaki başarının %71 olarak elde edildiği ve bu başarının daha da yükseltilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

4.1. Covid-19 Çalışmaları İçin Sunulan Açık Veri Kümeleri (Open Datasets for Covid-19 Studies)

Günümüzde derin öğrenme yöntemi uygulanarak tıp alanında yürütülen çalışmalar, açık veri kümelerinin araştırmacıların kullanımına sunulmasıyla birlikte büyük bir hız kazanmıştır. Bu çalışmaların bir kolu da hastalıkların erken tanı ve teşhisi ile ilgili çalışmalardır. Bu çalışmada incelenen literatür ele alındığında, bir kısmı mevcut açık veri setlerini kullanırken bir kısmı da CT ve CXR görüntülerinden kendi veri setlerini oluşturmuşlardır. Yayınlanan bazı veri setlerini kullanmak için ise araştırma fikrinin detaylarını ve çalışmanın gizliliğini içeren imzalı kullanım izin belgesi alınması gerekmektedir.

Yapılan literatür taramasında, ilgili çalışmalarda genellikle, Kaggle Chest X-ray, Covidx, IEEE8023 Covid-19 Chest X-ray veri setleri ile araştırmacıların çeşitli sağlık kuruluşlarından temin ettikleri veri setlerini kullandıkları görülmüş olup Tablo 2'de bu veri setleri ile ilgili çeşitli bilgiler verilmiştir.

Tablo 2. Literatürde yaygın olarak kullanılan Covid-19 açık veri kümeleri (Covid-19 open datasets widely used in the literatüre)

Referans	Veri seti	Veri Türü	Yayımlandığı Platform	Kullanan Çalışma
(Mooney, 2020a)	Kaggle, Pneumonia Sample X-Rays	Görüntü	Kaggle	(Rabbah vd., 2020)
(IEEE, 2020)	IEEE8023 Covid-19 Chest X-ray	Görüntü	Github	(Hemdan vd., 2020)
(Rodrigues, 2020)	COVID-19 – Kaggle: Chest X-ray	Görüntü	Data.mendeley	(Narin vd., 2020)
(Pengtao Xie, 2020)	GitHub UCSD-AI4H / Covid-CT	Tablo	Github.	(Sharma, 2020)
(Chung, 2020)	Figure1-Covid-Chestxray-Dataset	Görüntü	Github.com	(Wong vd., 2020)
(Lisphilar, 2020)	Covid-19 Dataset In Japan	Tablo	Kaggle.com	(Kobayashi vd., 2020)
(Tails, 2020)	Covid-19 Tracking Germany Dataset	Tablo	Kaggle.com	(Mavragani, 2020)
(Mooney, 2020b)	San Francisco Covid-19 Dataset	Tablo	Kaggle.com	(Gianfrancesco vd., 2020)
(Institute, 2020)	COVID-19 Open Research Dataset Challenge (CORD-19)	Görüntü ve Tablo	Kaggle.com	(Linda Wang vd., 2020)
(Rajkumar, 2020b)	Novel Coronavirus 2019 Dataset	Tablo	Kaggle.com	(Levitt vd., 2020)
(Albert Sun, 2020)	NY-TIMES Covid-19 USA Dataset	Tablo	Github.com	(Alamo vd., 2020)
(Goldbloom, 2020)	Covid-19 Data From John Hopkins University Dataset	Tablo	Kaggle.com	(Zarikasvd., 2020)
(Rajkumar, 2020a)	Covid-19 India Dataset	Tablo	Kaggle.com	(Prakash vd., 2020)
(Union, 2020)	European Union Open Covid-19 Dataset	Tablo	Data.europa.eu	(Di Pietro vd., 2020)
(Badr, 2020)	COVID-19_Unified-Dataset	Tablo	Github.com	(Kerr vd., 2021)
(Lira, 2020)	Covid-19 Mexico Dataset	Tablo	Kaggle.com	(Medel-Ramírez ve Medel-Lopez, 2020)

5. Sonuçlar ve Tartışma (Conclusions and Discussion)

Derin öğrenme yaklaşımları kullanılarak CT ve CXR görüntülerinden Covid-19 hastalığının teşhisi yaygın bir yaklaşım olup, bu alandaki çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun sebebi ise derin öğrenme teknikleri ile yapılan hastalık teşhisinde yüksek başarı oranlarının elde edilmesidir. Literatürde Covid-19 hastalığının teşhis edilmesinde en çok kullanılan derin öğrenme mimarisinin CNN olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise CNN mimarisinin görüntünün işlenmesi, görüntüden özelliklerin çıkarılması ve çıkarılan özelliklere göre görüntünün sınıflandırılmasında yüksek başarılı sonuçlar üretmesidir.

Hastalık teşhisi kadar hastalara ait verilerin mahremiyetinin korunması, özellikle KVKK ve GDPR açısından çok önemlidir. Veri mahremiyetinin korunması, verinin yayınlanmasında veya verilerin analiz edilerek işlenmesi sürecinde sağlanabilmektedir. Mahremiyet korumalı veri yayınlamada *k*-Anonimlik, *l*-Çeşitlilik ve *t*-Yakınlık modelleri yaygın olarak kullanılırken, mahremiyet korumalı veri analizinde diferansiyel mahremiyet tabanlı çözümlerden faydalanılmaktadır.

Bu çalışmada Covid-19 teşhisinde derin öğrenmeyi kullanan ve veri mahremiyetini dikkate alan güncel çalışmalar incelenmiş, bu çalışmalarda kullanılan derin öğrenme mimarileri, veri setleri ve çalışma sonunda elde edilen başarı oranları tablo halinde verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışma sonucu yapılan değerlendirmeler şu şekilde sıralanabilir;

- Covid-19 ve diğer hastalıkların tespitinde ve analizinde, veri mahremiyetine yeterince önem verilmesi ve uygulanması gerektiği,
 - Covid-19 tespitinde mahremiyeti dikkate alırken aynı zamanda elde edilecek başarının mümkün olduğu kadar kabul edilebilir seviyelerde olması gerektiği,
 - Diferansiyel mahremiyetin bu alandaki çalışmalara uygulanmasında farklı ϵ değerlerinin dikkate alınarak sonuçlarının irdelenmesi gerektiği,
 - Covid-19 tespitini sağlayan çalışmaların başarı oranlarını arttırabilmek için daha çok sayıda açık CT ve CXR veri kümelerinin yayınlanması gerektiği,
 - Ülkemizde Covid-19 için açık CT ve CXR veri kümelerinin mevcut olmadığı bundan dolayı ülkemiz özelinde yeterli çalışmaların yapılamadığı,
 - Bu tür verilerin yayınlanmasında bir endişe duyulması halinde güncel konulardan olan Federe Öğrenme modelinin uygulanabileceği,
 - KVKK ve GDPR gibi yasal mevzuatlara uygun bir şekilde veri işleme ve analizlerin yapılması gerektiği,
- değerlendirilmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2020/7-22 M numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Data Vision Laboratuvarına (datavision.ksu.edu.tr) teşekkür ederiz.

Yazarların Katkıları (Authors' Contributions)

Yavuz Canbay: Araştırma probleminin belirlenmesi, konseptin oluşturulması, kontrol, makalenin yazılması ve gözden geçirilmesi,

Abdullah İsmetoğlu: Analiz, konseptin oluşturulması, makalenin yazılması,

Pelin Canbay: Araştırma probleminin belirlenmesi, kontrol, makalenin gözden geçirilmesi.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Abadi, M., Chu, A., Goodfellow, I., McMahan, H. B., Mironov, I., Talwar, K., & Zhang, L. (2016). Deep Learning With Differential Privacy. Paper presented at the Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security.
- Akkuş, M. S. (2020). Koronavirüs ve Covid-19. *Aksaray Üniversitesi Tıp Bilimleri Dergisi*, 1(2), 15-20.
- Alafi, B. (2019). Artificial Intelligence And Deep Learning Methodologies. *The Journal of Cognitive Systems*, 4(2), 57-61.
- Alamo, T., Reina, D. G., Mammarella, M., & Abella, A. (2020). Covid-19: Open-data resources for monitoring, modeling, and forecasting the epidemic. *Electronics*, 9(5), 827.
- Albert Sun, N. (2020, Erişim Tarihi: 05.12.2020). NY-Times Covid-19 USA Dataset. İnternet Sayfası: <https://github.com/nytimes/covid-19-data>
- Aydoğan, M., & Karci, A. (2020). Spelling Correction with the Dictionary Method for the Turkish Language Using Word Embeddings. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 57-63.
- Badr, H. S. (2020, Erişim Tarihi: 04.12.2020). Covid-19 Unified-Dataset. İnternet Sayfası: https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19_Unified-Dataset
- Beimel, A., Nissim, K., & Stemmer, U. (2013). Private Learning And Sanitization: Pure vs. Approximate Differential Privacy. In *Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques* (pp. 363-378): Springer.
- Britz, D. (2015, Erişim Tarihi: 28.12.2020). Recurrent Neural Networks Tutorial, Part 1 – Introduction To RNNs. İnternet Sayfası: <http://www.wildml.com/2015/09/recurrent-neural-networks-tutorial-part-1-introduction-to-rnns/>
- Canbay, P. (2020). Sağlıkta Yapay Zekâ: Derin Öğrenme Teknikleri ve Uygulamaları. In K. D. Ahmet Rıza Şahin, Süleyman Sivri (Ed.), *Sağlık Bilimlerinde Yapay Zekâ* (pp. 25-39): Akademisyen Kitabevi.
- Canbay, Y. (2019). Aykırı Veri Yönelimli Fayda Temelli Büyük Veri Anonimleştirme Modeli. (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi,

- Canbay, Y., & Sağıroğlu, Ş. (2020). Derin Öğrenmede Diferansiyel Mahremiyet. Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi, 6(1), 1-16.
- Canbay, Y., Vural, Y., & Sağıroğlu, Ş. (2020). Mahremiyet Korunmalı Büyük Veri Yayınlama İçin Kavramsal Model Önerileri. Politeknik Dergisi, 23(3), 785-798.
- Chung, A. G. (2020, Erişim Tarihi: 20.12.2020). Figure1-Covid-Chestxray-Dataset. İnternet Sayfası: <https://github.com/agchung/Figure1-COVID-chestxray-dataset>
- Coşkun, M., Yıldırım, Ö., Uçar, A., & Demir, Y. (2017). An Overview Of Popular Deep Learning Methods. European Journal of Technic (EJT), 165-176.
- De Campos, L. M. L. (2017). Time Series Prediction With Direct And Recurrent Neural Networks. Turkish Journal of Forecasting, 1(1), 7-15.
- Di Pietro, G., Biagi, F., Costa, P., Karpiński, Z., & Mazza, J. (2020). The likely impact of COVID-19 on education: Reflections based on the existing literature and recent international datasets (Vol. 30275): Publications Office of the European Union.
- Dülger, M. V. (2015). Sağlık Hukukunda Kişisel Verilerin Korunması Ve Hasta Mahremiyeti. İstanbul Medipol Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 1(2), 43-80.
- Dwork, C. (2006). Differential Privacy. Paper presented at the International Colloquium on Automata, Languages and Programming, Berlin, Heidelberg.
- Ercin, Ö. (2018, Erişim Tarihi: 23.11.2020). Differential Privacy (Diferansiyel Gizlilik ve Mahremiyet). İnternet Sayfası: <http://ozdenercin.com/2018/09/19/differential-privacy-diferansiyel-gizlilik-ve-mahremiyet/>
- Farooq, M., & Hafeez, A. (2020). Covid-Resnet: A deep Learning Framework For Screening Of Covid19 From Radiographs. arXiv preprint arXiv:2003.14395.
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A Self-organizing Neural Network Model for a Mechanism. Biol. Cybernetics 36, 193-202.
- Geambasu, R., Kohno, T., Levy, A. A., & Levy, H. M. (2009). Vanish: Increasing Data Privacy with Self-Destructing Data. Paper presented at the 18th USENIX Security Symposium, Washington.
- Gianfrancesco, M. A., Hyrich, K. L., Gossec, L., Strangfeld, A., Carmona, L., Mateus, E. F., . . . Bhana, S. (2020). Rheumatic disease and COVID-19: initial data from the COVID-19 global rheumatology alliance provider registries. The Lancet Rheumatology, 2(5), e250-e253.
- Goldbloom, A. (2020, Erişim Tarihi: 20.12.2020). Covid-19 Data From John Hopkins University Dataset. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/antgoldbloom/covid19-data-from-john-hopkins-university>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning (Vol. 1): MIT press Cambridge.
- Hall, L. O., Paul, R., Goldgof, D. B., & Goldgof, G. M. (2020). Finding Covid-19 from Chest X-rays using Deep Learning on a Small Dataset. arxiv:2004.02060.
- Hemdan, E. E.-D., Shouman, M. A., & Karar, M. E. (2020). Covidx-Net: A Framework Of Deep Learning Classifiers To Diagnose Covid-19 In X-Ray Images. arXiv preprint arXiv:2003.11055.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. Neural computation, 9(8), 1735-1780.
- Hu, S., Gao, Y., Niu, Z., Jiang, Y., Li, L., Xiao, X., . . . Xia, J. (2020). Weakly Supervised Deep Learning For Covid-19 Infection Detection And Classification From CT Images. IEEE Access, 8, 118869-118883.
- IEEE. (2020, Erişim Tarihi: 05.12.2020). IEEE8023 Covid-19 Chest X-ray. İnternet Sayfası: <https://github.com/ieee8023/covid-chestxray-dataset>
- Institute, A. (2020, Erişim Tarihi: 05.12.2020). Covid-19 Open Research Dataset Challenge (CORD-19). İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/allen-institute-for-ai/CORD-19-research-challenge?select=metadata.csv>
- Jain, P., Gyanchandani, M., & Khare, N. (2016). Big Data Privacy: A Technological Perspective And Review. Journal of Big Data, 3(1), 25.
- Karaküçük, Y., & Eker, S. (2020). Sağlık Bilimlerinde Yapay Zekâ. In Oftalmolojide Yapay Zeka ve Derin Öğrenme Uygulamaları (pp. 123-143): Akademisyen Kitabevi.
- Kerr, G. H., Badr, H. S., Gardner, L. M., Perez-Saez, J., & Zaitchik, B. F. (2021). Associations between meteorology and COVID-19 in early studies: Inconsistencies, uncertainties, and recommendations. One Health, 12, 100225.
- Kimanuka, U. A., & Büyük, O. (2018). Turkish Speech Recognition Based On Deep Neural Networks. Journal of Natural & Applied Sciences.
- Kişisel Verileri Koruma Kurumu. (2020, Erişim Tarihi: 23.11.2020). Kamuoyu Duyurusu (Covid-19 İle Mücadelede Konum Verisinin İşlenmesi ve Kişilerin Hareketliliklerinin İzlenmesi Hakkında Bilinmesi Gerekenler). İnternet Sayfası: <https://www.kvkk.gov.tr/Icerik/6726/COVID-19-ILE-MUCADELEDE-KONUM-VERISININ-ISLENMESI-VE-KISILERIN-HAREKETLILIKLERININ-IZLENMESI-HAKKINDA-BILINMESI-GEREKENLER-2->
- Ko, H., Chung, H., Kang, W. S., Kim, K. W., Shin, Y., Kang, S. J., . . . Jung, H. (2020). Covid-19 pneumonia Diagnosis Using A Simple 2D Deep Learning Framework With A Single Chest CT Image: Model Development And Validation. Journal of Medical Internet Research, 22(6), e19569.
- Kobayashi, G., Sugawara, S., Tamae, H., & Ozu, T. (2020). Predicting intervention effect for COVID-19 in Japan: state space modeling approach. BioScience Trends.
- Latifoğlu, L., & Nuralan, K. B. (2020). Tekil Spektrum Analizi ve Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları ile Nehir Akım Tahmini. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 376-381.

- Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 2278 - 2324.
- Levitt, M., Scaiewicz, A., & Zonta, F. (2020). Predicting the trajectory of any COVID19 epidemic from the best straight line. *medRxiv*.
- Li, N., Li, T., & Venkatasubramanian, S. (2007). t-Closeness: Privacy Beyond k-Anonymity And l-Diversity. Paper presented at the 2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering.
- Lira, C. (2020, Erişim Tarihi: 05.12.2020). Covid-19 Mexico Dataset. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/carloslira/covid19-mexico>
- Lisphilar. (2020, Erişim Tarihi: 10.12.2020). Covid-19 Dataset In Japan. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/lisphilar/covid19-dataset-in-japan>
- Machanavajjhala, A., Kifer, D., Gehrke, J., & Venkatasubramanian, M. (2007). l-Diversity: Privacy Beyond k-Anonymity. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 1(1), 3-es.
- Mavragani, A. (2020). Tracking COVID-19 in Europe: infodemiology approach. *JMIR public health and surveillance*, 6(2), e18941.
- Medel-Ramírez, C., & Medel-Lopez, H. (2020). Data Mining for the Study of the Epidemic (SARS-CoV-2) COVID-19: Algorithm for the Identification of Patients (SARS-CoV-2) COVID 19 in Mexico. Available at SSRN 3619549.
- Metin, İ. A., & Karasulu, B. (2015). İnsan Aktivitelerinin Sınıflandırılmasında Tekrarlayan Sinir Ağı Kullanan Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşım. *Veri Bilimi*, 2(2), 1-10.
- Minaee, S., Kafieh, R., Sonka, M., Yazdani, S., & Soufi, G. J. (2020). Deep-Covid: Predicting Covid-19 From Chest X-Ray Images Using Deep Transfer Learning. *arXiv preprint arXiv:2004.09363*.
- Mooney, P. (2020a, Erişim Tarihi: 08.12.2020). Kaggle, Pneumonia Sample X-Rays. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>
- Mooney, P. (2020b, Erişim Tarihi: 06.12.2020). San Francisco Covid-19 Data. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/san-francisco-covid19-data>
- Müftüoğlu, Z., Kizrak, M. A., & Yıldırım, T. (2020). Differential Privacy Practice On Diagnosis of Covid-19 Radiology Imaging Using EfficientNet. Paper presented at the 2020 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA).
- Nabiyev, V. V. (2012). *Yapay Zekâ: Seçkin Yayıncılık*.
- Narin, A., Kaya, C., & Pamuk, Z. (2020). Automatic Detection Of Coronavirus Disease (Covid-19) Using X-Ray Images And Deep Convolutional Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:2003.10849*.
- Olah, C. (2015, Erişim Tarihi: 06.12.2020). Understanding LSTM Networks. İnternet Sayfası: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs>
- Onan, A. (2020). Evrişimli Sinir Ağı Mimarilerine Dayalı Türkçe Duygu Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 374-380.
- Pengtao Xie, J. S., Jinyu Zhao. (2020, Erişim Tarihi: 28.11.2020). GitHub UCSD-AI4H / Covid-CT. İnternet Sayfası: <https://github.com/UCSD-AI4H/COVID-CT>
- Prakash, K. B., Imambi, S. S., Ismail, M., Kumar, T. P., & Pawan, Y. (2020). Analysis, prediction and evaluation of covid-19 datasets using machine learning algorithms. *International Journal*, 8(5).
- Rabbah, J., Ridouani, M., & Hassouni, L. (2020). A New Classification Model Based on Stacknet and Deep Learning for Fast Detection of COVID 19 Through X Rays Images. Paper presented at the 2020 Fourth International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS).
- Rajkumar, S. (2020a, Erişim Tarihi: 20.12.2020). Covid-19 India Dataset. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/sudalairajkumar/covid19-in-india>
- Rajkumar, S. (2020b, Erişim Tarihi: 05.12.2020). Novel Coronavirus 2019 Dataset. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/sudalairajkumar/novel-corona-virus-2019-dataset>
- Rodrigues, P. (2020, Erişim Tarihi: 04.12.2020). Covid-19 - Kaggle: Chest X-Ray (normal). İnternet Sayfası: <https://data.mendeley.com/datasets/rsbjbr9sj/2>
- Sharma, S. (2020). Drawing insights from COVID-19-infected patients using CT scan images and machine learning techniques: a study on 200 patients. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 37155-37163.
- Sun, Z., Wang, Y., Shu, M., Liu, R., & Zhao, H. (2019). Differential Privacy for Data and Model Publishing of Medical Data. *IEEE*, 152103-152114.
- Sweeney, L. (2002). k-Anonymity: A Model For Protecting Privacy. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10(05), 557-570.
- Tails, H. o. (2020, Erişim Tarihi: 06.12.2020). Covid-19 Tracking Germany Dataset. İnternet Sayfası: <https://www.kaggle.com/headsortails/covid19-tracking-germany>
- Tan, Z. (2019). *Derin Öğrenme Yardımıyla Araç Sınıflandırma (Yüksek Lisans Tezi)*, Fırat Üniversitesi,
- Toğaçar, M., Ergen, B., & Cömert, Z. (2020). Covid-19 Detection Using Deep Learning Models To Exploit Social Mimic Optimization And Structured Chest X-Ray Images Using Fuzzy Color And Stacking Approaches. *Computers in Biology and Medicine*, 103805.

- Union, E. (2020, Erişim Tarihi: 20.12.2020). European Union Open Covid-19 Coronavirus Dataset. İnternet Sayfası: <https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/covid-19-coronavirus-data>
- Var, E., & İnan, A. (2018). Sınıflandırma İçin Diferansiyel Mahremiyete Dayalı Öznitelik Seçimi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 33(1).
- Vural, Y. (2018). Veri Mahremiyeti: Saldırıları, Korunma ve Yeni bir Çözüm Önerisi *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 4(2), 21-34.
- Wang, L., Lin, Z. Q., & Wong, A. (2020). Covid-Net: A Tailored deep Convolutional Neural Network Design For Detection Of Covid-19 Cases From Chest X-Ray Images. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Wang, L. L., Lo, K., Chandrasekhar, Y., Reas, R., Yang, J., Eide, D., . . . Merrill, W. (2020). Cord-19: The covid-19 open research dataset. *ArXiv*.
- Wang, S., Kang, B., Ma, J., Zeng, X., Xiao, M., Guo, J., . . . Meng, X. (2020). A Deep Learning Algorithm Using CT Images To Screen For Corona Virus Disease (Covid-19). *medRxiv*.
- Wang, S., Zha, Y., Li, W., Wu, Q., Li, X., Niu, M., . . . Yu, H. (2020). A Fully Automatic Deep Learning System For Covid-19 Diagnostic And Prognostic Analysis. *European Respiratory Journal*.
- Wong, A., Qiu Lin, Z., Wang, L., Chung, A. G., Shen, B., Abbasi, A., . . . Duong, T. Q. (2020). COVIDNet-S: Towards computer-aided severity assessment via training and validation of deep neural networks for geographic extent and opacity extent scoring of chest X-rays for SARS-CoV-2 lung disease severity. *arXiv e-prints*, arXiv: 2005.12855.
- World Health Organization. (2021, Erişim Tarihi: 20.03.2021). WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. İnternet Sayfası: <https://covid19.who.int/>
- Xu, L., Jiang, C., Wang, J., Yuan, J., & Ren, Y. (2014). Information Security in Big Data: Privacy and Data Mining. *IEEE Access*, 1149 - 1176.
- Zarikas, V., Pouloupoulos, S. G., Gareiou, Z., & Zervas, E. (2020). Clustering analysis of countries using the COVID-19 cases dataset. *Data in brief*, 31, 105787.
- Zhang, J., Xie, Y., Liao, Z., Pang, G., Verjans, J., Li, W., . . . Shen, C. (2020). Viral Pneumonia Screening On Chest X-Ray Images Using Confidence-Aware Anomaly Detection. *arXiv preprint arXiv:2003.12338*.
- Zheng, J., Xu, C., Zhang, Z., & Li, X. (2017, March). Electric load forecasting in smart grids using long-short-term-memory based recurrent neural network. In *2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)* (pp. 1-6). IEEE.