



BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ

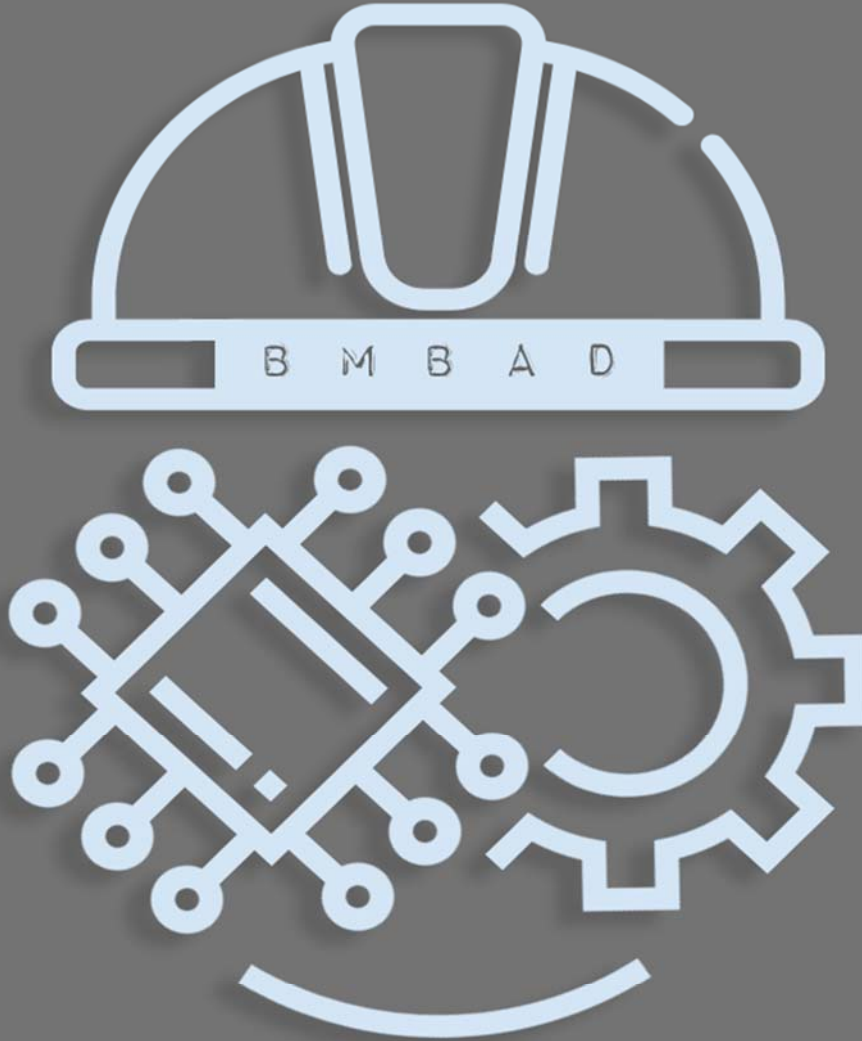
BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches

Cilt/Volume : 3

Sayı/Issue : 1

Yıl/Year : 2021





BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Müh.Bil.ve Araş.Dergisi

Cilt/Vol. 3

Sayı/Issue 1

2021

ISSN: 2687-4415

Sahibi/Owner

Prof.Dr. Süleyman ÖZDEMİR *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Rektörü*

Baş Editor /Editor in Chief

Doç.Dr. Muhammet Nuri SEYMAN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Yardımcı Editörler/Associate Editors

Dr.Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Dr.Öğr. Üyesi İsmail KOÇAK *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof.Dr. Hasan BAYINDIR, hasanbayindir@dicle.edu.tr, Dicle Üniversitesi

Prof.Dr. Hasan ERBAY, erbay@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY, mgunay@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Prof.Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof.Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Şükrü KOÇ, koc@eng.ankara.edu.tr, Ankara Üniversitesi

Prof.Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Necmi TAŞPINAR, ntaspinar@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Osman YILDIZ, osmanyildiz@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof.Dr. Nejat YUMUŞAK, nyumusak@sakarya.edu.tr, Sakarya Üniversitesi

Prof.Dr. İbrahim DEVELİ, ideveli@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Doç.Dr. Sertaç BAYHAN, sbayhan@hbku.edu.qa, Hamad Bin Khalifa University

Doç.Dr. Selim ÖNCÜ, soncu@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Doç.Dr. Uğur TEMİZ, ugur.temiz@bozok.edu.tr, Yozgat Bozok Üniversitesi

Doç.Dr. İlker TÜRKER, iturker@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Doç.Dr. Hasan YAMIK, hasan.yamik@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç.Dr. Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Adem DALCALI, adalcali@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Serhat Berat EFE, Sefe@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Kenan HATİPOĞLU, kenan.hatipoglu@mail.vwu.edu, West Virginia Area University

Dr. Öğr.Üye. Yalçın IŞIK, yisik@selcuk.edu.tr, Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdehkharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiement Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Editörler Kurulu/Editorial Board

Prof.Dr. Feyzullah TEMURTAŞ, ftemurtas@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Prof.Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Necmi TAŞPINAR, ntaspinar@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof.Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Şükrü KOÇ, koc@eng.ankara.edu.tr, Ankara Üniversitesi

Doç.Dr. Muhammet Nuri SEYMAN, mseyman@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Doç.Dr. Abdullah YEŞİL, ayesil@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Doç.Dr. Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Doç.Dr. Uğur TEMİZ, ugur.temiz@bozok.edu.tr, Yozgat Bozok Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Onursal ÇETİN, ocetin@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Yalçın IŞIK, yisik@selcuk.edu.tr, Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdekharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiement Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Dr.Öğr.Üyesi Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Yazışma Adresi/ Correspondence Address

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 10200 Bandırma/ Balıkesir, Türkiye

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/bjesr>

bjesr@bandirma.edu.tr

Tel: 0266 717 0117 (3512)

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi hakemli uluslararası bir dergidir/ Journal of Engineering Sciences and Researches is a peer-reviewed international journal

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Üre-Formaldehit Reçine Mol Oranının Yüksek Yoğunlukta Lif Levhanın (HDF) Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Effects of Urea-Formaldehyde Resin Mole Ratio on the Mechanical Properties of High-Density Fiberboards (HDF)

1-8

Osman ÇAMLIBEL, Mehmet AKGÜL

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Farklı Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Alaşım Cinsinin Bazı İşleme Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması

Comparison of the Effect of Alloy Type on Some Machining Properties in Turning Different Aluminum Alloys

9-17

Muharrem PUL, Osman BİCAN

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Covid19 Sürecinin Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of Covid19 Process Effects on the Turkey's Electricity Energy

18-28

Mehmet BULUT

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Kalsit Mineral Katkılı Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF)'nin Yanma Performansının Araştırılması

Investigation of Combustion Performance of Calcite Mineral Added Medium Density Fiberboard (MDF)

29-37

Osman ÇAMLIBEL, Mehmet AKGÜL

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Dağıtım Transformatörlerinin Harmonik Yük Kayıplarının Analizi

Analysis of Harmonic Load Losses of Distribution Transformers Using Finite Element Method

38-46

Yıldırım ÖZÜPAK

Akıllı Evlerdeki Cihazların Enerji Tüketimine Göre Kaynağının Belirlenmesi
*Selecting the Appropriate Energy Source According to the Electrical Power
Consumption of the Devices*
Rezzan Risa ER, Bora UĞURLU, Utku BAYRAM

47-58

Data Mining For CO2 Emissions Prediction In Italy
İtalya'daki CO2 Emisyon Tahmini için Veri Madenciliği
Saleh ABUZIR, Yousef ABUZIR

59-68

Keban Magmatik Kayaçları'nın Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri (Keban-Elazığ)
Petrographic and Geochemical Properties of the Keban Magmatic Rocks (Keban-Elazığ)
Mustafa Eren RİZELİ, Abdullah SAR, Mehmet Ali ERTÜRK

69-80

Çelik Levhalı Perde-Çerçeve Binaların Dinamik Analizi İçin Bir Yaklaşım
An Approach To Dynamic Analysis Of Steel Plate Shear Wall-Frame Buildings
Yasin GÜNGÖR, Kanat Burak BOZDOĞAN

81-91

1-heptanol/benzin karışımlarının kullanıldığı buji ateşlemeli motorun çalışma parametrelerinin
Taguchi tasarım metodu ile iyileştirilmesi
*Improving the operating parameters of the spark ignition engine using 1-heptanol / gasoline
mixtures with Taguchi design method*
Hayri YAMAN, Murat Kadir YEŞİLYURT, Samet Uslu

92-101

Application of Intelligent Optimization Techniques to Spectral and Energy Efficiencies
in Massive MIMO Systems at Different Circuit Power Levels
*Yığın MIMO Sistemlerde Spektral ve Enerji Verimliliklerine Farklı Devre Gücü
Seviyelerinde Zeki Optimizasyon Tekniklerinin Uygulanması*
Burak Kürşat GÜL, Necmi TAŞPINAR

102-111

Ambulance Service For Hospital Selection: Optimization With Discrete-Event Simulation
Application For Yozgat Province Of Turkey

*Hastane Seçiminde Ambulans Hizmeti: Türkiye Yozgat İli Optimizasyon İle Kesikli-Olay
Simülasyon Uygulaması*

112-122

Yasemin Ayaz ATALAN

Determining Suitable Regions for Potential Offshore Wind Farms in Bandırma Bay
using Multi-criteria-Decision-Making Method

*Çok-kriterli Karar Verme Metodu Kullanarak Bandırma Körfezinde Uygun Deniz Üstü
Rüzgar Enerji Santral Alanlarının Tespiti*

123-132

Fatih KARİPOĞLU, Samet ÖZTÜRK, Mustafa Serdar GENÇ

Farklı Yöntemlerle Sentezlenmiş olan ZnO'in Organik Güneş Hücrelerinde Verim
Üzerine Etkisi

The Effect of ZnO Synthesized by Different Methods on Efficiency in Organic Solar Cells

133-140

Semih YURTDAS, Mustafa KARAMAN, Cem TOZLU

Ekmeklik Buğday Islah Programlarında Gluten Kalitesinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Bread Wheat Quality in Bread Wheat Breeding Programs

141-151

Yaşar KARADUMAN, Arzu AKIN, Emel YILMAZ, Seda DOĞAN, Savaş BELEN



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Üre-Formaldehit Reçine Mol Oranının Yüksek Yoğunlukta Lif Levhanın (HDF) Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri

Effects of Urea-Formaldehyde Resin Mole Ratio on the Mechanical Properties of High-Density Fiberboards (HDF)

¹Osman ÇAMLİBEL , ²Mehmet AKGÜL 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarım, Kırıkkale, Türkiye

²Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye

¹osmancamlibel@kku.edu.tr, ²mehmetakgul@kmu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 2 July 2020

Accepted : 17 August 2020

Keywords:

HDF, Mechanical Properties,
Urea Formaldehyde, Moles
Ratio

ABSTRACT

In this study, 50% yellow pine (*Pinus sylvestres* L), 30% fir (*Abies nordmanniana* L), 20% beech (*Fagus orientalis* L) woods were chipped. Chips were cooked at 8.3 bar steam pressure, 186 °C and 3.5 minutes at Andritz defibrillator. According to the dry fiber weight; glues (R;1.17, X;0.98, Y; 0.88) 11%, hardener 0.72% and paraffin 1.38% were given on fibres in the blowline. The fibers were dried to 12% moisture. Continuous hot press (950 mm/sec, 218 °C, 58 sec.) was produced 7.7x2100x2440 mm boards. Test results; density (A; 870.4 kg/m³, B; 875.6 kg/m³, C; 857.4 kg/m³), bending strength (A; 40.97 N/mm², B; 39.90 N/mm², C; 38.08 N/mm²), modulus of elasticity (A; 3814.2 N/mm², B; 3525 N/mm², C; 3356.6 N/mm²), internal bond (A; 1.48 N/mm², B; 1.38 N/mm², C; 1.17 N/mm²) were measured. Consequently, the difference in the mechanical properties of boards was due to the urea-formaldehyde glues used in different mole ratios.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 2 Temmuz 2020

Kabul : 17 Ağustos 2020

Anahtar Kelimeler:

HDF, Mekanik Özellikler,
Üre Formaldehit, Mol Oranı

ÖZET

Bu çalışmada, %50 sarı çam (*Pinus sylvestres* L), %30 göknar (*Abies nordmanniana* L), %20 kayın (*Fagus orientalis* L) odunları yongalanmıştır. Yongalar Andritz defibrilatöründe; 8.3 bar buhar basıncında, 186°C ve 3.5 dakika pişirilmiştir. Kuru lif ağırlığına göre; üç farklı mol üre-formaldehit tutkalları (R;1.17, X;0.98, Y; 0.88) %11 sertleştirici %0.72 ve parafin %1.38 liflere blowline hattında verilmiştir. Lifler %12 rutubete kadar kurutulmuştur. MDF üretim hattında, sürekli sıcak presin hızını 950 mm/sn, pres sıcaklığını 218°C ve 58 saniyede preslenerek 7.7x2100x2440 mm HDF levhalar üretilmiştir. HDF levhalarının test sonuçları; yoğunluğu (A; 870.4 kg/m³, B; 875.6 kg/m³, C; 857.4 kg/m³), eğilme direnci (A; 40.97 N/mm², B; 39.90 N/mm², C; 38.08 N/mm²), elastikiyet modülü (A; 3814.2 N/mm², B; 3525 N/mm², C; 3356.6 N/mm²), çekme mukavemeti (A; 1.48 N/mm², B; 1.38 N/mm², C; 1.17 N/mm²) ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, HDF levhalarının mekanik özelliklerindeki farklılıkların sebebi, farklı mol oranlarında kullanılan üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Amino bazlı reçineler özellikler üre formaldehit reçineleri odun bazlı levha ürünlerini üretimin çok önemli bağlayıcı gurubundadır. Yüksek yoğunlukta lif levhalar (HDF) büyük çoğunluğu iç mekanlarda HDF laminant olarak zemin kaplamada kullanılmaktadır. HDF laminantlar iç mekân tasarımların zemin döşemede vazgeçilmez önemli bir üründür.

Eroğlu ve Usta yaptığı çalışmada, serbest formaldehitin odun bazlı levhalardan açığa çıkma biçimi üzerine çalışma yapmıştır [4]. Çalışmasına göre serbest formaldehit, ilk sıcak preslemeden sonra ikincisi kullanım yerlerinde açığa çıktığını ifade etmişlerdir. Grigsby vd. yaptıkları çalışmada MDF levhasını oluşturan liflerin dağılımını analiz etmek ve azot içerikli üre formaldehit liflere kaplayarak x ışını foto elektron spektroskopi yöntemi ile analiz edilmiştir [8]. Çalışmalarına göre lif yüzeyine kaplanan reçine, parafin içeriği, reçine sprey damlacık boyutu, reçine püskürtme memesinin blowline'daki konumu üzerine çalışmışlardır. Angelatos, yaptığı çalışmada, üre formaldehit, melamin formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkallarının kimyasal yapıları üzerine çalışmıştır. Araştırmaya göre, reçine sentezleme adımlarında metilasyon aşamasından sonra melamin ve ürenin birlikte yoğunlaşmayıp ağırlıklı olarak melamin ve ürenin kendi kendine yoğunlaştığını ifade etmiştir [1]. Xing vd. yaptıkları çalışmada, MDF üretim hattında reçine hazırlama ile sıcak pres arasında geçen safhada reçinenin ön kürleşmesi derecesinin levhanın çekme mukavemetini üzerine etkisi DSG (differential scanning calorimetry) yöntemiyle çalışmışlardır [28]. Araştırma sonucuna göre çekme mukavemeti ile DSC arasında reçine ön kürleşmesi ile doğrusal bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Louis Cyr vd. yaptıkları çalışmada, gerçek ölçekte MDF üretim hattında deneylerini yapmışlardır. Çalışmalarına göre, rafiner ünitesi blowline hattında kırmızı parlak boya ile tutkal liflere püskürtülmüştür. Üre melamin formaldehit reçinesinin lif içindeki dağılımını konforal lazer tarama mikroskobu ile araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda; tutkalın liflere %22.5 oranında homojen kaplandığı görülmüştür. Liflerde kayıp reçine ise lif üzerindeki. Lümen, çukurlar ve çatlaklar aşırı reçineyi absorbe etmesinden dolayı tutkal kayıplarına neden olduğunu açıklamışlardır [11].

Park vd. yaptıkları çalışmada üre formaldehit reçinesinde formaldehit mol oranının etkisi üzerine araştırma yapmışlardır [15]. Çalışmaya göre üre formaldehit tutkalına melamin eklendikçe üre melamin formaldehit tutkalında (UMF) düşük hidrolitik stabilite sağlanmaktadır. Kürlenmiş UMF reçinesi asit hidrolizine karşı duyarlılığını ifade etmektedir. Hashim vd. MDF üretim hattında kavuçok ağacı liflerine odun kurusu lif ağırlığına oranla %15 üre formaldehit ve yangın geciktirici (sodyum alüminat, alüminyum trihidrat ve çinko borat) %10, %15, %20 ve %30 oranlarında kullanılarak üretilen MDF levhalarının fiziksel, mekanik özellikleri ve yangına karşı direnç testleri yönüyle çalışmışlardır [9].

Kim, yaptığı çalışmada, mobilya malzemesi olarak kullanılan orta yoğunlukla lif levhaların (MDF) içindeki formaldehit gaz emisyonunu ve uçucu bileşikler azaltmak amacıyla ponza minerali formaldehit tutucu olarak kullanmışlardır. Ürettikleri levhaların fiziksel, mekanik özellikleri ve formaldehit gaz analizini (küçük chamber yöntemi) ölçmüşlerdir. Ponza mineralinin formaldehit gazını tutma performansını ölçmüşlerdir [10].

Alpar vd. yaptıkları çalışmada; MDF/HDF üretim prosesinde kullanılabilecek ağaç türlerini araştırmak amacıyla; 1214 kavak, kavak türleri, kara keçiboynuzu, kara çam ağaçları kullanarak laboratuvar ortamında MDF üretmişlerdir. Üretilen levhaların fiziksel ve mekanik testlerini yapmışlardır [2]. Testlerde sadece çekme dışında tüm testler araştırmacıların beklentilerini karşılamıştır. Roffael vd. araştırmalarında, üre formaldehit ile üretilmiş yongalevha ve liflevhaların geri dönüşümü ile hazırlanmış termomekanik yöntemle üretilen lifler ile normal odundan üretilmiş liflerin özellikleri karşılaştırılmıştır [16]. Geri dönüşümden elde edilen lifin marfolojik ve kimyasal özelliklerini değiştiğini göstermişlerdir. Geri dönüşümden elde edilen lifler ile üretilen levhaların formaldehit emisyonun arttığı ve fiziksel, mekanik özelliklerde önemli değişiklik görmemişlerdir. Buna ilaveten geri dönüşüm içindeki bozulmuş kimyasallar MDF üretiminde kullanılan yeni reçine ile kimyasal etkileşime girdiğini açıklamışlardır.

Park ve Jeong yaptığı çalışmalarında yüksek mol üre formaldehit reçinesi (F/Ü: 1.6 ile 1.4) ile düşük mol üre formaldehit reçinesi (F/Ü: 1.2 ile 1.0) kürleşmiş üre formaldehit reçinelerinin etki eden faktörleri analiz etmiştir [14]. Çalışmalarına göre; üre formaldehit reçine üretiminde formaldehit katılımı azaldıkça reçinenin amorf ve kristalin bölgesinde hidrolitik dengenin daha stabil olduğunu ifade etmişlerdir. ÜF reçinenin kürleşme sıcaklığı, kürleşme süresi artıkça kristalin bölge yoğunluğu arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak kristalin bölgesinin 2 teta açılarından dolayı sertleşme sıcaklığı, sertleşme süresi, sertleştirici tipi, sertleştirici miktarı bu bölgeye etki etmediği dolayısıyla reçinenin doğal formundan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Martin vd. yaptıkları çalışmada MDF yüzeyine doğal kayın kaplamasını üre formaldehit reçinesi sıcak pres altında yapışma mukavemeti ile ilgilidir [12]. Çalışma sonucunda MDF levha yüzeyine yapıştırılan kayın kaplamasında uzun presleme sonucunda yüzey sağlamlığında azalma olduğunu göstermişlerdir.

Grigsby ve Thumm çalışmalarında, MDF üretim hattında, floresan boya katkılı üre formaldehit reçinesi ve parafin kullanarak odun hücresi boyunca dağılımı ve hareketliliği üzerine analiz yapmışlardır. Rafiner çıkışı blowline hattında üre formaldehit reçinesinin lif yüzeyine kaplanması ve lif life bağlanma derecesi reçine damlacık boyutu ile doğru orantılı olduğunu ifade etmişlerdir. Parafin türleri (emülsiyon parafini, hafif katı parafin) prosese verilmiş yerine göre farklılık olabildiğini açıklamışlardır [7]. Roffael ve Behn, yaptıkları çalışmada, yongalevha üretiminde kullanılan yüksek mol oranlı üre formaldehit reçinesi ile düşük mol üre formaldehit reçinesini levha oluşumuna etkileri ve çevre açısından serbest formaldehit gaz emisyonları hakkında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir [17]. Costa vd. yaptığı çalışmada, yonga levha üretiminde formaldehit gaz emisyonunu

azaltmak amacıyla üç farklı formaldehit tutucu (sodyum metabisülfid, amonyum bisülfid) kullanarak ürettikleri yonga levhaların fiziksel, mekanik özelliklerini ve perforatör ve desikatör yöntemiyle formadehit emisyon performansını analiz etmişlerdir [3].

Mao ve Kim, yaptığı araştırmasında, düşük mol içerikli üre formaldehit tutkalın yapısındaki metilen eter gruplarının odun bazlı kompozit levha ürünlerinde formaldehit emisyon etki değeri üzerine çalışmıştır [13]. Yaptığı çalışmanın sonucunda üre formaldehit tutkalında metil eter gruplarının artması formaldehit emisyonun artırma potansiyeli olduğunu ifade etmişlerdir. Grigsby vd., yaptıkları çalışmada, kürlenmiş reçinenin su ekstraksiyonu ile reçinenin hidrolitik dengesine etkisi araştırılmıştır [6]. MDF üretimi sırasında lif üzerinde çok aktif olan üre formaldehit reçinesi sertleşme sonucunda çapraz bağlı, reçine matriksine eksik katılımların olmasından dolayı ÜF reçinesinin kürleşmesi tamamlanamamaktadır. Araştırmaya göre su ile ekstraksiyonda %50-70 bağlanma kayıpları oluşabildiğini açıklamışlardır. Dazmiri ve ark., yaptıkları çalışmalarında, 1.9, 2.1 ve 2.3 mol oranlarına sahip MDF panelleri üzerinde şişme, eğilme direnci, elastikiyet modülü çekme mukavemetine ve formaldehit gaz emisyonu testlerini belirlemişlerdir [30]. Sani ve Enayiti, yaptıkları çalışmada, endüstriyel odun lifleri ile melamin reçine emdirilmiş kâğıt atıklarının %10, %20, %30 oranlarında karıştırarak ve reçine kuru life oranla %8 ve %10 kullanarak üretilen orta yoğunlukta lif levhaların fiziksel ve mekanik testleri yönüyle araştırmışlardır [18]. Son yıllarda Türkiye'de MDF/HDF üretimi 4.910.000 m³/yıl Avrupa'da birinci sırada yer almaktadır. 2018 yılında Avrupa da MDF üretimi yaklaşık 17.764.338 m³/yıl olmuştur. Dünyada 99.443.242 m³/yıl üretim gerçekleşmiştir [5].

Bu çalışmada, orta yoğunlukta lif levha üretimin prosesinde üretim parametreler sabit kalarak, üç farklı mol oranlarında sentezlenen formaldehit bazlı üre reçinelerinin HDF levhalardaki performansı araştırılmıştır. Üretilen HDF levhalarının bazı mekanik özellikleri yönüyle araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Hammadde

Bu çalışmada; %60 sarı çam (*Pinus sylvestres* L), %20 göknar (*Abies nordmanniana* L), %20 kayın (*Fagus orientalis* L) kullanılmıştır. Bu odunlar Kastamonu Daday bölgesinden temin edilerek Kastamonu Organize Sanayi Bölgesinde özel bir MDF üretim tesisine getirilmiştir.

2.2. Tutkal

Üre formaldehit tutkalları Kastamonu Tutkal Üretim Tesisleri'nde üretilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan üre formaldehitin reçinesinin kimyasal analiz değerleri;

1.17 mol ÜF tutkalın özellikleri;

- Katı madde: 63±1
- Üre-Formaldenit mol oranı: 1.17
- Yoğunluk (20 °C g/cm³):1.227
- Vizkosite (25 °C cps) :20-35 sn
- jel zamanı (100°C) (20% (NH₄)₂SO₄):20-45 sn
- pH: 7- 8.5
- Serbest formaldehit: %0.20 max
- Metilol grups %12-15
- Raf ömrü: 75 gün

0.98 mol ÜF tutkalın özellikleri;

- Katı madde: 58±1
- Üre-Formaldenit mol oranı: 0.98
- Yoğunluk (20 °C g/cm³):1.227
- Vizkosite (25 °C cps) :15-35 sn
- jel zamanı (100 °C) (20% (NH₄)₂SO₄): 20-60 sn
- pH: 7- 8.5
- Serbest formaldehit: %0.18 max
- Metilol grup %12-15
- Raf ömrü: 75 gün

0.88 mol ÜF tutkalın özellikleri;

- Katı madde: 58±1
- Üre-Formaldenit mol oranı: 0.88
- Yoğunluk (20 °C g/cm³):1.227
- Vizkosite (25 °C cps) :15-35 sn
- Jel zamanı (100 °C) (20% (NH₄)₂SO₄): 30-75 sn

- pH: 7- 8.5
- Serbest formaldehit: %0.15 max
- Metilol grup %12-15
- Raf ömrü: 75 gün

2.3. Parafin

Parafin rengi kirli beyaz sıvıdır. Denizli ilinden faaliyet gösteren özel bir işletmeden tedarik edilmiştir.

- Katı madde: %60
- pH: 9-10
- Viskosite: 13-23 sn
- Yoğunluğu: 0.96 gr/cm³

%20'lik çözelti özellikleri

- Yoğunluğu; 0.95 gr/cm³
- pH: 6.5'dir.

2.4. Sertleştirici

Üre formaldehit tutkalını sertleştirilmesinde katalizör olarak amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ kullanılmıştır. İstanbul'dan özel bir firmadan tedarik edilmiştir.

Kullanılan katalizör %20'lik amonyum sülfat (NH₄)₂SO₄ solüsyondur.

%20'lik çözelti özellikleri

- Yoğunluğu; 0.95 gr/cm³
- pH: 6.5'dir.

2.5. Üretim Parametreleri

Bu çalışmada uygulana üretim parametreleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Test grubundaki levhalar A, B, C semboli ile ifade edilmiştir. Üç farklı mol üre-formaldehit tutkalı F:Ü; A; 1.17, B; 0.98 ve C; 0.88 mol üre-formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Deneme levhalar Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic AŞ Kastamonu MDF Tesislerinde üretimi yapılmıştır.

Çizelge 1. HDF üretim parametreleri

Testler	Üre Formaldehit Mol Oranı (F: Ü)	Tutkal Life Göre Tüketim (%)	Parafin Life Göre Tüketim (%)	Pres Süresi (sn)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres Hızı (mm/sn)	Levha Ölçüleri (mm)
A	1.17	11	1.38	58	218	950	7.7x2100x2440
B	0.98	11	1.38	58	218	950	7.7x2100x2440
C	0.88	11	1.38	58	218	950	7.7x2100x2440

2.6. HDF Levhalarının Üretimi

İlk olarak, sert ağaç ve yumuşak ağaç türleri Batı Karadeniz ormanlarından getirilmiştir. MDF üretiminde, çam, kayın ve göknar odunları hammadde olarak kullanılmış ve daha sonra bu türler yongalanmıştır. Üretim parametrelerine göre tek tek silolarda depolanmıştır. Cipsler, Andritz defibrilatöründe 8.3 bar buhar basıncı içinde 186°C'de 3.5 dakika pişirildi. Reçineler ve diğer kimyasallar tutkal fabrikasında hazırlanmıştır. HDF üretim hattındaki kimyasal tank depolarına sevk edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 1.17 mol üre formaldehit tutkalı, 0.98 mol üre formaldehit tutkalı ve 0.88 mol üre formaldehit tutkalı ayrı ayrı tanklarda depolanmıştır. Daha sonra tanklarda depo edilen sıvı parafin, amonyum sülfat ve üre formaldehit üretim parametrelerine göre sırasıyla defibratör tarafından liflendirilmiş liflere blowline hattında üretime verilmiştir. Üre formaldehit kuru lif ağırlığına göre %11 oranında verilmiştir. Sertleştirici olarak amonyum sülfat kuru life ağırlıkça %0.72 kullanıldı. Parafin, kuru life ağırlıkça %1.38 olarak ilave edilmiştir.

Lifler kurutucuda %12 rutubete kadar kurutulmuştur. HDF levhalar sürekli sıcak preste üretilmiştir. Sürekli sıcak pres parametreleri; pres sıcaklığı; 218°C presleme hızı yaklaşık 950 mm/sn, pres faktörü yaklaşık 8.50 sn/mm presleme süresi boyunca uygulanmıştır. Levhaların boyutları 7.7mmx2100mmx2440mm boyutlarında kesilmiştir. Daha sonra, levhalar 5 gün boyunca ön depolamada dinlendirilmiştir. Levhalar burada

iklimlendirilmiştir. Bu işlemde sonra panellerin üst ve alt yüzeyleri 40, 80, 150 kum zımpara kâğıdı ile zımparalanmıştır.

Levhalar 20 ± 2 ve $\%65 \pm 5$ bağıl nem (RH) koşullarında TS 642-ISO 554 (1997) standardına göre kondisyonlanmıştır [19]. Testler üç farklı kademede Çizelge 1 parametrelerine göre üretilmiştir. HDF levhalar A (874 kg/m^3), B (881 kg/m^3) ve C (860 kg/m^3) hedef yoğunluğunda $7.7\text{mm} \times 2100\text{mm} \times 2440 \text{ mm}$ boyutlarında sürekli sıcak preste üretilmiştir. Bu çalışmada HDF levhaların yoğunluğuna, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve levha düzlemine dik çekme mukavemeti performans testlerine bakılmıştır.

Deneylerde üç farklı mol oranlarında (1.17, 0.98 ve 0.88) sentezlenen üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Levhalar $7.7\text{mm} \times 2100\text{mm} \times 2440\text{mm}$ boyutlarında HDF levhalar sonsuz bantlı sıcak pres MDF üretim hattında üretimi gerçekleştirilmiştir. HDF levhalarının üretim parametreleri Çizelge 1’de gösterilmektedir. Bu çalışmada toplam mekanik testler için 60 adet ölçüm yapılmıştır.

Levhalara uygulanan testler; levhaların birim hacim ağırlığının tayini TS-EN 323, levhaların boyutlarının tayini (kalınlık, genişlik ve uzunluğun) [23], TS EN 324-1, deney numunelerinin boyutlarının tayini [24], TS EN 325, levhalardan numune alma kesme ve muayene bölüm (deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi) tayini [25], TS EN 326-1, levhaların standart kondisyonlama tayini [26], TS 642 ISO 554 [19], TS-EN 316 [20] ve levha özellikleri (bölüm 1, genel özellikler) TS 64-1 EN 622-1, standartlarına göre testleri yapılmıştır [27]. TS EN 310, levhalarda eğilme ve eğilme dayanımı esneklik modülü [21], TS EN 319, levha düzlemine dik çekme dayanım standartları uygulanmıştır [22].

Testlerde İmal IB700 laboratuvar test cihazı kullanılmıştır. Verilen istatistiksel analizde SSPS 22 paket programından yararlanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA’da farklılıkların tespit edilmesi için Post hoc testlerinden Duncan testi ile farklılıklar araştırılmıştır. Sonuçlar $p < 0.05$ ’te istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Veriler tek yönlü varyans analizi ve Duncan (ANOVA) analizine göre istatistiki değerlendirmeler yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mekanik Test Sonuçları

Üç farklı mol ÜF (A; 1.17, B; 0.98, C; 0.88) reçinesi ile üretilen HDF levhalarının mekanik testlerinin sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. HDF levhaların mekanik testlerinin performans sonuçları.

Testler	Gruplar	Ort.x	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için%95 Güven Aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır	Üst sınır		
Yoğunluk (kg/m^3)	A	870.4 ^a	3.91	1.75	865.54	875.26	864.00	874.00
	B	875.6 ^a	5.37	2.40	868.94	882.26	867.00	881.00
	C	857.4 ^b	4.83	2.16	851.41	863.39	850.00	861.00
Eğilme Mukavemeti (N/mm^2)	A	40.95 ^a	1.06	0.47	39.64	42.26	39.85	41.95
	B	39.90 ^b	0.13	0.06	39.74	40.06	39.79	40.12
	C	38.07 ^c	1.03	0.46	36.80	39.36	37.03	39.16
Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	A	3814.2 ^a	24.80	11.09	3783.40	3845.00	3784.00	3845.00
	B	3525.0 ^b	10.95	4.90	3511.40	3538.60	3514.00	3543.00
	C	3356.6 ^c	17.17	7.68	3335.28	3377.92	3333.00	3378.00
Çekme Mukavemeti (N/mm^2)	A	1.48 ^a	0.03	0.01	1.45	1.52	1.45	1.53
	B	1.38 ^b	0.02	0.01	1.36	1.40	1.36	1.40
	C	1.17 ^c	0.05	0.02	1.11	1.23	1.11	1.22

X; levhaların ortalama değerlerini, *Ortalama ANOVA için% 95 güven aralığı. a, b, c harfleri aynı harfle anlamlı olarak farklı değildir (Duncan testi).

Yoğunluk değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasında yoğunluğu 870.4 kg/m^3 ölçülmüştür. B levhasının yoğunluğu 875.6 kg/m^3 ve C levhasının yoğunluğu 857.4 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Testlerdeki HDF levhaların yoğunlukları birbirine yakın ölçülmüştür.

Çizelge 2’ye göre istatistiki ANOVA (Duncan) test hesaplama sonucunda A, B ve C arasında anlamlı anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık HDF üretimi esnasında tutkalın üre ve formaldehit mol oranından kaynaklanmaktadır. A levhası B levhasına göre yoğunluğu $\%0.59$ artarken C levhasının yoğunluğuna göre $\%1.52$ yoğunluğu fazla ölçülmüştür.

Levhalarının eğilme mukavemeti test sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasının eğilme mukavemeti 40.95 N/mm², B levhasının eğilme mukavemeti 39.90 N/mm², C levhasının eğilme mukavemeti 38.07 N/mm² ölçülmüştür. HDF levhaların eğilme mukavemeti sonuçları istatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan; farklı mol oranları ile sentezlenen üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada tek değişken farklı mol oranları ile sentezlenen üre formaldehit tutkalıdır. A levhası B levhasına göre eğilme mukavemeti test sonucu %2.63 azalmıştır. A levhası C levhasına göre eğilme mukavemeti %7.54 oranında azalmıştır. Bu çalışmada A levhasının test sonucu en yüksek performans sergilemiştir.

Levhalarının eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3814.2 N/mm², B levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3525 N/mm², C levhasının eğilmede elastikiyet modülü 3356.6 N/mm² ölçülmüştür. HDF levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları istatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde kullanılan; üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. Bu araştırmada tek değişken farklı üre formaldehit tutkalıdır. A levhası B levhasına göre eğilmede elastikiyet modülü test sonucu %8.20 azalmıştır. A levhası C levhasına göre eğilme mukavemeti %13.63 oranında azalmıştır. Bu çalışmada A levhasının test sonucu en yüksek performans göstermiştir.

A, B, C levhalarının çekme mukavemeti test sonuçları çizelge 2’de gösterilmiştir. A levhasının çekme mukavemeti 1.48 N/mm², B levhasının çekme mukavemeti 1.38 N/mm², C levhasının çekme mukavemeti 1.17 N/mm² ölçülmüştür. HDF levhaların çekme mukavemeti sonuçları istatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. Bu farklılık üretimde tek değişken olarak üre formaldehit tutkalından kaynaklanmaktadır. A levhası B levhasına göre çekme mukavemeti test sonucu %7.83 azalmıştır. A levhası C levhasına göre çekme mukavemeti %27.18 oranında azalmıştır. Bu çalışmada çekme mukavemeti en yüksek performans gösteren A levhasıdır. Quea vd 2007 yılında yaptıkları çalışmada, (F:Ü) 1.27, 1.19 ve 1.05 mol oranları üre formaldehit tutkalı ile yongalevha üretimi yapmıştır [29]. Çalışması sonucunda üre formaldehit tutkalında mol oranı azaldıkça levhalarda mekanik test sonucu; eğilme mukavemeti, eğilmede elastikiyet modülü, çekme mukavemetini azaldığını ifade etmiştir. Quea vd. 2007 yılındaki çalışmasının sonuçları, üre-formaldehit reçine mol oranının HDF’nin mekanik test sonuçlarını desteklemektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; üretim prosesinde tüm parametreler aynı olmasına rağmen, üretiminde tek değişken üre formaldehit tutkalın mol oranlarında olmuştur. Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların eğilme mukavemeti, eğilmede elastikiyet modülü, çekme mukavemeti test sonuçlarında değişiklik olmuştur.

Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların eğilme mukavemeti değerlerinde değişiklik olmuştur. ÜF tutkalının mol oranının azalması levhalarda eğilme mukavemeti değerleri azalmıştır. Tutkalın mol oranı azaldıkça levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri azalmıştır.

Tutkalın mol oranı (F: Ü); 1.17 mol den 0.88 mol oranına düştükçe levhaların çekme mukavemetinde en fazla %27.18 oranında azalma gerçekleşmiştir.

HDF üretiminde üre formaldehit tutkalı sentezleme aşamasında formaldehit oranı azaldıkça ve sentezlenen üre formaldehit mol oranı azaldıkça levhalarda mekanik mukavemet test sonuçları azalmıştır.

Bu çalışma sonucunda üretilen levhaların TS EN standartların belirlediği kriterler içinde kalmak koşuluyla F: Ü; 1.17 mol üre formaldehit ve F: Ü; 0.98 mol üre formaldehit reçinesi mekanik değerler sonucuna göre HDF üretiminde kullanılması önerilebilir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

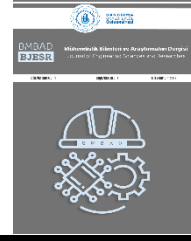
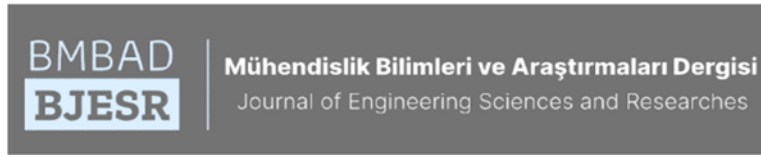
Teşekkür

Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Tic. A.Ş., Kastamonu-Samsun Fabrikalar Direktörü Enüs KOÇ’a, yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

KAYNAKÇA

- [1] A. S. Angelatos, "NMR structural elucidation of amino resins", *Journal of Applied Polymer Science*, 91(6):3504–3512. DOI:10.1002/app.13538, 2004.
- [2] T. Alpar, T. Faczan, I. Racz and Katoli, G, "MDF/HDF Production from Plantation Wood Species. *Drvna Industrija*, 61 (3) 183-191, 2010.
- [3] N. A. Costa, J. Pereira, J. Ferra, P. Cruz, J. Martins, F. D. Magalhães, A. Mendes and L. H. Carvalho, "Scavengers for achieving zero formaldehyde emission of wood-based panels", *Wood Science and Technology*, 47, 1261–1272, 2013.
- [4] H. Eroğlu ve M. Usta, "Lif Levha Üretim Teknolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 200, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon, s. 351, 2000.
- [5] Faostat, "Forestry Production and Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations", <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, Accessed: 24.01.2020.
- [6] W. J. Grigsby, J. E.P. Carpenter and R. Sargent, "Investigating the Extent of Urea Formaldehyde Resin Cure in Medium Density Fiberboard: Resin Extractability and Fiber Effects", *Journal of Wood Chemistry and Technology* Vol; 34, Issue 3, <https://doi.org/10.1080/02773813.2013.861850>, 2014.
- [7] W. J. Grigsby, and A. Thumm, "Resin and wax distribution and mobility during medium density fibreboard manufacture", *European J. Wood and Wood Products*, 70(1–3): 337–348. DOI: 10.1007/s00107-011-0560-0, 2012.
- [8] W.J. Grigsby, A. G. McDonald, A. Thumm and C. Loxton, "X-ray photoelectron spectroscopy determination of urea formaldehyde resin coverage on MDF fibre", *Holz als Roh- und Werkstoff: European Journal of Wood and Wood Industries*. 62(5):358-364, 2004.
- [9] R. Hashim, O. Sulaiman, R.N. Kumar, P. F. Tamyaz, R.J. Murphy and Z. Ali, "Physical and mechanical properties of flame-retardant urea formaldehyde medium density fiberboard", *Journal of Materials Processing Technology*.vol;209, issue;2, pages 635-640. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.036>, 2009.
- [10] S. Kim, "The reduction of indoor air pollutant from wood-based composite by adding pozzolan for building materials", *Constr Build Mater* 23(6):2319–2323, 2009.
- [11] P. Louis Cyr, B. Riedl and X. M. Wang, "Investigation of Urea-Melamine-Formaldehyde (UMF) resin penetration in Medium-Density Fiberboard (MDF) by High Resolution Confocal Laser Scanning Microscopy", *Holz als Roh- und Werkstoff: European Journal of Wood and Wood Products*. 66(2):129-134, 2008.
- [12] J. Martins, C. Coelho, J. Ferra, P. Cruz and L. Carvalho, "Low formaldehyde emission MDF overlaid with wood veneer: bonding problems assessment", *International Wood Products Journal*. Vol;3 pages 1–31, 2012.
- [13] A. Mao and M.G. Kim, "Low mole ratio urea-melamine-formaldehyde resins entailing increased methylene-ether group contents and their formaldehyde emission potentials of wood composite boards", *BioResources*, 8 (3): 4659-4675, 2013.
- [14] B. D. Park and H. W. Jeong, "Hydrolytic stability and crystallinity of cured ureaformaldehyde resin adhesives with different formaldehyde/urea mole ratios. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(6): 524–529. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2011.05.001, 2011.
- [15] B. D. Park, S. M. Lee and J. K. Roh, "Effects of formaldehyde/urea mole ratio and melamine content on the hydrolytic stability of cured urea-melamine-formaldehyde resin", *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(1): 121–123. DOI: 10.1007/s00107-008-0277-x, 2009.
- [16] E. Roffael, B. Dix, C. Behn and G. Bär, "Use of UF-bonded recycling particle- and fibreboards in MDF-production", *European Journal of Wood and Wood Products* vol; 68, pages121–128, 2010.
- [17] E. Roffael and C. Behn, "On the influence of binder content in particleboards bonded with resins of high and low molar ratio on the formaldehyde release measured by the perforator method", *European Journal of Wood and Wood Products* vol; 70, pages819–822, 2012.
- [18] F. R. Sani and A. A. Enayiti, "Reduced use of urea-formaldehyde resin and press time due to the use of melamine resin-impregnated paper waste in MDF", *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. vol. 17, pages100–105, 2020.
- [19] TS 642-ISO 554, "Kondisyonlama ve/veya Deney İçin Standart Atmosfer – Özellikler", TSE, Ankara, 1997.
- [20] TS-EN 316, "Odundan mamul lif levhalar-tarifler, sınıflandırma ve semboller", TSE, Ankara, 2011.
- [21] TS EN 310 "Ahşap esaslı-paneller, eğilme ve eğilme dayanımı esneklik modüllerinin belirlenmesi", TSE, Ankara, 1999.
- [22] TS EN 319 "Yonga levhalar ve suntalar, levha düzlemine dik çekme dayanımının belirlenmesi", TSE, Ankara, 1999.
- [23] TS-EN 323, "Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini", TSE, Ankara, 1999.

- [24] TS EN 324-1, “Ahşap esaslı levhalar-levha boyutlarının tayini-bölüm 1: kalınlık, genişlik ve uzunluğun tayini”, TSE, Ankara, 1999.
- [25] TS EN 325, “Ahşap esaslı levhalar-deney numunelerinin boyutlarının tayini. TSE, Ankara, 2008.
- [26] TS EN 326-1, “Ahşap esaslı levhalar-numune alma kesme ve muayene bölüm 1: deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi”, TSE, Ankara, 1999.
- [27] TS 64-1 EN 622-1, “Lif levhalar özellikler-bölüm 1: genel özellikler”, TSE, Ankara, 2005.
- [28] C. Xing, B. Riedl, A. Cloutier and G. He, “The effect of urea-formaldehyde resin pre-cure on the internal bond of medium density fiberboard”, Holz als Roh- und Werkstoff vol:62, pages 439–444, 2004.
- [29] Z. Quea, T. Furunoa, S. Katoha and Y. Nishinob, “Effects of urea–formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard”, Building and Environment 42, pages1257–1263, 2007.
- [30] MK. Dazmiri, MV. Kiamahalleh, A. Dorieh and A. Pizzi. Effect of the Initial F/U Molar Ratio in Urea-Formaldehyde Resins Synthesis and its Influence on the Performance of Medium Density Fiberboard Bonded with Them. International Journal of Adhesion and Adhesives, 95, DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2019.102440, 2019.



Farklı Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Alaşım Cinsinin Bazı İşleme Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması

Comparison of the Effect of Alloy Type on Some Machining Properties in Turning Different Aluminum Alloys

¹Muharrem Pul , ²Osman Bican

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

² Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

¹mpul@kku.edu.tr, ²bican@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 29 August 2020

Accepted: 12 November 2020

Keywords:

Turning, Al 2024, Al 6061, Al7075, Machinability

ABSTRACT

In this study, cutting tool wear behavior, chip shapes and surface roughness were compared in turning Al2024, Al6061 and Al7075 aluminum alloy which are widely used in industry. As a result of the processing tests; Heaped sawdust (BUE) has occurred in almost all cutting tools. Considering the amount of YT, the highest YT occurred in Al2024 aluminum alloy, while the lowest YT formation was observed in Al7075 aluminum alloy. With increasing cutting speed, there was a decrease in the amount of BUE. Little flank wear has been detected on the cutting tools. In machining experiments, four types of sawdust were generally formed: long helical, short helical, curved adjacent and entangled. With the increase of cutting speed, surface roughness values decreased in Al2024 aluminum alloy, while roughness values increased in Al6061 alloy. When evaluated in terms of machinability according to the cutting parameters used, it was concluded that Al 7075 aluminum alloy is more suitable than others.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 29 Ağustos 2020

Kabul : 12 Kasım 2020

Anahtar Kelimeler:

Tornalama, Al 2024, Al 6061, Al7075, İşlenebilirlik

ÖZET

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan Al2024, Al6061 ve Al7075 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında, kesici takım aşınma davranışları, talaş şekilleri ve yüzeylerin pürüzlülüklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. İşleme deneyleri sonucunda; neredeyse tüm kesici takımlarda yığıntı talaş (YT) meydana gelmiştir. YT miktarları olarak bakıldığında en fazla YT Al2024 alüminyum alaşımında meydana gelirken, en az YT oluşumu Al7075 alüminyum alaşımında gözlenmiştir. Artan kesme hızı ile YT miktarlarında azalma görülmüştür. Kesici takımlarda az miktarda yan yüzey aşınması tespit edilmiştir. İşleme deneylerinde genel olarak uzun helisel, kısa helisel, kavisli bitişik ve dolaşık olmak üzere dört çeşit talaş tipi oluşmuştur. Kesme hızının artmasıyla Al2024 alüminyum alaşımında yüzey pürüzlülük değerleri azalırken, Al6061 alaşımında pürüzlülük değerleri yükselmiştir. Kullanılan kesme parametrelerine göre işlenebilirlik açısından değerlendirme yapıldığında, Al 7075 alüminyum alaşımının diğerlerine göre daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Alüminyum günümüzde çelikten sonra en fazla üretilen ve kullanılan metal olma özelliğindedir. İnşaat, otomotiv, uçak ve havacılık gibi pek çok endüstri alanının talebi olarak çok çeşitli özellik ve şekillerde alüminyum parçalar üretilmektedir. Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet, kolay işlenebilirlik ve yüksek elektrik ve ısı iletkenliği gibi özelliklere sahiptir [1]. Alüminyum alaşımları, titanyum ve magnezyum alaşımları gibi diğer hafif metal ailelerine kıyasla, en yüksek seviyede işlenebilirlik sunan malzeme ailesi olarak kabul edilir.

Alüminyum alaşımları dökme alaşımlar ve dövme alaşımlar olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Ayrıca, ısıl işlemle sertleştirilebilen ve sertleştirilemeyen olmak üzere de kendi aralarında ayrılırlar. Dövme alüminyum alaşımları genellikle mükemmel işlenebilirliğe sahiptir. Alüminyum alaşımları 1XXX'den 8XXX'e kadar sekiz seri olarak standartlaştırılmışlardır. Her seri alüminyum içerisinde baskın halde bulunan bir alaşım elementi mevcuttur. Tablo 1'de alüminyum alaşımlarına ait sınıflandırma verilmiştir.

Tablo 1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Seri	Temel alaşım elementi	Isıl işlem
1XXX	Minimum % 99 ve daha yüksek saflıkta alüminyum	Yok
2XXX	Bakır	Var
3XXX	Manganez	Yok
4XXX	Silisyum	Yok
5XXX	Magnezyum	Yok
6XXX	Magnezyum+Silisyum	Var
7XXX	Çinko	Var
8XXX	Diğer elementler	Var

Bu çalışmada endüstriyel olarak en fazla kullanım sahası olan ve ısıl işlem görebilen 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımları seçilmiştir. Bu amaçla Al 2024, Al 6061 ve Al 7075 kalite alaşımlar tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Konuyla ilgili literatürde yer alan çalışmalar mevcuttur ve farklı işlenebilirlik kriterleri araştırılmıştır.

Sekmen ve ark. (2015) çalışmalarında, AA 2011 ve AA 7075 alüminyum alaşımlarının işlenmesinde, kesme parametrelerinin (takım talaş açısı ve kesme hızı) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelenmiştir. Ayrıca, kesme parametreleri ile takım talaş yüzeyinde oluşan Yığıntı Katmanı (YK) ve Yığıntı Talaş (YT) arasındaki etkileşimler değerlendirilmiştir. Her iki alaşım için ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri, talaş açısının büyük değerlerinde (15° ve 20°) düşük çıkarken, AA 7075 alaşımında özellikle talaş açısının küçük değerlerinde (0° ve -5°) oldukça yüksek çıkmıştır. AA 7075 alaşımında, AA 2011 alaşımına göre daha fazla YK ve YT oluşumu meydana gelmiştir [2]. Vilches ve ark. (2017) UNS A97075-T6 (Al-Zn) ve UNS A92024-T3 (Al-Cu) alaşımlarının kuru işlemede kesme parametrelerinin talaş morfolojisini etkileme yolu üzerine bir çalışma yapmıştır. Talaş morfolojisinin farklı geometrik parametreleri elde edilmiş ve ilerleme ile talaş değişimleri analiz edilmiştir. Her iki alaşım için de, talaş grupları oluşturma eğilimi ile düşük ilerleme aralığında sürekli bir talaş elde edilirken, daha yüksek yem aralığında parçalı ve daha kısa bir talaş elde edildiği rapor edilmiştir [3]. Akgün ve ark. (2017) çalışmalarında, Al-12Si ingot alaşımı geleneksel döküm yöntemine göre rezistanslı ergitme ocağında ergitilip metal kalıba dökülerek üretilmiştir. Optimum işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla (250, 350 ve 450 m/dak) kesme hızı (0,1 0,15 ve 0,2 mm/dev) ilerleme hızı, ve (0,5 1 ve 1,5 mm) talaş derinliği üç farklı seviyede tanımlanarak Taguchi'nin L9 dikey dizini ile deney tasarımı yapılmıştır. İşleme deneyleri kuru kesme şartlarında CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi (Anova) yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde %90,5 katkı oranı ile en etkin parametrenin kesme hızı olduğu tespit edilmiştir [4]. Kamiya ve ark. (2008) döküm Al-Si alaşımının içindeki birincil silisyum (Si) ve ötektik Si'nin alaşımın işlenmesinde çıkan talaşın kırılabilirliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Talaşın kırılabilirliğini arttırmak için, ötektik Si'nin talaşları ince hale getirdi ve talaşlı imalat sırasında birincil Si'de oluşan çatlakların da talaşın kırması için çekirdek görevi gördüğü ifade edilmiştir. Ötektik Si, yüzey pürüzlülüğü üzerinde birincil Si'den daha güçlü bir etkiye sahip olmuş ve ötektik Si, kesici kenar üzerindeki yapışmayı azalttığı rapor edilmiştir. Takımın kesme kenarındaki yapışmadaki azalma, yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelen bir azalmaya yol açmıştır. Takım aşınması artan miktarda ötektik Si ile arttığı söylenmiştir [5].

Bu deneysel çalışmada işleme sırasında kesici takımın davranışları ve çıkan talaşların şekli üzerinde durulmuştur. İşleme deneylerinde takım ucunda meydana gelen talaş yığılmaları ve miktarları ile çıkan talaşların biçimi ve işlenebilirliğe etkisi incelenmiştir. Ayrıca işlenen yüzeylerin pürüzlülük miktarları ölçülerek değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Tornalama deneylerinde kullanılan Al 2024, Al 6061 ve Al 7075 kalite alüminyum alaşımlarının kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Deney alaşımlarının teknik özellikleri

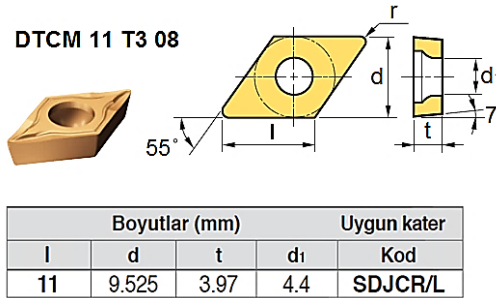
Kimyasal Özellik				Mekanik Özellik			
	Al 2024	Al 6061	Al 7075		Al 2024	Al 6061	Al 7075
% Fe	0,70	0,70	0,50	Akma (Mpa)	315-330	240-275	460-505
% Si	0,50	0,40-0,80	0,40	Çekme (Mpa)	440-465	260-310	530-570
% Cu	0,05-0,20	0,60-1,10	0,20	Uzama (%)	12-14	8-12	6-8
% Mn	0,30-0,90	0,15	0,30	Sertlik (Brinel)	120	90-95	145-155
% Mg	1,20-1,80	0,80-1,20	2,10-2,90				
% Zn	0,25	0,25	5,10-6,10				
% Ti	0,15	0,15	0,20				
% Cr	0,10	0,04-0,35	0,18-0,35				

Tornalama deneyleri 30 mm çapında 150 mm boyunda numuneler üzerinde kuru kesme şartlarında ve teknik özellikleri Tablo 3’te verilen üniversal torna tezgahında yapılmıştır.

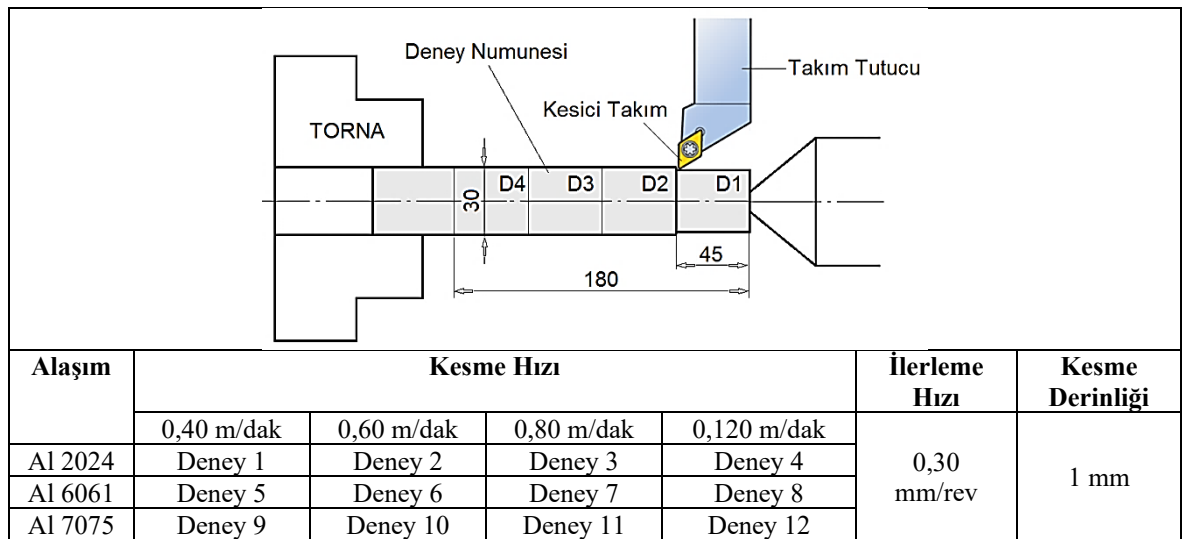
Tablo 3. Tornalama deneylerinde kullanılan torna tezgahına ait özellikler

Marka/Model	Max. çap	Ayna-punta mesafesi	Ayna devir aralığı	Motor gücü	Motor devri	Ağırlık
Harrison /M300	480 mm	1000 mm	40-2500	2,2 kW	1500 rpm	585 Kg

Kesme parametreleri olarak 1mm sabit kesme derinliği, 40 m/dak, 60 m/dak, 80 m/dak, 120 m/dak kesme hızları ve 0,3 mm/rev sabit ilerleme değeri seçilmiştir. Deneyler her biri tek sefer kullanılan ve geometrik özellikleri ile boyutları Şekil 1’de verilen DCMT 11 T3 08 kodlu kesici takımlar ile gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneylerine ait şematik gösterim ve deney parametrelerinin gösterildiği deney planı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Kesici takım teknik özellikleri



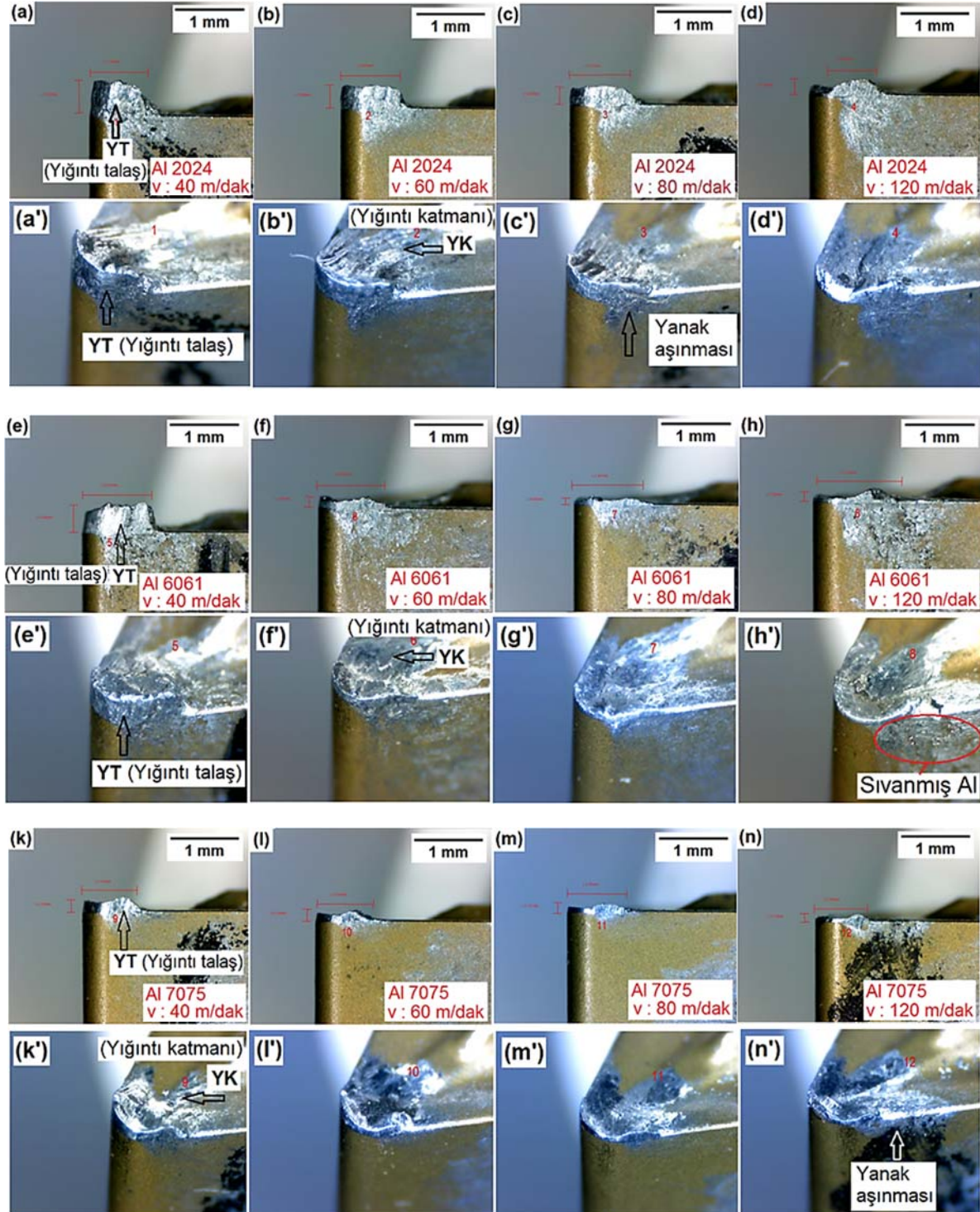
Şekil 2. Tornalama deneyi şematik gösterimi ve deney planı

İşleme deneyleri sırasında işlenen her yüzeyin üzerindeki 5 farklı bölgeden pürüzlülük ölçümleri yapılarak ölçülen değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) grafiğe aktarılarak değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde *Mahr MarSurf PSI* marka portatif tip yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kesici takım aşınmalarının değerlendirilmesi

Al 2024, Al 6061, Al 7075 alüminyum alaşımlarının; 40 m/dak, 60 m/dak, 80 m/dak, 120 m/dak kesme hızlarında ve 0,3 mm/rev sabit ilerleme değerinde yapılan talaşlı işleme deneylerinde kullanılan kesici takım uçlarının dijital mikroskop görüntüleri Şekil 3'te verilmektedir.

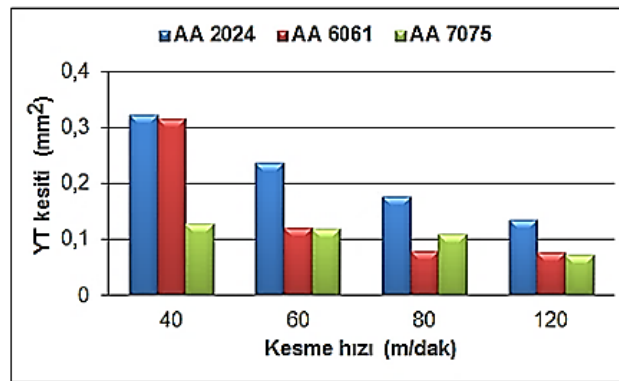


Şekil 3. Al 2024, Al 6061 ve Al7075 alaşımlarının işlendiği kesici takımlar

Şekil 3’teki dijital mikroskop görüntülerine birlikte bakıldığında, tüm kesici takımlarda yığıntı talaş (YT) oluştuğu açıkça görülmektedir. Talaşlı imalat işleminde, iş parçası malzemesi kesici takım üzerine iki şekilde yapışmaktadır. Birincisi, kesici kenar üzerine iş parçası malzemesinin yapışmasıdır. Bu durum YT oluşumu olarak adlandırılmaktadır. Bu durumun literatürde geçen diğer ifadesi built-up edge (BUE) dir. İkincisi, iş parçası malzemesi kesici takım talaş yüzeyinde geniş bir alana yayılarak yığıntı katmanı (YK) yapışma mekanizması oluşturmuştur. Bununla literatürde yer alan diğer ifade şekli, built-up layer (BUL) dur. Alüminyumun talaşlı imalatı sırasında takım ucunda meydana gelen YT ve YK oluşumları literatürde yer alan farklı çalışmalarda ifade edilmiştir [2,6,7]. Bu çalışmada da tüm kesici takımlarda YT ile birlikte YK oluşmuştur. İşleme sırasında talaşın takım yüzeyine sürtünmesiyle oluşan yüksek sıcaklık, talaşın kesici takımın yüzeyine yapışmasını kolaylaştırarak YT ve YK meydana getirmektedir.

Kesici takımlar YT açısından değerlendirildiğinde en fazla YT miktarının Al 2024 alaşımında (Şekil 3 a,b,c,d), ikinci sırada Al 6061 alaşımında (Şekil 3 e,f,g,h), olduğu görülmektedir. En az YT Al 7075 alaşımının tormalanmasında meydana gelmiştir (Şekil 3 k,l,m,n). YT oluşumunda malzemenin sünekliğinin en fazla etkiyi yaptığı bilinmektedir. Tablo 2’ye bakıldığında en fazla uzama değerinin Al 2024 alaşımında, en az uzamanın ise Al 7075 alaşımında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla deneylerde kullanılan alüminyum alaşımlarının uzama değerleri ile takım uçlarında meydana gelen YT miktarlarının birbirini destekler nitelikte olduğu değerlendirilmektedir. Şekil 3’teki kesici takım görüntülerine toplu olarak bakıldığında göze çarpan diğer önemli husus, kesme hızındaki artışa bağlı olarak YT miktarlarının azalma eğilimi göstermesidir. Buradan kesme hızındaki artışı ile kesici takım yüzeylerindeki talaş yapışmasının daha az meydana geldiği anlaşılmaktadır. Kesme hızının artmasıyla, talaşın takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasının daha kolay olduğu söylenebilir. Bu durum her üç alüminyum alaşımında da aynı şekilde meydana gelmiştir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla kesici takımların bazılarında bir miktar kesici kenar (yanak) aşınmasının olduğu ifade edilebilir (Şekil 3 c’,d’). Takımlar da oluşan kesici kenar aşınmalarının, Al 2024 ve Al 6061 alaşımları içerisinde bulunan ve Al 7075 alaşımına göre daha yüksek orandaki silisyum (Si) elementinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak bu aşınma mekanizmalarının çok etkili olmadığı mikroskop görüntülerinden anlaşılabılır. Kesici takımların mikroskop görüntülerinde dikkati çeken diğer husus ise bazı takımların yan yüzeylerinde görülen alüminyum sıvanmalarıdır (Şekil 3 d’,f’,h’). Bu sıvanmalar, işleme sırasında takım ucundan akarak uzaklaşan talaşların takımın yan yüzeyine sürtünmesi ile meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu durum, işleme sırasında takım ucundaki sıcaklığının artmasıyla birlikte sünek ve yumuşak yapıdaki alüminyumun yapışması olarak değerlendirilmiştir.

Kesici takım davranışları YK açısından değerlendirildiğinde ise tüm takımlarda YK meydana geldiği görülmektedir. Ancak Al 2024 ve Al 6061 alaşımlarının işlendiği takımlarda, Al 7075’e göre bir miktar daha fazla YK oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu durumda ilk etapta yine alaşımların sünekliği ile ilişkilendirmek mümkündür. Kesme hızının artması YK miktarlarını, YT miktarlarında olduğu kadar etkilememiştir. Neredeyse tüm kesici takımlarda birbirine yakın miktarlarda YK meydana geldiği Şekil 3’teki görüntülerden anlaşılmaktadır. Takım üst yüzeylerinde görülen YK oluşumlarına, kesme bölgesinden uzaklaşan talaşların takım yüzeyine sürtünmesinin ve kesici takım yüzey formundan dolayı bu bölgede kalmasının sebep olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, YT miktarları yaklaşık olarak ölçülerek oluşan yığıntı talaşlar kesit cinsinden hesaplanmıştır. YT kesitlerinden elde edilen değerlere göre çizilen grafik Şekil 4’te verilmektedir.



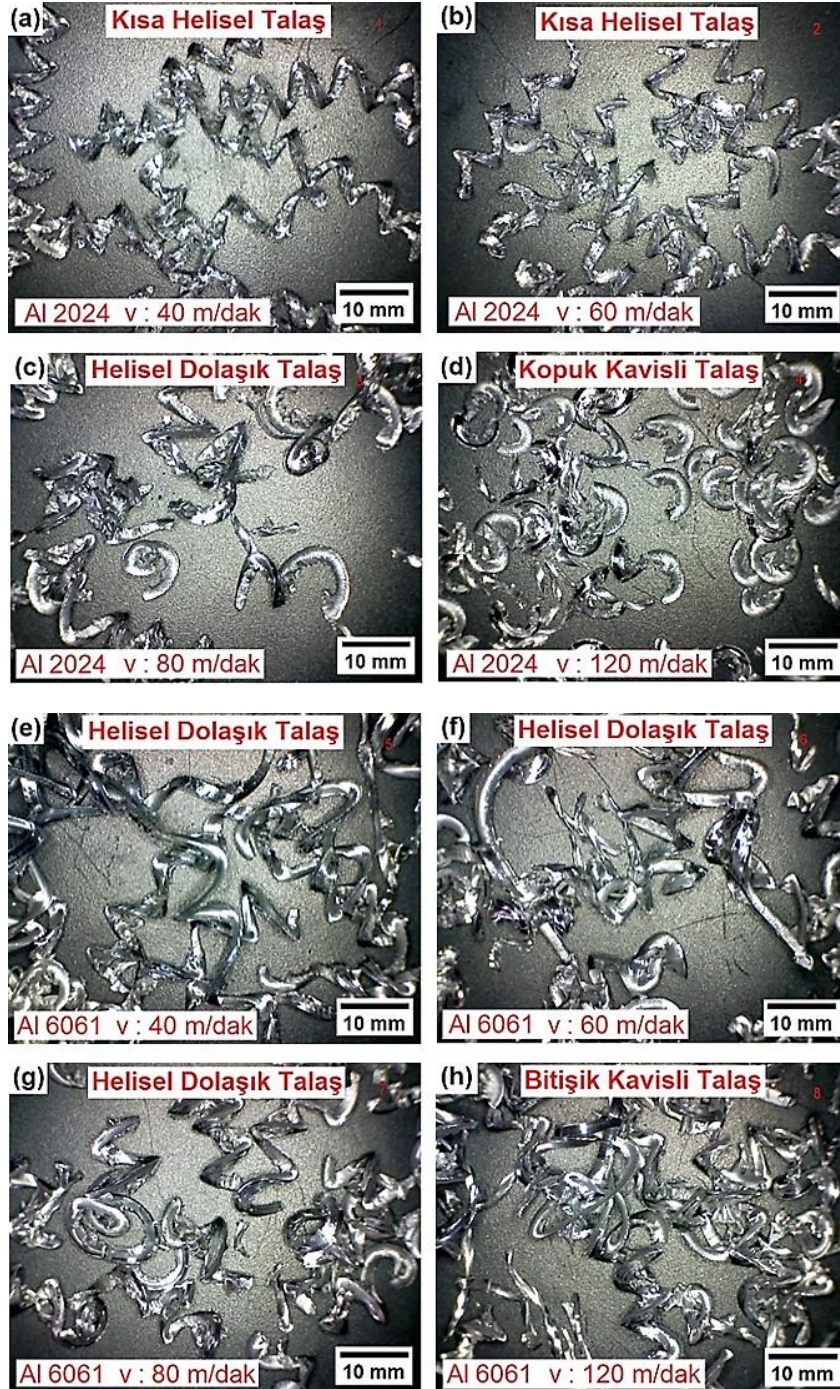
Şekil 4. Kesme hızı YT kesiti ilişkisi

Şekil 4’teki grafiğe bakıldığında kesme hızının artmasıyla birlikte, YT kesitindeki azalma dikkati çekmektedir. Aynı zamanda Şekil 3’teki YT görüntüler ve grafikteki eğriler uyum göstermektedir. En fazla YT kesiti Al 2024 alaşımının tormalandığı takımlarda kaydedilirken en az YT kesitler Al 7075 alaşımında kaydedilmiştir. Al 7075 alaşımının tormalanmasında meydana gelen YT kesitlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Al 7075 alaşımının diğer alaşımlara göre daha sert ve düşük uzama değerinde olması ile hem düşük YT meydana gelmiş hemde seçilen kesme hızı değerleri arasında çok farklı YT kesitleri oluşmamasına neden olmuştur. Al 7075 alaşımına göre daha fazla sünek ve setliği az olan Al 2024 ile Al 6061 alaşımlarında kesme hızı değerlerinin yükselmesiyle YT miktarları arasında orantılı azalmalar meydana gelmiştir. Örneğin, Al 2024 alaşımında 40 m/dak kesme hızında 0,324 mm² YT oluşurken, 80 m/dak kesme hızında YT kesiti 0,178 mm² değerine düşmüştür. Diğer

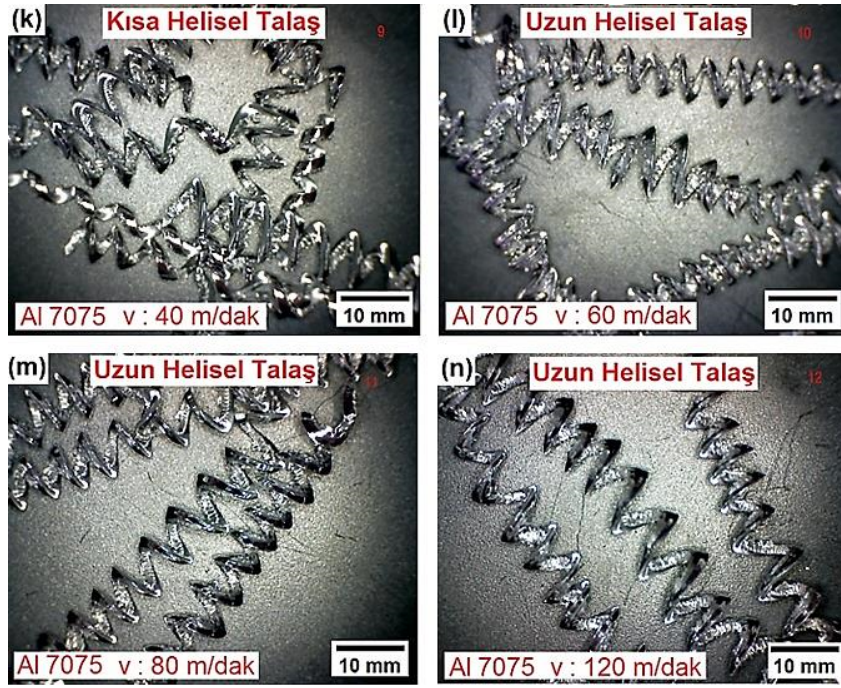
bir ifadeyle kesme hızının %100 artışına karşın YT kesiti %90 civarında azalma göstermiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda YT oluşumunda malzemenin sünekliği ve yumuşaklığının çok önemli rol oynadığı bir kez daha kanıtlanmıştır. Ancak, bu deneysel çalışmada seçilen kesme hızı değerlerinin alüminyum gibi sünek malzemelerin talaşlı işlenmesi için düşük kaldığı da ifade edilebilir. Zira deneylerde kullanılan en yüksek kesme hızı olan 120 m/dak değerinde bile azımsanmayacak miktarda YT meydana gelmiştir. Elde edilen verilere dikkate alınarak, kesme hızı değerlerinin daha yükseltilerek yeni çalışmaların yapılması tavsiye edilebilir.

3.2 Talaş şekillerinin değerlendirilmesi

Al 2024, Al 6061, Al 7075 alüminyum alaşımlarının; 40 m/dak, 60 m/dak, 80 m/dak, 120 m/dak kesme hızlarında ve 0,3 mm/rev sabit ilerleme değerinde yapılan talaşlı işleme deneylerinde oluşan talaşların görüntüleri Şekil 5'te verilmektedir. Metalik malzemelerin işlenebilirliğinin incelendiği çalışmalarda, genellikle ISO 3685 [8] standardında belirtilen talaş tipleri dikkate alınmaktadır.



Şekil 5. Al 2024, Al 6061 ve Al7075 alaşımlarının tornalanmasında oluşan talaşlar



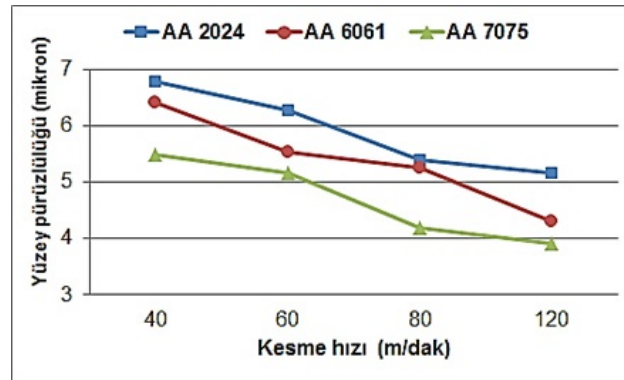
Şekil 5. (Devamı)

Şekil 5'deki talaş görüntülerine bakıldığında genellikle helisel tip talaşın değişik formlarının meydana geldiği görülmektedir. Kesme hızının artışına bağlı olarak talaş formu değişiklik göstermiştir. Özellikle Al 2024 ve Al 6061 alaşımlarının işlenmesinde çıkan talaşların, kesme hızının artmasıyla şeklinin bozulduğu, dolaşık helisele dönüştüğü ve sonunda da kopuk ve bitişik kavisli şekle döndüğü görülmektedir. Talaş oluşumu ve şekli; iş parçasının malzemesine, kesici takımın geometrisine, kesme hızına, ilerlemeye ve kesme derinliği gibi işleme parametreleriyle ilişkilidir. Alüminyum gibi sünek malzemelerin işlenmesinde, ilerleme değerinin artmasıyla kavisli talaş tipinin meydana geldiği literatürdeki araştırmalarda yer almaktadır [9]. Al 7075 alaşımının işlenmesinde meydana gelen talaşların tamamının helisel şekilli olduğu görülmektedir (Şekil 5 k,l,m,n). Bu alaşımın sert ve daha az sünek yapısının çıkan talaşın daha istikrarlı olmasında neden olduğu değerlendirilmektedir. İşleme sırasında sürekli bir talaş akışının olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum hem YT oluşumunu azaltmakta hemde işlenen yüzeyin kalitesini yükseltmektedir. Nitekim ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri de bu yaklaşımı doğrular niteliktedir.

Tornalama deneylerinde çıkan talaşların şekli ve oluşan YT/YK birlikte değerlendirildiğinde üç farklı alüminyum alaşımı içerisinde Al 7075 alaşımının, bu çalışmada ele alınan işlenebilirlik parametreleri yönünden daha avantajlı olduğu değerlendirilmektedir.

3.3. Yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi

Al 2024, Al 6061, Al 7075 alüminyum alaşımlarının; 40 m/dak, 60 m/dak, 80 m/dak, 120 m/dak kesme hızlarında ve 0,3 mm/rev sabit ilerleme değerinde yapılan talaşlı işleme deneylerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6'daki grafikte verilmiştir.



Şekil 6. Kesme hızı yüzey pürüzlülük ilişkisi

Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, kesme hızındaki artışla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinin azalma gösterdiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu literatürde yer almaktadır. Ranganath ve ark. 2015; Deepak ve Rajendra 2015; Pridhvijit ve Binu 2015; Rogov ve Siamak 2013 yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçları ortaya koymuşlardır [10-13]. Ancak bu çalışma ile kesme hızındaki değişimlerin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Deneysel çalışmada seçilen kesme hızı değerlerinin nispeten düşük olmasının bu sonuç üzerinde etkili olduğu varsayılmaktadır. Sünek malzemeler için seçilen düşük kesme hızlarında talaşın kesme bölgesinden çok hızlı ayrılması nedeniyle talaş yığılmalarının (YT/YK) fazla olması ve çıkan talaşların düzensiz formunun yüzey kalitesi üzerinde olumsuz tesir yaptığı söylenebilir. Ayrıca takım ucunda oluşan YT'ların yüzey pürüzlülük miktarlarını yükselttiği değerlendirilmektedir. YT'ın ayrı bir kesme kenarı gibi davrandığı ve kesme bölgesinde düzensiz mekanizmaların oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Tornalamada çıkan talaşların Al alaşımından ayrılması sırasında takım ucu ile yüzey arasına sıkışarak kazıma veya çizme etkisi yapabileceği varsayılmaktadır. Özçatalbaş (2003) yaptığı çalışmada, kesici takım ucunda oluşan BUE'nin işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü üzerinde önemli etkisi olduğu ifade etmiştir [6].

Ayrıca bu çalışmada kullanılan Al 2024, Al 6061, Al 7075 alüminyum alaşımlarının iç yapısında bulunan baskın alaşım elementlerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinden bahsedilebilir. Al2024, Al6061 ve Al7075 alaşımlarında alüminyumdan sonra ikincil alaşım elementleri sırasıyla Cu, Mg ve Zn elementleridir. Bu elementlerin kristal yapıları ve iç yapı içerisinde alüminyum ile oluşturdıkları katı çözelti ve intermetalik fazlar farklı mekanik ve tribolojik davranışlar sergilemesine neden olurlar. Cu elementi alüminyum ile hem katı çözelti hem de CuAl2 fazını oluşturur. Zn ise çok yüksek oranda alfa ve beta katı çözeltileri oluşturarak mukavemet artışına neden olmaktadır. Ayrıca Zn elementi sıkı düzen hegzagonal (SDH) yapıya sahip olduğundan atmosfere açık koşullarda yapılan talaş kaldırma işlemlerinde katı yağlayıcı olarak görev yapan ZnO bileşiğinin oluşmasına yol açar. Buna karşın 2024 alüminyum alaşımında oluşan CuAl2 fazı oldukça sert ve gevrek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla katı yağlayıcı olarak görev yapan ZnO filmleri talaşlı işlemi kolaylaştırıp yüzey pürüzlülüğünü azaltırken, CuAl2 fazı daha yüksek bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesine yol açmaktadır. Aynı durum 6061 alaşımında oluşan Al-Mg fazları içinde geçerlidir. Genel olarak yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip fazlar yük taşıma görevi yaparken SDH kristal yapıya sahip fazlar kaymayı kolaylaştırmaktadır. Bu durumlar aynı zamanda sürekli ve süreksiz talaş oluşumuna da yol açar. Nitekim bu alaşımların talaş şekillerine bakıldığında 2024 de yer yer kesikli talaş görülürken, Al 7075 alaşımı tüm kesme hızlarında sürekli talaş görülmüştür. Al 6061 alaşımında görülen durum ise yapı içerisinde bulunan ötektik altı Si fazının davranışına göre açıklanabilir. Bu Si parçacıkları yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilediğinden, 2024 Al alaşımına nazaran daha düşük yüzey pürüzlülüğü görülmüştür.

4. SONUÇ

Al 2024, Al 6061 ve Al 7075 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım davranışları, talaş şekli ve yüzey pürüzlülüğünün araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlemiştir:

Al 2024, Al 6061, Al 7075 alüminyum alaşımlarının tornalandığı tüm kesici takım uçlarında YT (yığıntı talaş) ve YK (yığıntı katmanı) meydana gelmiştir.

Kesme hızının artmasıyla YT miktarlarında azalma olmuştur. En fazla YT Al 2024 alaşımında, en az YT Al 7075 alaşımında oluşmuştur.

YT ve YK oluşumunda alaşımların sünekliliği ve yumuşak yapısının en fazla etkiye sahip olmakla birlikte seçilen kesme hızı değerlerlerinde düşük kaldığı da ifade edilebilir.

Her üç alaşımın tornalanmasında talaşlar genelde helisel şekilli meydana gelmiştir. Ancak kesme hızının 120 m/dak değerine çıkmasıyla Al 2024 ve Al 6061 alaşımlarında kavisli ve kopuk talaş formu oluşmuştur.

Kesme hızının artmasına bağlı olarak tüm Al alaşımlarında yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. En düşük pürüzlülük değeri Al 7075 alaşımında en yüksek pürüzlülük değeri Al 2024 alaşımında kaydedilmiştir.

Yüzey pürüzlülük miktarları ile takım ucunda meydana gelen YT'ların ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. YT oluşumu yüzey pürüzlülük değerlerini de arttırmıştır.

Al 2024, Al 6061, Al 7075 deney malzemeleri içerisindeki baskın alaşım elementlerinin yüzey pürürlülüğüne etki yaptığı görülmüştür. Özellikle Al 7075 alaşımı içerisindeki ikincil element Zn'nin deneyler sırasında ZnO bileşiği oluşturarak yağlama özelliği gösterdiği değerlendirilmiştir.

Genel olarak bu çalışma için seçilen işlenebilirlik parametreleri dikkate alındığında, Al 7075 alaşımının tornalama açısından Al 2024 ve Al 6061 alaşımına göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

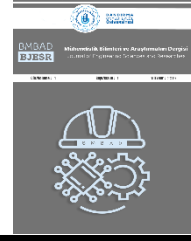
KAYNAKÇA

- [1] T. Kvačakaj and R. Bidulský, “Aluminium Alloys, Theory And Applications”, Published by InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2011.
- [2] M. Sekmen, M. Günay ve U. Şeker, “Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi, Politeknik Dergisi, vol. 18, no. 3, pp.141-148, 2015.
- [3] F. J. T. Vilches , L. S. Hurtado, F. M. Fernández and C. B. Gamboa, “ Analysis of the Chip Geometry in Dry Machining of Aeronautical Aluminum Alloys”, Appl. Sci., vol. 7, no. 132, pp.1-13, 2017.
- [4] M. Akgün, B. Özlü ve H. Demir, “Döküm Yöntemiyle Üretilmiş Al-12Si Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu”, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings, pp. 344-348, 2017.
- [5] M. Kamiya, T. Yakou, T. Sasaki and Y. Nagatsuma, “Effect of Si Content on Turning Machinability of Al-Si Binary Alloy Castings”, Materials Transactions, vol. 49, no. 3, pp. 587-592, 2008.
- [6] Y. Ozcatalbas, “Chip and built-up edge formation in themachining of in situ Al4C3–Al composite,” Materialsand Design, vol. 24, pp. 215–221, 2003.
- [7] H. Gökkaya ve M. Nalbant, “Investigating The Effects Of Cutting Speeds Over The Built-Up Layer And Built-Up Edge Formation With SEM,” J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., vol. 22, no. 3, pp.481-488, 2007.
- [8] ISO 3685:1993, Tool life testing with single-point turning tools, International Organization for Standardization, Case Postale 56 1 CH-1211, Geneve 20 1, Switzerland.
- [9] D. Xu, P. Feng, W. Li, Y. Ma and B. Liu, “Research on chip formation parameters of aluminum alloy 6061-T6 based on high-speed orthogonal cutting model,” Int J Adv Manuf Technol., vol. 72, pp. 955–962, 2014.
- [10] M. S. Ranganath, Vp. Vipin, R. S. Mishra, N. R. Dhar, “Optimization of Surface Roughness in CNC Turning of Aluminium 6061 Using Taguchi Techniques”, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), vol. 5, no. 5, Pp. 42-50, 2015.
- [11] D. Deepak and B. Rajendra, “Investigations on the surface roughness produced in turning of Al 6061 (as-cast) by taguchi method”, International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 4, no. 8, pp. 295-298, 2015.
- [12] A. Pridhvijit ve C. Y. Binu, “Experimental Study and Parameter Optimization of Turning Operation of Aluminium Alloy-2014”, International Journal of Engineering Research and General Science, vol. 3, no. 5. pp. 525-530, 2015.
- [13] V. A. Rogov and G. Siamak, “Optimization of Surface Roughness and Vibration in Turning of Aluminum Alloy AA2024 Using Taguchi Technique”, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, vol. 7, no. 11, pp. 2330-2339,2013.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Covid19 Sürecinin Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of Covid19 Process Effects on the Turkey's Electricity Energy

Mehmet BULUT 

Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi Üyesi, Ankara, Türkiye

mehmetbulut06@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :12 October 2020

Accepted : 16 November 2020

Keywords:

Covid-19 process,
Electricity demand,
Energy Resources

ABSTRACT

As humanity enters 2020, it brought a new lifestyle with it due to the measures taken during the Covid19 epidemic, which first appeared in China and spread all over the world. Emergency measures in countries with the first cases forced people to reorganize their lives beyond encountering a different situation. This has resulted in a change in demand and low consumption in almost all types of energy. In this study; The electricity consumption of the previous years in the same months was examined and its effects on the electricity consumption habits and the use of energy resources in this period were examined. In terms of fuels used in electricity generation, it is observed that, when the first Covid19 case was observed, electricity consumption in residential and industrial areas increased in both amount and percentage, while a decrease of approximately 4% was realized, which corresponds to the amount of 792 million kWh of electrical energy in commercial places and facilities. This study is the first study in the literature Covid19 impact in terms of examining the effect of the electricity demand in Turkey.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 12 Ekim 2020

Kabul : 16 Kasım 2020

Anahtar Kelimeler:

Covid 19 süreci,
Elektrik Talebi,
Enerji Kaynakları

ÖZET

İnsanlık, 2020 yılına girerken, ilk olarak Çin'de gözükken ve tüm dünyaya yayılan Covid19 salgını sürecinde alınan tedbirler sebebiyle yeni yaşam tarzını beraberinde getirdi. İlk vakaların görüldüğü ülkelerde acil olarak alınan tedbirler, insanları farklı bir durum ile karşılaşmanın ötesinde hayatlarını yeniden düzenlemek zorunda bıraktı. Bu durum enerji türlerinin hemen tüm türlerinde bir talep değişikliği ve tüketim düşüklüğüne sebep oldu. Bu çalışmada Türkiye'nin enerji tüketimi, geçmiş yılların aynı aylardaki elektrik tüketim alışkanlığı ve kaynak kullanımı incelenerek, bu dönemin elektrik kullanımı ve elektrik üretim kaynakları üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk vaka görüldüğü 11 Mart 2020 tarihinin içinde bulunduğu ayda sanayide üretimi etkilemez iken, evde kal uyarıları ile birlikte evsel elektrik tüketimi 105 Milyon kWh'lık artmış meydana gelmiştir. Bu çalışma, Covid19 etkisinin Türkiye'deki elektrik talebine etkisinin incelenmesi bakımından ilk çalışma niteliğindedir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Türkiye geliştirmekte olan bir ülke olup, yıllar bazında artan nüfus ile birlikte sanayileşme ve şehirleşmenin etkisiyle ekonomik büyüme orantılı olarak elektrik talebi artışında sürekli yükselen bir trende sahiptir. Bütün dünyada Covid19 salgını sebebiyle insanlar yepyeni bir hayat tarzı ile karşı karşıya kaldılar. İlk vakaların görüldüğü ülkelerde acilen alınan tedbirler insanları farklı bir durum ile karşılaşmanın ötesinde hayatlarını yeniden düzenlemek zorunda kaldılar. Zorunlu olarak devam ettirilen iş alanları dışında kalanlar işlerini evden devam ettirmek zorunda kaldılar. Bu durum evlerde elektrik enerjisi tüketim alışkanlıklarını baştan başa değişikliğe uğrattı. Üretimin yavaşlatılması veya bazı noktalarda tamamen durdurulması, sanayide kullanılan elektrik tüketiminin büyük oranlarda düşmesine sebebiyet verdi. Sadece elektrikte değil, ulaşım, ısınma, iklimlendirme rutinleri de değiştiği için değişiklik enerji türlerinin hemen hemen tüm türlerinde bir talep değişikliği ve tüketim düşüklüğüne sebep oldu.

Dünyada 2020 yılı başından başlayarak Covid19 salgınına karşı küresel tedbirlerin getirilmesi, kısmi veya tam zamanlı sokağa çıkma yasakları nedeniyle elektrik enerjisi tüketimi sanayi, ticarethane ve eğitim kurumları gibi yerlerden evler, süpermarket ve hastanelere kaydı. Zorunlu olarak devam ettirilen iş alanları dışında kalanlar ya işlerini evden devam ettirmek zorunda kaldılar ya da işsiz kaldılar. Bu durum evsel elektrik enerjisi tüketim alışkanlıklarını baştan başa değişikliğe uğrattı. Neredeyse tüm sektörlerde, üretimin yavaşlatılması veya bazı noktalarda tamamen durdurulması, sanayide kullanılan elektrik tüketiminin büyük oranlarda düşmesine sebebiyet verdi.

Virüs, görünen tüm ülkelerde sağlık, ekonomi ve finans, emek, eğitim, çevre, enerji, savunma, gıda ve tarım, teknoloji, sürdürülebilirlik gibi toplumsal ihtiyaçları tüm boyutlarıyla etkilenmiştir [1]. Küresel düzeyde, elektrik tüketimi 2020'nin ilk üç ayında % 2,5 azaldı, ancak çoğu ülkede karantina (lockdown) önlemlerinin bir aydan daha kısa bir süre uygulandığı göz önüne alınmalıdır. Tam karantina uygulandığında, elektrik tüketimi en az % 20 azaldı ve kısmi kilitlenmeler için daha küçük düşüşler meydana gelmiştir: yapılan ilk Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) analizleri, tüm yıl elektrik talebinin %6 düşebileceğini göstermekte ve bu değer Fransa, İtalya, Birleşik Krallık ve Almanya'nın 2019 yılındaki birleşik elektrik taleplerine eşdeğer olmaktadır [2]. Almanya'da haftalık tüketim örüntüsü, daha düşük bir seviyede olmasına rağmen neredeyse aynı kaldı ancak İtalya, Fransa, İspanya ve Polonya sabah peak talebi daha sakin bir seyir gösterirken akşam peak talebi önceki durumunu korudu [3]. Dünyada düşük elektrik tüketimi seviyeleri fosil yakıt santrallerini üretimine olumsuz yansırken, elektrik şebekelerindeki yenilenebilir enerji penetrasyonu en yüksek seviyelere ulaşmasını sağlamaktadır [4].

Brezilya'da yapılan çalışmalar, Covid19 nedeniyle hareketlilik kısıtlamalarının başlamasından önceki ve sonraki dönemleri karşılaştırırken Brezilya ve coğrafi bölgelerinde elektrik tüketiminde bir azalma olduğunu göstermektedir. Brezilya'nın coğrafi bölgeleri farklılaşmış olduğundan elektrik tüketimi profilleri, azalma dinamikleri de farklılık göstermiştir [5, 6]. Avrupa Elektrik İletim Sistemi Operatörleri Ağı (ENTSO-E) verilerine dayanılarak yapılan çalışmaya göre, İtalya'nın elektrik talebi, tam karantina uygulamaları getirilmesi sonrası % 20 azalırken, Fransa ve İspanya sırasıyla % 13 ve % 10'luk bir talep düşüşü gördü [7].

Türkiye'de de Covid-19 salgınıyla mücadele kapsamında alınan tedbirler, karantina uygulamaları işe devam saatlerinde değişiklik ve vb. tedbirlerin enerji sektörü üzerindeki etkileri görüldü. Türkiye'de ilk covid-19 vakası 11 Mart 2020 tarihinde kayda geçti, bu tarihten itibaren insanların evlerine çekilmesi ve sosyal iletişimin kesilmesi ile evlerde elektrik kullanımı artış gösterdi. Ancak, işyerlerinin ve üretim yapan fabrikaların üretimlerini tamamen durdurması veya kısmi çalışma ve üretim yapma sebebiyle ticarethane ve sanayi elektrik kullanımında ise keskin bir azalma eğilimi ortaya çıktı. Korona virus etkisi, elektrik tüketim talebine de yansımış ve tüketim miktarı negatif yönde büyük değişikliğe uğramıştır. Bu çalışmada 11 Mart tarihinden itibaren vaka sayıları ile elektrik tüketimi arasındaki ilişki irdelenmekle birlikte, karantina tedbirleri sebebiyle gerçekleşen elektrik üretimindeki değişikliğin enerji kaynakları bağlamında nasıl bir etki oluşturduğu incelenmektedir. Ayrıca, Covid-19 süreci sebebiyle alınan tedbirler sonrası, insanların yaşam şeklinde meydana gelen değişiklikler ve düzenlemeye tabii toplumsal yaşayışın değişimin Türkiye'nin enerji tüketimi, geçmiş yılların aynı aylardaki elektrik tüketim alışkanlığı ve kaynak kullanımı incelenerek, bu dönemin elektrik kullanımı ve elektrik üretim kaynakları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

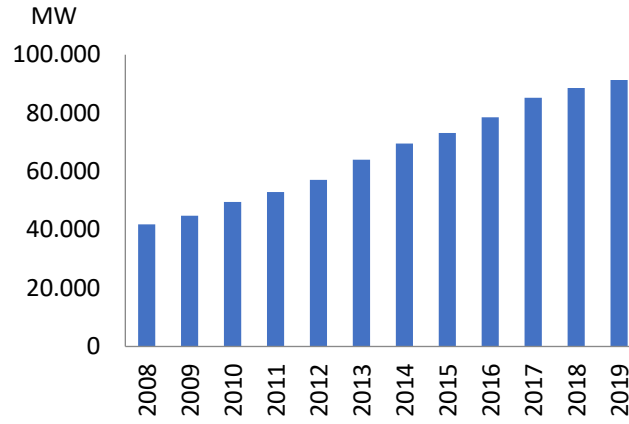
2. YÖNTEM VE VERİ KAYNAKLARI

Bu veri değerlendirme ve analiz çalışması, çeşitli kaynaklar tarafından yayınlanan kamuya açık kaynaklardan toplanan verilerin analiz edilmesiyle hazırlanmıştır. Covid19 döneminde alınan önlemlerin ve sosyal yaşamdaki değişimin elektrik üretimi ve tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmayı hedefliyor. Bu çalışmada kullanılan veriler EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), EPIAŞ (Türkiye Elektrik Piyasası A.Ş.), TEİAŞ (Türkiye İletim Sistemi İşletmecisi), TEİAŞ Yük Tevzi Merkezi, TEDAŞ (Türkiye Dağıtım Sistemi İşletmecisi) kurumlarının web sitesindeki kamuya açık kaynaklardan alınmıştır [8-11].

3. TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ENERJİSİ KURULU KAPASİTESİ

Türkiye ekonomisi ve endüstrisi, nüfustaki artışla birlikte daha hızlı büyüyor ve bu da sürekli olarak daha fazla enerji talebine neden olmaktadır. Bu nedenle, ülkenin kalkınmasını sürdürmek için talebi karşılamak için yüksek

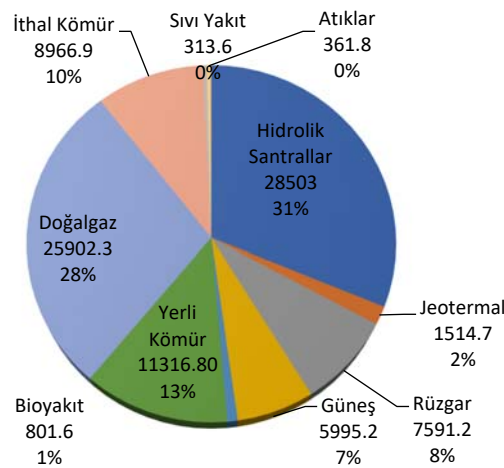
kaliteli, sürekli, ucuz ve güvenilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'nin birçok enerji kaynağı olmasına rağmen, hidrokarbon rezervleri için yüksek bir potansiyele sahip değildir, ancak coğrafi konum nedeniyle güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel beraberinde ithal doğal gaz gibi harici hidrokarbon kaynaklarına bağımlılığını azaltmak için elektrik üretiminde yenilenebilir enerji potansiyelin kullanılmasını cazip kılmaktadır.



Şekil 1. Türkiye elektrik üretim kapasitesinin yıllara göre değişimi.

Türkiye’de rüzgar enerjisinden elektrik üretimine 20 yıl önce başlanmış, ilave olarak, jeotermal ve güneş enerjisi kaynaklarından elektrik üretilmesi için de önemli bir adım atılmıştır. Her yıl rüzgar, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi hızlı bir artış göstermektedir. Türkiye’nin elektrik üretim kapasitesi son yıllarda hızında bir yavaşlama gösterse de her yıl artış göstermektedir. 2019 yılı sonu ile birlikte Türkiye’nin elektrik kurulu kapasitesi 2018 yılına göre yüzde 3,07 artarak 91.267 MW’a ulaştı (Şekil 1). Kurulu gücün 25.902,3 MW ile %28,38’ini doğalgaz kaynaklı santraller, 20.642,5 MW ile %22,62’sini barajlı hidrolik santraller, 7.860,5 MW ile akarsu santralleri, 10.101 MW ile %11,07’sini ise linyit kaynaklı santraller ve 8.966,9 MW ile %9,82’sini ithal kömüre dayalı santraller oluşturdu [8].

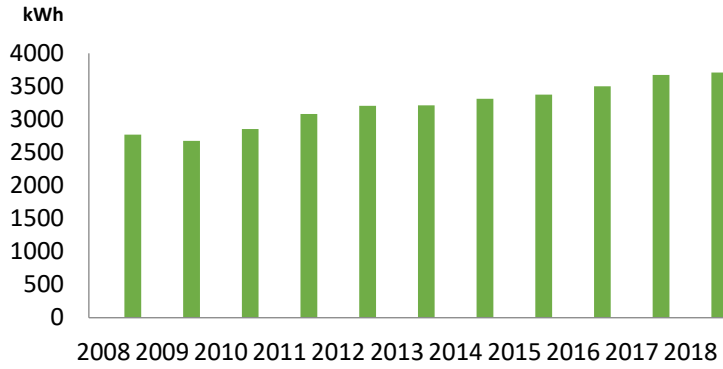
2019 yılı sonu itibarıyla toplam kurulu gücün %48,7’si yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan santraller oluşturdu ve bunların toplam kurulu güç kapasiteleri ise 44.405 MW’ı buldu. Yenilenebilir kurulu kapasite ise %31,2 ile hidrolik santraller, %8,32 ile rüzgar santralleri, %6,57 ile güneş santralleri ve %1,66 ile jeotermal santraller oluşturmaktadır. 2000 yılında Türkiye’deki toplam rüzgar gücüne dayalı elektrik üretim kapasitesi 33,4 MW iken 2019 yılı sonunda kapasite 21.317,6 MW’a ulaşmış bulunmaktadır. Türkiye’nin güneş piline dayalı elektrik üretim kapasitesi 2013 sıfır iken 2019 yılı sonundaki kapasite 10.794 MW’a ulaşmıştır. Türkiye rüzgar gücünde Almanya’nın üçte biri kapasiteye sahip olmasına rağmen, güneş piline dayalı kapasitede ise Almanya’nın yaklaşık beşte birin üzerinde bir değere sahiptir (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye kaynaklara göre elektrik üretim kapasitesi, 2019 (MW).

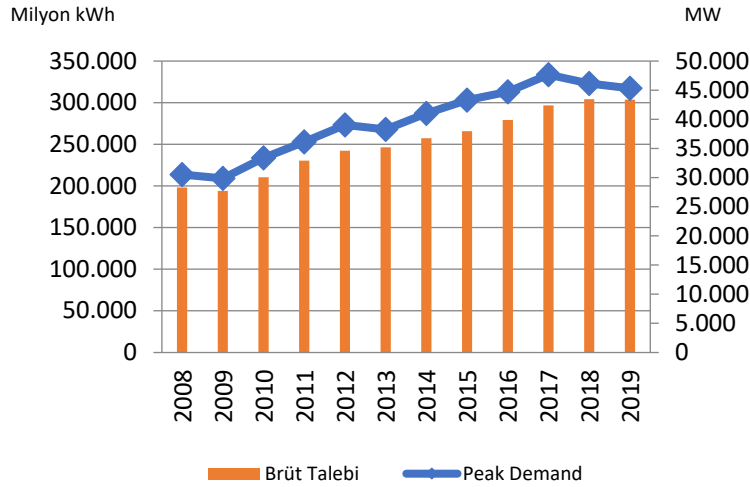
Türkiye’nin dünyada gelişen ekonomiler arasında olması, nüfus artışının devam etmesi sebebiyle gelişmekte olan ülkeler arasında elektrik tüketimi daha uzun yıllar artması beklenmektedir. Kişi başına tüketilen enerji miktarı ülkelerin kalkınma ve refah düzeyinin bir ölçütü olarak kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkeler bu açıdan değerlendirildiğinde, Avrupa ülkelerinde OECD’nin ortalama enerji tüketiminin yaklaşık 6500 kWh / kişi olduğu ve kişi başına yıllık enerji tüketiminin 10.000 kWh/yıl olduğu görülmektedir. Şekil 2’de gösterildiği gibi, Türkiye’de kişi başına elektrik brüt üretimi 3700 kWh/yıl ve net tüketim yaklaşık 2855 kWh/yıl’dır. Kişi başına

düşen elektrik tüketimi, Türkiye'nin kalkınma süreci dikkate alınarak değerlendirildiğinde, önümüzdeki yıllarda talebin sürekli artacağı açıktır (Şekil 3.).



Şekil 3. Türkiye kişi başı elektrik brüt elektrik enerjisi üretimini yıllara göre değişimi.

Türkiye elektrik üretim talebi sürekli artış göstermesine karşın 2017 sonrasında dünyadaki genel ekonomik durgunluk sebebiyle yavaşlama göstermeye başlamıştır. Türkiye'de her yıl brüt olarak yaklaşık 300 milyar kWh elektrik talebi gerçekleşmektedir. Türkiye'de 2018 yılında % 2.5'lik bir artışla brüt elektrik talebi 304.7 milyar kWh'ya ulaşırken, 2019 yılında brüt elektrik talebi geçici verilere göre 303,6 milyar kWh olmuştur. Bu rakam dünyadaki genel ekonomik durgunluk sebebiyle bir önceki yıla göre 1 milyar kWh'lık bir düşme gösterse de Türkiye'nin enerji kullanımının önümüzdeki on yıl içinde % 50 artması beklenmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Türkiye'nin elektrik brüt talebi ve pik talep değerlerinde yıllar bazındaki değişim.

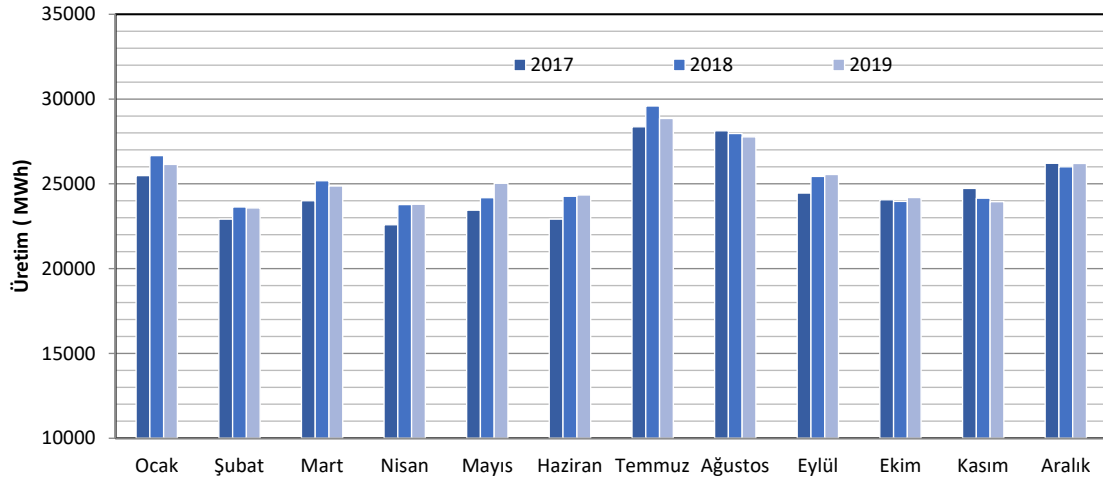
Türkiye'nin kurulu gücü 2019 sonu itibarıyla 91.267 MW'a ulaşırken, brüt elektrik üretimi 304.252 GWh' a ulaştı. 2019 yılında, Türkiye'nin elektrik üretiminin bunun %21'i ithal kömürden olmak üzere %39'u kömürden, %19'u doğalgazdan, %29,2'si hidroelektrik kaynaklardan, %7'si rüzgar enerjisinden, %3,55'i güneş enerjisinden, %2,7'si jeotermal enerjiden ve % 1,5'i diğer kaynaklardan sağlanmıştır [9].

4. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜZERİNDE COVID-19 DÖNEMİ BULGULARI

4.1. Elektrik üretimine Etkisi Açısından Elde Edilen Bulgular

Türkiye'nin gelişmekte olan ülkeler sınıfında olması sebebiyle kriz dönemleri dışında toplam elektrik tüketimi sürekli bir artış eğilimi göstermektedir. Türkiye'nin son üç yıldaki (2017, 2018 ve 2019) elektrik enerjisi brüt üretiminin aylar bazında son üç yıldaki değişimi incelendiğinde bir iki ay hariç tüm aylarda, her yılın bir önceki yılın aynı ayına göre artış olduğu gözlenmektedir (Şekil 5).

Aynı şekilde, ülkenin toplam elektrik tüketimi 2020 yılına da hızlı bir yükselişle başlamış ve yılın ilk ayında toplam elektrik üretimi bir önceki yılın aynı dönemine göre yüzde 3'lük ve ikinci ayında ise % 2.54 lık artışlar ile yaklaşık 26.3 milyar kWh ve 23.8 milyar kWh'a ulaşmıştır. Benzer şekilde 2020 yılının şubat ayında da elektrik tüketimi ise bir önceki yılın aynı ayına göre yüzde 7'lik artışla 24.1 milyar kWh'a yükselmiştir.



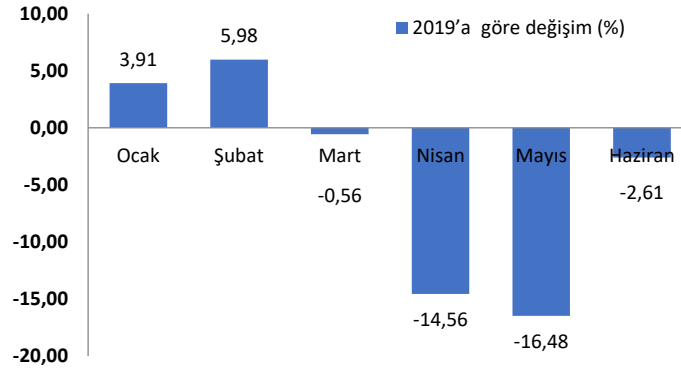
Şekil 5. Türkiye brüt elektrik enerjisi üretiminin aylar bazında son üç yıldaki değişimi.

2020 yılının başında elektrik artışı, geçmiş yıllarda gözükten genel elektrik talebine bağlı olarak Ocak ve Şubat aylarında artış göstermiş, ancak Mart ayına geldiğimizde, 11 Mart 2020 tarihinde ilk vakanın görülmesinin etkisiyle alınan karantina tedbirlerine bağlı olarak elektrik talep artışı durmaya başlamıştır. Covid-19 sürecinde alınan tedbirlerin etkisi ile Mart 2020'de toplam elektrk tüketimi %-0.56'lık bir düşüş ile 23.6 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Bunun sonrasında elektrik Nisan ve Mayıs aylarında hızlı bir düşüş göstererek, Türkiye'de Nisan ayında 19 milyar kWh ve Mayıs ayında ise 19.5 milyar kWh elektrik tüketildi. Bu değerler, Nisan 2019 ayındaki 22.6 milyar kWh'lık tüketime göre %15.5'luk bir düşme ve Mayıs 2019 ayındaki 24.1 milyar kWh'lık tüketime göre ise %16.4'lük bir düşmeyi göstermektedir [10].

Tablo 1. Türkiye'nin son üç yılın 7 aylık brüt elektrik enerjisi üretimi ve Covid19 süreci ile birlikte 2020 yılı üretiminin aylar bazında önceki iki yıla göre değişimi.

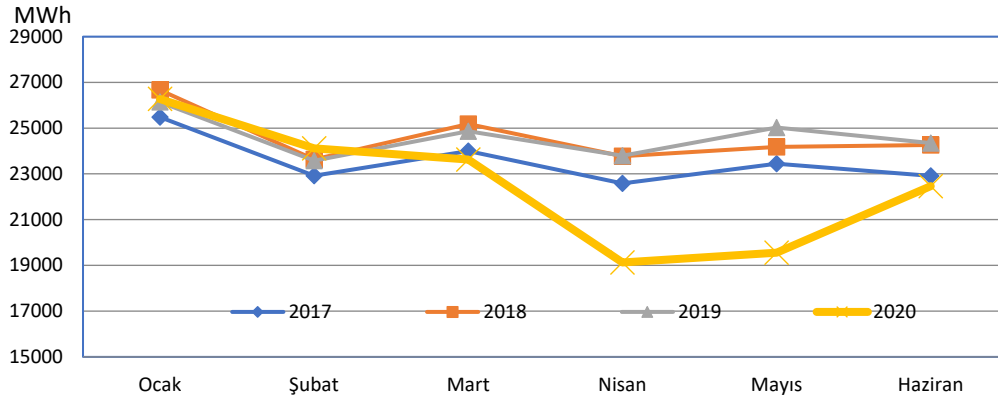
Aylar	2018	2019	2020	2019 ile Değişim (%)	2018 ile Değişim (%)
Ocak	25867,41	26058,60	26124,05	3,91	0,99
Şubat	22780,05	23522,12	24159,49	5,98	6,06
Mart	24123,98	24843,57	23690,83	-0,56	-1,80
Nisan	22724,98	22560,96	19079,35	-15,56	-16,04
Mayıs	22966,98	24176,75	19.577,41	-16,48	-14,76
Haziran	22791,62	24258,08	22467,32	-2,61	-1,42
Temmuz	29589,09	28789,66	28773,61	-0,06	-2,76

Türkiye'nin Tablo 1.'de verilen verilere göre 2020 yılının ilk 7 ayında yaptığı aylık brüt elektrik enerjisi üretimi son üç yıl ile karşılaştırıldığında Covid19 sürecinde elektrik üretiminin aylar bazında değişimi rahatlıkla görülmektedir. Buna göre ilk vakanın görüldüğü Mart ayı ile birlikte elektrikk üretimi 2019 yılına göre düşmeye başlamış ve bu düşüş Nisan ve Mayıs aylarında %-15.56 ve %-16.48 gibi tepe değerlerine ulaşmış, Haziran ayı normalleşme adımının atılmasıyla düşüş trendi hızını kaybetmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Türkiye 2020 yılı 6 aylık brüt elektrik enerjisi üretiminin aylar bazında 2019 yılının aynı ayına göre değişimi

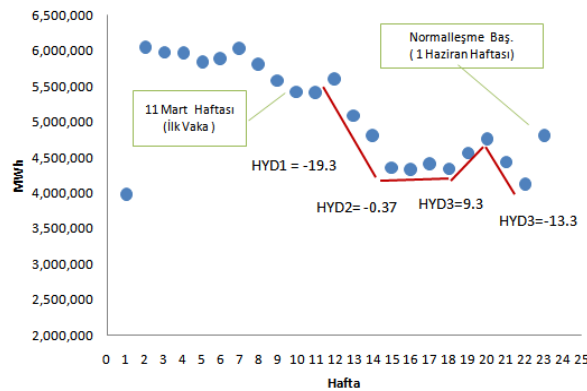
Üretimin tekrar geçmiş yıllar trendine göre nasıl bir seyir izlediği ve Temmuz ayında eski seyrine geri dönüşü Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Türkiye 2020 yılı 6 aylık brüt elektrik enerjisi üretiminin aylar bazında son üç yılın yılının aynı ayına göre değişimi (MWh).

4.2. Elektrik Tüketimine Etkisi Açısından Elde Edilen Bulgular

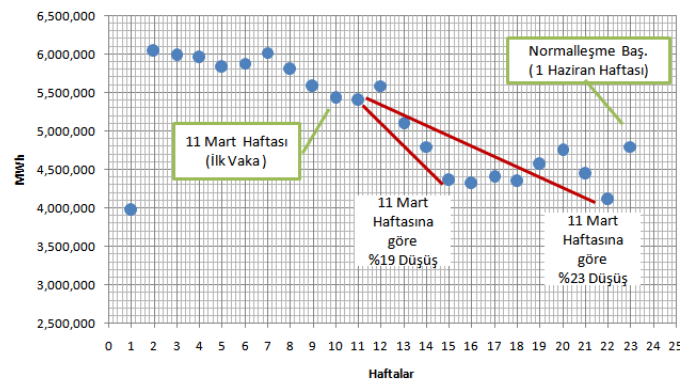
İlk Covid19 vakasının görüldüğü 11 Mart 2020 tarihin içeren hafta ile birlikte devam eden haftalardaki elektrik tüketimi incelendiğinde talebin hızlı bir şekilde azaldığı, tam karantina tedbirlerinin kaldırılarak normalleşme sürecine karar verilen 1 Haziran 2020 tarihini içeren haftaya kadar azalmayı sürdürdüğü, bu tarihi içeren hafta ile birlikte elektrik tüketiminin yeniden artışa geçtiği gözlenmektedir.



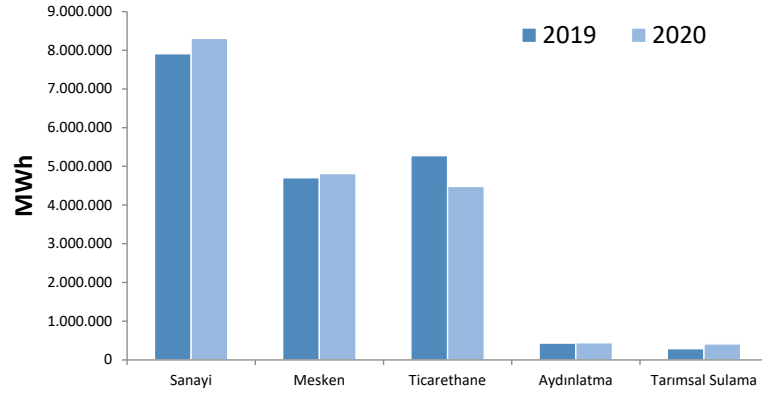
Şekil 8. Türkiye elektrik üretiminin aylar bazında önceki üç yıla göre değişimi

Elektrik tüketimindeki Haftasal Yüzde Değişimi (HYD) değerleri, ilk vakanın görüldüğü 11 Mart 2020 tarihini içeren 11.Hafta ile 15.Hafta arasında $HYD1=-19.3$, 15.Hafta ile 18.Hafta arasında $HYD2=-0.37$ olmuştur. Bu haftadan sonra 3 hafta süreyle elektrik tüketimi %9'luk artış göstermiş 18.Hafta ile 20.Hafta arasında $HYD3=9.3$

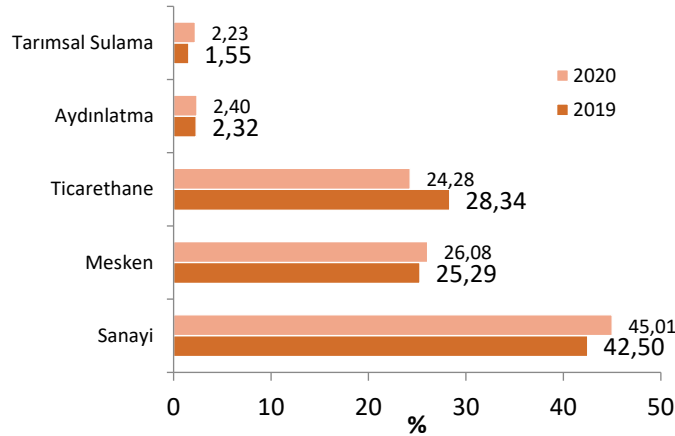
olmuştur. Ardından elektrik tüketimi tekrar düşüşe geçerek 18.Hafta ile 20.Hafta arasında $HYD4=-13.3$ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 8). Türkiye'nin elektrik talebi 11.Hafta ile 15.Hafta arasında %19 düşüş gösterirken, 11.Hafta ile 22.Hafta arasında %23 olarak bir talep daralması olarak kendini göstermiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Elektrik tüketiminin Covid19 ilk vakası ile birlikte haftalar bazında değişimi.



Şekil 10. İlk Covid19 vakasının görüldüğü Mart 2020 ayındaki abone bazındaki elektrik tüketim miktarının 2019 Mart ayı değerleri ile karşılaştırılması.



Şekil 11. İlk Covid19 vakasının görüldüğü Mart 2020 ayında abone bazındaki elektrik tüketiminin toplam tüketim içindeki payının 2019 Mart ayı değerleri ile karşılaştırılması.

İlk Covid19 vakasının görüldüğü Mart 2020 ayındaki abone bazındaki elektrik tüketim toplam tüketim içindeki payının 2019 Mart ayı değerleri ile karşılaştırıldığında, hem miktar hem de yüzde olarak mesken ve sanayide elektrik tüketimi artarken ticarethanelerde 792 Milyon kWh'lık elektrik enerjisi miktarına denk gelen yaklaşık %4'lük bir düşüş gerçekleşmiştir (Şekil 10). İlk vaka görüldüğü 11 Mart 2020 tarihinin içinde bulunduğu ayda sanayide üretimi etkilemez iken, evde kal uyanları ile birlikte evsel elektrik tüketimi 105 Milyon kWh'lık artmış, ticarethanelerde işlerin azalması veya kısmi çalışma sebebiyle elektrik tüketiminin azaldığı gözlenmiştir [10].

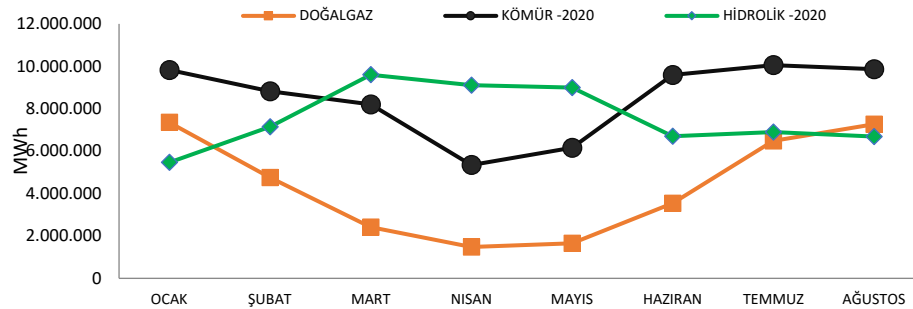
Elektrik tüketici davranışlarının analizini içeren verilere göre, evsel elektrik tüketimi nisanda, sokağa çıkma yasağının başladığı mart ayına göre yüzde 25 artış gösterdi. İş yerlerindeki elektrik tüketimi ise yüzde 50 azaldı. Sadece Mart 2020 aynı bakıldığında aydınlatma bazında öneki değişiklik gözlenmezken, ticarethanelerde %4.1’lik talep düşmesi olmuştur. Bunun yanında “evde kal” uygulamalarının etkisiyle evsel elektrik tüketimi ise %1.2 ve sanayi elektirik tüketiminde %3’lük bir artış meydana gelmiştir (Şekil 11). Ancak genel aydınlatma tüketiminde Covid-19 süreci ile doğrudan orantılı bir tüketim değişimi gözlenmemektedir (Tablo 2) [11].

Tablo 2. Türkiye’nin 2019 ve 2020 yıllarına ait ilk beş ayın genel aydınlatma tüketim miktarları (kWh).

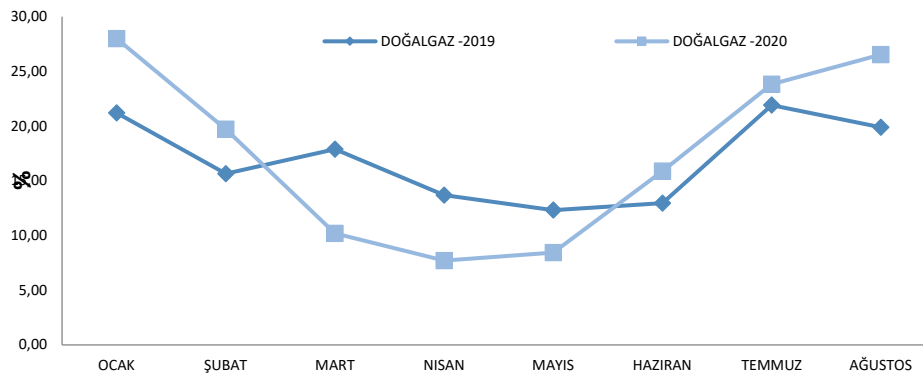
Ay	2019 (kWh)	2020 (kWh)	Fark
Ocak	461.005.438,32	464.549.698,52	3544260,203
Şubat	431.062.189,41	397.912.142,77	-33150046,64
Mart	378.216.334,78	383.520.920,68	5304585,896
Nisan	340.659.328,04	339.756.090,53	-903237,51
Mayıs	302.398.771,17	314.806.469,76	12407698,59

4.3. Enerji Kaynaklarına Etkisi Açısından Elde Edilen Bulgular

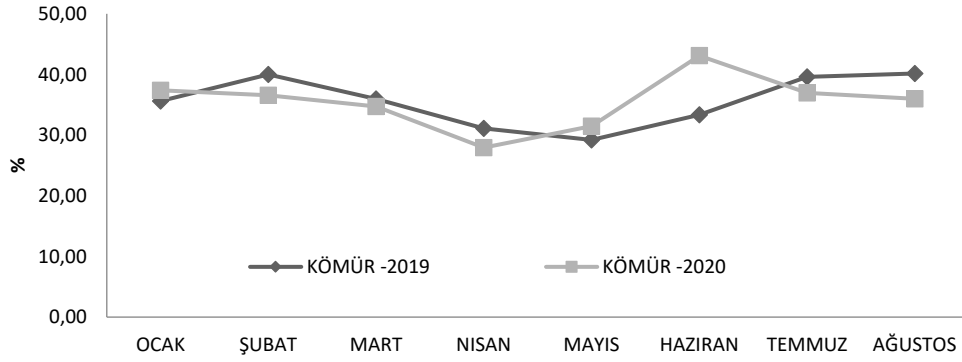
Elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar üzerinde de covid19 sürecinin başlaması ile uygulanan karantina önlemleri etkili olmuştur. Şekil 16’da görüldüğü üzere hidrolik santrallerin elektrik üretimindeki payının artış göstermesi ile kömür santrallerinde elektrik üretimi birbirini tamamlayacak şekilde ters bir oranla düşüş göstermiştir. Covid-19 sürecinde Mart 2020 ayından başlayarak Temmuz 2020 ayına kadar tüketim düşmesi sebebiyle oluşan Türkiye’nin toplam brüt elektrik üretimindeki düşüşün, kaynak açısından doğalgaza dayalı santrallerin üretiminin azaltılmasıyla sağlandığı görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Covid19 sürecinde 2020 yılı 8 aylık elektrik üretiminde kullanılan kaynakların değişimi.



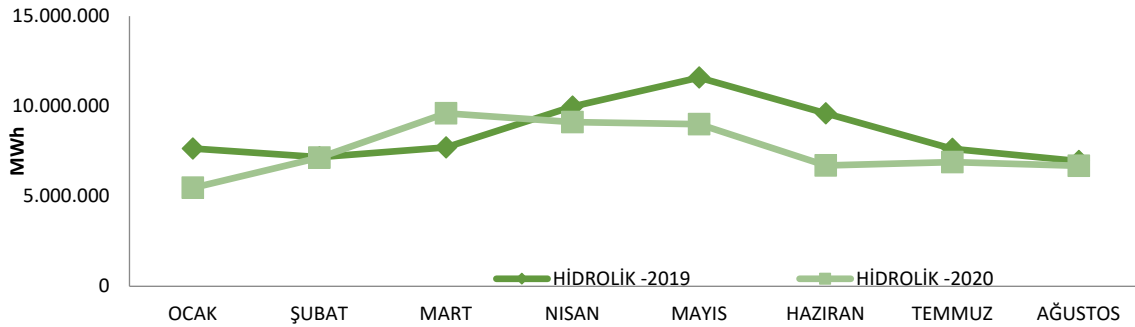
Şekil 13. Covid19 sürecinde 2020 yılı elektrik üretiminde kullanılan doğalgazın payının aylar bazında 2019 yılı değerleri ile karşılaştırılması.



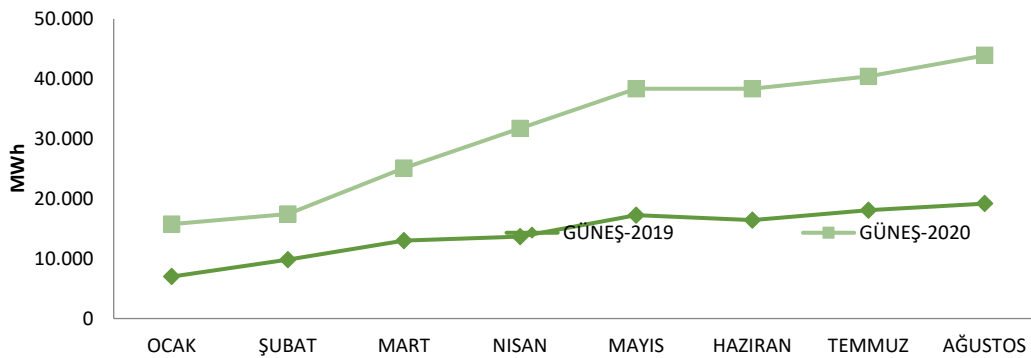
Şekil 14. Covid19 sürecinde 2020 yılı elektrik üretiminde kullanılan kömürün payının aylar bazında 2019 yılı değerleri ile karşılaştırılması

Elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtlar incelendiğinde, doğalgazın payının 2020 yılının Mart ayında %7 düşüş ile 2019 yılındaki %17 seviyesinden %10 seviyesine, Nisan ayında %13 seviyesinden %8 seviyesine ve Mayıs ayında ise %12 seviyesinden %8 seviyesine düştüğü gözlenmektedir. Elektrik üretiminde en büyük değişim doğalgazda meydana gelmiştir. (Şekil 13.)

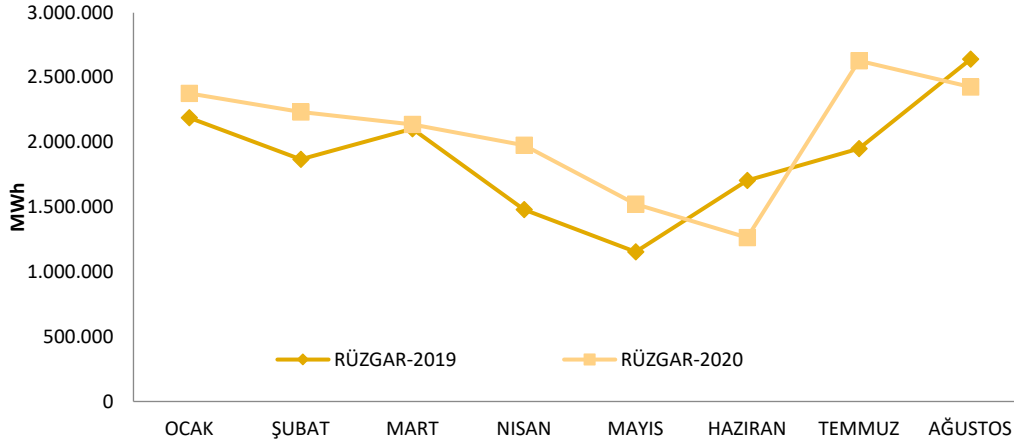
Covid19 sürecinde 2020 yılı elektrik üretiminde kullanılan kömürün (asfaltit, linyit, taşkömürü ve ithal kömür) payının aylar bazında 2019 yılı değerleri ile karşılaştırıldığında, elektrik üretimindeki payının önemli değişiklik göstermediği, sadece normalleşme sürecinin başladığı Haziran 2020 ayında elektrik üretimindeki payının daha yüksek gerçekleşmiştir (Şekil 14). Su gelirlerine bağlı olarak üretim yapan hidroelektrik santrallerinin üretimi ise bu dönemde artış göstermiştir (Şekil 15). Bunun yanında, elektrik tüketimindeki düşüşün meydana geldiği Mart 2020 ile Temmuz 2020 ayları arasında, güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerji elektrik santrallerindeki üretiminin etkilenmediği, kapasite artışına bağlı üretim artışları meydana gelmiştir (Şekil 16).



Şekil 15. Covid19 sürecinde 2020 yılı elektrik üretiminde kullanılan hidroelektrik payının aylar bazında 2019 yılı değerleri ile karşılaştırılması.



Şekil 16. Covid19 sürecinde 2020 yılı elektrik üretiminde kullanılan güneş santralleri payının aylar bazında 2019 yılı değerleri ile karşılaştırılması.



Şekil 17. Covid19 sürecinde 2020 yılı elektrik üretiminde kullanılan rüzgar santralleri payının aylar bazında 2019 yılı değerleri ile karşılaştırılması.

Covid-19 döneminde, Türkiye'nin toplam brüt elektrik tüketimindeki düşüşün meydana geldiği Mart 2020 ile Temmuz 2020 ayları arasında, rüzgar enerjisine dayalı yenilenebilir enerji santrallerindeki elektrik üretimindeki düşüşün ise yıllık kapasite artışına rağmen, meteorolojik olaylara bağlı rüzgar enerjisi değişimlerine bağlı olduğu düşünülmektedir (Şekil 17).

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Türkiye'de koronavirüs salgınının neden olduğu azalan sosyal ve ekonomik faaliyetin Türkiye'nin elektrik talebini azalttığı görülmektedir. Türkiye ülke çapında bir tecrit uygulamamasına rağmen, idarenin restoranların, kafelerin ve diğer küçük işletmelerin kapatılması talimatının ardından, marketler ve eczaneler açık kaldıktan sonra ülkedeki ekonomik faaliyetler keskin bir şekilde azalmaya başlamış ve bu da elektrik tüketimini düşürücü yönde etkilemiştir. Bu süreçte bazı işletmeler daha fazla elektrik enerjisi tüketmeye başlamış, fakat çoğunluğu ise işlerini durdurmak veya yavaşlatmak mecburiyetinde kaldıkları için tükettikleri elektrik enerjisi de azalmıştır.

Ülkelerdeki düşük elektrik tüketimi seviyeleri eğer devam ederse, kısıtlı üretim ve azalan gelirler nedeniyle fosil yakıt santrallerini üretimine olumsuz yansıtacaktır. Ancak güneş, rüzgar, hidrolik ve diğer yenilenebilir enerji santralleri açısından ise ilk olarak bunların ürettiği elektrik şebekeye gönderildiği için, bunların çalışması karşısında hiçbir engelleri olmadığından, sonuç olarak elektrik şebekelerindeki yenilenebilir enerji penetrasyonu en yüksek seviyelere ulaşmasına yol açacaktır. COVID-19 süreci nedeniyle ülkelerdeki elektrik tüketimi eğilimlerinin analizi, kısa ve uzun vadede davranış değişiklikleri üzerinde önemli etkileri olmuştur. Ancak, sosyal yaşamdaki değişikliklerin süresini (örneğin, evden çalışma, uzaktan eğitim, online video konferans, e-ticaret) ve bu davranış kalıplarının ve enerji tüketiminin sonuçları sebebiyle ortaya çıkan dinamikler için daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarı aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

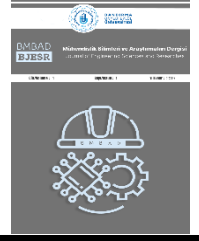
- [1] I. Dincer, "Covid-19 Coronavirus: Closing carbon age, but opening hydrogen age.", *Int J Energy Res.*, 44:6093–6097, 2020, <https://doi.org/10.1002/er.5569>
- [2] IEA. COVID-19. (Exploring the impacts of the Covid-19 pandemic on global energy markets, energy resilience, and climate change. 2020. Available at <<https://www.iea.org/reports/>>
- [3] M. Narajewski, F. Ziel, "Changes in electricity demand pattern in Europe due to COVID-19 shutdowns", *IAEE Energy Forum. (Special issue):*44–47, 2020
- [4] M. Williamson, A. Zaman, A. "COVID-19 crisis reinforces the importance of the sustainable energy transition", 2020, Available at: <<https://www.unescap.org/blog/covid-19-crisis-reinforces-importance-sustainable-energy-transition>> Erişim tarihi: 10 Ağustos 2020.
- [5] M. Carvalho, D.B de Delgado, K.M. de Lima, M. de Canela, C.A. dos Siqueira, DLB de Souza, "Effects of the COVID-19 pandemic on the Brazilian electricity consumption patterns". *Int J Energy Res.* e5877.. 2020 <https://doi.org/10.1002/er.5877>

- [6] N. Rodrigues, L. Losekann, “ Impacts of COVID-19 on the Electricity Demands and its Implications for Brazil.”, Rio de Janeiro, Brazil: Editora Brasil Energia; 2020.
- [7] ENTSO-E Summer Outlook, 2020 <https://www.entsoe.eu/news/2020/06/15/entso-e-summer-outlook-2020-released/>, Erişim tarihi : 5 Eylül 2020
- [8] Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ), Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, Erişim tarihi : 10 Ağustos 2020,
- [9] Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ), Yük Tevzi Bilgi Sistemi (YTBS), Erişim tarihi : 5 Eylül 2020, https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf
- [10] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Elektrik Piyasası Resmi İstatistikleri, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-167/resmi-istatistikleri>, Erişim tarihi : 15 Eylül 2020.
- [11] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş (TEDAŞ), Bilgi Merkezi, Genel Aydınlatma Tüketimleri, https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_tarifeler_1, Erişim tarihi : 15 Ağustos 2020.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Kalsit Mineral Katkılı Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF)'nin Yanma Performansının Araştırılması

Investigation of Combustion Performance of Calcite Mineral Added Medium Density Fiberboard (MDF)

¹Osman ÇAMLİBEL , ²Mehmet AKGÜL

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarım, Kırıkkale, Türkiye

² Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye

¹osmancamlibel@kku.edu.tr, ²mehmetakgul@kmu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :13 December 2020

Accepted : 30 December 2020

Keywords:

MDF, Combustion,
Calcite, Inorganic Mineral,
Fire Resistance

ABSTRACT

In this study, in order to increase the fire resistance properties of MDF boards, the possibilities of using calcite mineral in MDF production were investigated. Wood chips were cooked for 4 minutes at 7.5 bar, and 180°C temperature in an Asplund defibrator. Instead of lignocellulosic fibers used for the manufacture 1 m³ MDF, liquid paraffin before fibrillation, then hardener, resin and calcite mix solutions were added on fibers as 3%, 6%, 9% according to total amount of fibers in blowline, respectively. The fibers were dried to 12% moisture by the dryer. Boards were produced 185°C temperature, 32 kg/cm² pressure and 270 second pressing time by multi-day eight-layer hot press. Boards were sanded by 50, 80 and 120 grit size sanding belts. Combustion tests of MDFs' were carried out FIC, SC, ESC, FIC lux, SC lux, ESC lux, IST, ESCS and weight loss. Consequently, calcite minerals have increased the resistance to fire of MDF as good performance.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

Makale Tarihleri

Gönderim : 13 Aralık 2020

Kabul : 30 Aralık 2020

Anahtar Kelimeler:

MDF, Yanma, Kalsit,
İnorganik Mineral, Yanma
Direnci

Ö Z E T

Bu çalışmada, MDF levhaların yangına dayanıklılık özelliklerini arttırmak için kalsit mineralinin MDF üretiminde kullanılma imkanları araştırılmıştır. Yongalar Asplund defibratörde 4 dakika 7.5 bar ve 180°C sıcaklıkta pişirilmiştir. Liflendirmeden önce % 1,5 sıvı parafin mantarlaşmış yongalara verilmiştir. 1 m³ MDF üretimi için kullanılan lignoselülozik liflerin yerine; %3, %6, %9 oranlarında kalsit minerali üre formaldehite tutkalı ve sertleştirici ile karıştırılarak blowlinedan liflere verilmiştir. Lifler % 12 rutubete kadar kurutulmuştur. Levhalar 185 °C sıcaklık, 32 kg/cm² basınç ve 270 saniyede sekiz katlı sıcak preste preslenmiştir. Üretilen levhalar 50, 80 ve 120 tane büyüklüğünde zımpara bantları ile zımparalanmıştır. Kalsit katkı ile üretilen levhaların yanma testleri; AKY, KKY, KHY, AKY lüks, KKY lüks, KHY lüks, İYB, KHYS, Ağırlık kaybı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak kalsit mineralleri; levhaların yangına karşı direnç testinde iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Lif levha (MDF) üretiminde yongalara veya selülozik liflere uygun oranlarda inorganik malzemeler ve türevi materyaller karıştırılarak ve kimyasalların ilavesiyle düzgün yüzeyli paneller üretilebilmektedir.

İnorganik kaya tuzunun MDF üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında, Kaya tuzu katkılı MDF levhalarının fiziksel, mekanik ve yanma performanslarını araştırmışlardır [20].

MDF üretiminde, melamin üre formaldehit (MUF) içeriklerine bazı bor bileşiklerini (%10, %15, %20) oranında ekleyerek levhaların üretimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, özellikler bor bileşiklerinin levhaların fiziksel ve mekanik etkisini incelemişlerdir. Reçine içinde melamin içeriği arttıkça levhaların bazı özelliklerini pozitif yönde etkilediğini ifade etmişlerdir. [6].

Çimento kompozitleri ve odun yünü üzerine bazı çalışmalar yapmışlardır [10].

Vermikülit katkılı MDF levhalar üretmişlerdir. Araştırmalarında levhaların özelliklerini, oksijen endeksinin sınırlandırılmasını (LOI), eşzamanlı termal analizi (TG-DSC), eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet modülünü (MOE) araştırmışlardır [12].

Agresif lignoselülozik biyokütle (bamya, tütün, fındık, ceviz cehennemi, çam kozalağı) kombinasyonlarıyla orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretmişlerdir. Araştırmalarında, üretilen orta yoğunluklu lif levhanın (MDF) fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır [13].

Di-amonyum fosfat, mono amonyum fosfat, çinko klorür, amonyum sülfat, boraks ve borik asit gibi inorganik tuzları Güney çamın hammadde olarak ve bu türden üretilen kontrplaklarda kullanmışlar ve yanma derecelerini test ederek kimyasalların alev geciktirici olarak performanslarını araştırmışlardır [15].

Mikrokristalin selüloz termoplastik kompozitler için alev geciktiriciler olarak amonyum zeolit ve amonyum fosfatı araştırmışlardır [3].

Yangın geciktiricilerin su, bağlayıcı, kalsit ve çeşitli alev geciktiricilerle kombine edilmiş kaplamaları ile kaplanmış orta yoğunluklu lif levhaların yanma performansı özelliklerini araştırmışlardır [2].

Bazı yangın geciktiricilerle işlenmiş kayın (*Fagus orientalis* L.) kaplamalardan hazırlanan lamine kaplama kerestenin (LVL) yanma özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarına göre, en düşük sıcaklık ve kütle kaybı, di-amonyum fosfat ve borik asit-boraks karışımı ile muamele edilen numunelerde elde etmişlerdir [4].

Ahşap yapılar için yangın geciktirici olarak disodyum oktaborat tetrahidrat bazlı ve tanin-bor bazlı formülasyonlarının karşılaştırmalarını incelemişlerdir. Ahşap panellerde yangın geciktiricilerin oranı artırıldığında yangın performanslarının daha da arttığını ifade etmişlerdir [8].

Samam-magnezyum çimento (SMC) kompozitlerinin su direncini, yangın geciktirici performanslarını ve mekanik mukavemetini iyileştirmek için çalışmışlardır [17].

MDF ve kontrplak panellerin üretiminde çeşitli yangın geciktiricileri kullanarak ve üretilen levhaların yanma performansına etkileri belirlemişlerdir. Araştırma sonucunda; MDF ve kontrplağın yangın performansının yaklaşık %6,4 ve %1,6 arttığını göstermişlerdir [9].

Laboratuvar ortamında öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) dolgu ilaveli 8 mm kalınlığında MDF levhalar imal etmişlerdir. MDF'ler ağırlık bazında (kuru/kuru) sırasıyla 550, 700 ve 850 kg/m³ hedef yoğunluklarda %10, %20 ve %30 oranlarında kalsiyum karbonat katkılı levhalar üretmişlerdir. Ancak MDF'nin ağaç lifi yerine ağırlıkça %10'dan fazla öğütülmüş kalsiyum karbonat içerdiği, levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini çok olumsuz etkilediğini bildirilmişlerdir [16].

MDF üretiminde ZnO nano-partiküllerinin %0.5 ve %1.0 oranında üre formaldehit reçinesi ve melamin formaldehit reçinesi ile birleştirerek levhalar üretmişlerdir. Araştırmalarında ZnO nanopartiküllerinin levhaların fiziksel özelliklerine etkisi, nemli ortamlarda levhaların kullanılması nedeniyle dirençlerinin tespiti ve mantar saldırılarına karşı mukavemet değerleri üzerine çalışmışlardır [5].

MDF'yi wollastonit (kalsiyum inosilikate mineral) elyaflarından ile deve dikenli ağaç liflerinin karışımıyla levhalar üretmişlerdir. Bu levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır [11].

Özellikle iç mekân mutfak mobilyaları ve otellerin mutfak mobilyalarında yangına dirençli levhalara ihtiyaç artmaktadır. Mutfak mobilya üretiminde kullanılan MDF'ler yangın geciktirici özellik kazandırılmalıdır. Ülkemizde veya Dünyada toplam MDF üretimi içinde yangına dirençli levhaların oranı artırılmalıdır. 2018 yılında, Türkiye'de MDF/HDF üretimi 4.910.000 m³/yıl, Avrupa da MDF üretimi yaklaşık 17.764.338 m³/yıl ve Dünyada 99.443.242 m³/yıl üretim gerçekleşmiştir [7].

Yangına dirençli levhalar, mutfak mobilyalarında kullanımı arttıkça, yaşam alanlarında yangın çıkma riskini minimize edebilecektir.

Bu çalışma; lignoselülozik hammaddeler yerine kalsit (%3, %6, %9) minerallerinin kullanımıyla MDF levhaları üretim sürecinde üretilmiştir. Üretilen kontrol levhası ve kalsit mineral katkılı levhaların yangına karşı mukavemet seviyelerinin araştırılması amacıyla deneysel araştırmalar yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. MDF üretiminde kullanılan odun hammaddeler

MDF üretiminde kullanılan odun materyali; Kayın (*Fagus Orientalis* L.) odunları Düzce ili Orman Bölge işletmelerinden, Meşe (*Quercus Robur* L) odunları Batı Karadeniz bölgesinden ve Çam (*Pinus sylvestris* L) odunları Bolu ilinden tedarik edilmiştir.

2.1.2. Kalsit (CaCO_3)

Kalsit inorganik minerali 2.5-2.7 g/cm³ sertliğinde ve özgül ağırlığı ile % 90 CaCO_3 içeren kalkerden oluşur. Kalsiyum oksit, su ile reaksiyona girerek kalsiyum hidroksite dönüştürülür. Aksaray ili civarından kalsit malzemeleri temin edildi.

2.1.3. Kimyasallar

Üre formaldehit reçineleri, sıvı parafin ve amonyum sülfat sırasıyla Gebze Polisan firmasından, Denizli Mercan Kimyadan ve Gebze'den özel bir firmadan temin edildi. Kimyasalların spesifik değerleri çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. MDF üretiminde kullanılan kimyasalların spesifik değerleri.

Sıra no	Ürün özellikleri	Ölçüm değeri
Tutkal (Poliüre 2265)	Görünüş	Temiz, beyaz sıvı
	Katı madde %	65±1
	Formaldehit/üre mol oranı	1.22
	Yoğunluk (20 °C gr/cm ³)	1.227
	Vizkosite (20 °C cps)	185
	Akma zamanı (20 °C, FC4, sn)	25 – 40
	Jelleşme zamanı(100 °C, sn) (%10luk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	40 – 60
	pH	7.5 – 8.5
	Serbest formaldehit miktarı %	0.5 maksimum
	Metilol grupları %	12 – 15
	Depolama zamanı (20 °C, gün)	45
Sıvı parafin	Görünüş	Krem, light
	Erime noktası	Sıvı
	Yağ oranı %	2 maksimum
	Penetrasyon	32
Amonyum sülfat	Görünüş	Kirli beyaz
	Yapı	Kristal taneli

2.2. METOT

2.2.1. Üretim reçetelerinin oluşturulması

İnorganik dolgu mineral katkılı solüsyon karışımının lignoselülozik materyallere karıştırılmasıyla oluşturulacak üretim reçetesi, çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Üretim parametreleri ve presleme şartları

Üretim parametreleri ve presleme şartları											
Levha grupları	Lif (%)	Kalsit mineraller (%)	Reçine (ÜF) (%)	Sertleştirici (AS) (%20)	Sıvı Waks (%)	Lif rutubeti (%)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres basıncı (Kg/cm ²)	Pres süresi (dk)	Zımparalı levha kalınlığı (mm)	Levha rutubeti (%)
Kontrol	100	0	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.50
R ₉₇ C ₃	97	3	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.89
R ₉₄ C ₆	94	6	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.20
R ₉₁ C ₉	91	9	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.50

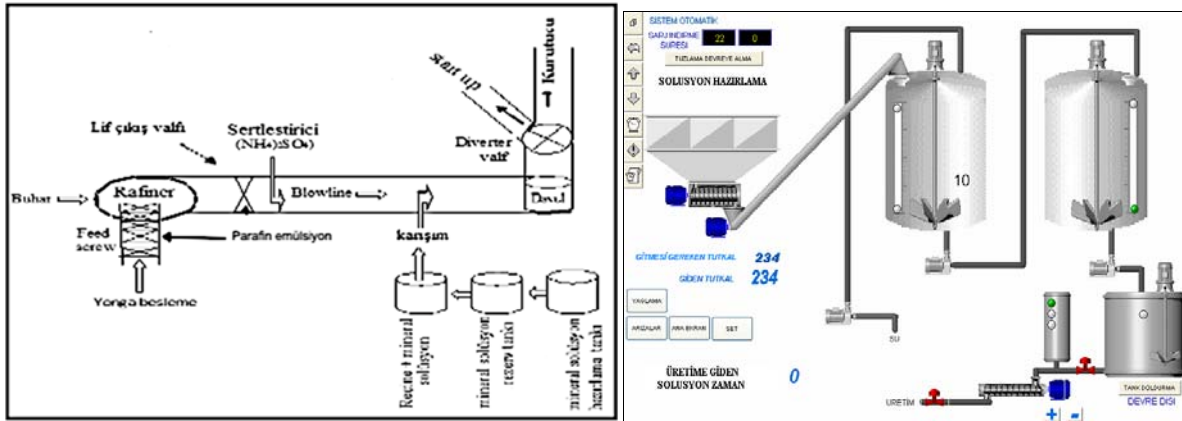
R: 1 m³ levha için tüketilen (ibrelili+ibresiz) odun, C: 1 m³ levha için tüketilen kalsit minerali, R_xC_y: yüzdelik (%) karışım, ÜF: Üre formaldehit, AS: Amonyum sülfat ve Waks: Parafin.

2.2.2. MDF levhalarının üretilmesi

Kalsit katkılı deneme levhalar, Düzce ilinde bulunan Divapan Entegre AŞ firmasının MDF üretim hattında üretilmiştir. Üretim esnasında diğer üretim parametreleri sabit kalmış ve sadece kalsit inorganik mineral karışım oranları değiştirilerek üretimi gerçekleşen genel amaçlı levhalardır. Deneme levhalarının çizelge 2'deki üretim parametreleri uygulanmıştır. MDF levhalarının üretiminde orman işletme depolarından tedarik edilen kayın, saplı meşe ve çam odunu hammadde olarak kullanılmıştır. Odunlar yongalayıcıda yonga haline getirilmiştir. Yongalar yonga depolama silolarında stoklanmıştır. Siloların çıkışında yonga karışım oranları belirlenmiştir. Yongalar mekanik elekten elenmiştir.

Rafinör ünitesinde yongalar 180°C ve 7.5 bar buhar basıncında 4 dakika buhar ile pişirilerek mantarlaştırılmıştır. Mantarlaştıran yongalara liflendirmeden önce sıvı parafin verilmiştir. Yongalar defibrator segmentlerinde lif haline getirilmiştir. Defibrator çıkışı ve blowline bölümünde liflere sertleştirici (amonyum sülfat) (%20) solüsyonu eklenmiştir. Kalsit mineralleri ayrı bir tankta %50 solüsyon halinde hazırlandı ve rezerv tankına alındı. Tankların altında karıştırıcı ile solüsyon sürekli karıştırılmıştır. Çizelge 2'deki parametrelere göre üretilen formaldehit tutkalı ile karıştırılarak sevk pompası ile blowline liflere eklenmiştir. Kimyasallar ve kalsit eklenen lifler kurutucuda %12 rutubete kadar kurutulmuştur.

Kurutulan lifler mekanik serme istasyonunda homojen olarak pasta formu oluşturulmuştur. Oluşturulan pastalar önpresleme işlemi esnasında sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Sıcak presleme esnasında 8 katlı pres 190°C ve 32-34 kg/cm² ve 270 sn içinde preslenerek levhalar oluşturulmuştur. Pres çıkışında soğutma işleminden sonra ebatlama işlemi yapılmıştır. Levhalar ara depoya alınarak 5 gün boyunca bekletilmiştir. Bekleme işleminden sonra levhaları alt ve üst yüzeyleri 40-80-120 kum zımpara bandı ile zımparalanmıştır. Kalsit katkılı levhalarda TS 642 ISO 554 standardına kondisyonlanmıştır. Kondisyonlanan levhalar ASTM E 160-50 standart deney parametrelerine göre kesim işlemi yapılmıştır. Kesim işlemi yapıldıktan sonra yanma deneyleri yapılana kadar kondisyonlanmaya denge nem içeriği oluşana kadar devam edilmiştir.



Şekil 1. Bağlayıcı (reçine+inorganik kalsit mineral) solüsyon ve diğer kimyasalların üretime verilmesi.

2.3. Üretilen MDF'lerin testlerinin yapılması

2.3.1. Yanma testi yöntemi

Her deney tipi için 13x13x76 mm (radyal x teğet x uzunluk) boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Kalsit MDF numunelerinin yanma testi ASTM E 160-50 (1976) 'ya göre belirlenmiştir [1]. MDF levhalarının spesifik özelliklerini TS 64-1 EN 622-1'e göre açıklanmıştır [18]. MDF levhaları deney yapılmadan önce TS 642 ISO 554 standardına göre kondisyonlanmıştır [19]. Numuneler 27 ± 2 °C'de ve %30 bağıl nemde, yanma testinden önce hedeflenen denge nem içeriği %7 olacak şekilde koşullandırılmıştır.

Deneyler 12 katlı kare prizma şeklinde dizilerek yakılmıştır. Yakma işlemi boyunca, gaz basıncı standartta belirtildiği düzeyde sabit tutulmuştur.

Isıtma alevinin ateşi, hassas çubuk ölçülü bir valf tarafından kontrol edilen bir LPG tankından kaynaklanmıştır. Alev, yanma testi numunelerinin çerçevesinden önce standart yüksekliğe dengelendi. Yanma testi yöntemi daha sonra ASTM E 160-50'ye göre alev aşaması (FS), alevsiz aşama (WFS) ve kızdırma aşaması (GS) olarak gerçekleştirildi. Alev kademeli alev kademeli ve kızdırma kademeli yanma için sırasıyla 15 ve 30 sn aralıklarla termokuplar kullanılarak yanma kolonundaki sıcaklıklar kaydedilmiştir. Kalsit katkılı MDF levhaların yanmaya karşı direnç etkinliği (ASTM E 160-50) aşağıdaki şekil 2'deki test yöntemi uygulanarak yanma direnci ölçülmektedir [1].

Kalsit katkılı MDF levhaların yanma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan testler; alev kaynaklı yanma (AKY), kendi kendine yanma (KKY), kor halinde yanma (KHY), alev kaynaklı yanma lüks (AKY lüks), kendi kendine yanma lüks (KKY lüks), kor halinde yanma lüks (KHY lüks), kor halinde yanma zamanı (KHY zaman) ve yanma kaybı (ağırlık kaybı) aşamaları ölçülerek kaydedilmiştir.

Kalsit katkılı levhaların yanma deneyinde 24'er adet 3'er parti olmak üzere 24x3=72 örnek yakılmıştır. Kontrol ve kalsit katkılı levhaların toplamı 12+1=13 gruptan oluşmaktadır. Toplamda 13x72=936 adet malzeme yakılmıştır. Yanma testinden sonra test numunelerinin kütle kaybı aşağıdaki denklem (1) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Kütle Kaybı} = \frac{(W_{bf} - W_{af})}{W_{bf}} \times 100 \quad (1)$$

Bu deklemdede; W_{bf} , yanma testinden önceki bir ahşap numunesinin ağırlığı (g) ve W_{af} , yanma testinden sonra bir ahşap numunesinin ağırlığıdır (g).



Şekil 2. Yanma deneyi düzeneği (sol) ve yanma malzemeleri (sağ).

Test sonuçları, SPSS-V22 bilgisayarlı bir istatistik paket programı kullanılarak %95 güven aralığında ANOVA Duncan testleri ve varyans analizi ile istatistiksel olarak incelenmiştir.

3.1 BULGULAR

3.1.MDF levhalarının yanma deneylerine ait bulgular

Çizelge 2 üretim reçetesine bağlı kalarak üretilen orta yoğunlukta lif levhaların AKY, AKY lüks, KKY, KKY lüks, KHY, KHY lüks, KHY zaman ve Ağırlık kaybı testlerinin SPSS (ANOVA) Duncan sonuçları çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kalsit katkılı levhaların yanma sonuçlarının istatistikî verileri

	Levha	N	Ort. ^x	Std.	Std.	95% Güven aralığı*		Minumum	Maksimum
	Kalsit			sapma	hata	Alt sınır	Üst sınır		
AKY Sıcaklık (°C)	Kontrol	72	560.21 ^a	17.97	12.71	398.71	721.70	547.50	572.92
	R ₉₇ C ₃	72	551.16 ^a	12.36	8.74	440.10	662.21	542.42	559.90
	R ₉₄ C ₆	72	545.12 ^a	0.53	0.37	540.36	549.89	544.75	545.50
	R ₉₁ C ₉	72	541.87 ^a	29.28	20.70	278.79	804.95	521.17	562.58
KKY sıcaklık (°C)	Kontrol	72	662.57 ^a	6.64	4.69	602.91	722.23	657.88	667.27
	R ₉₇ C ₃	72	652.31 ^a	16.87	11.93	500.72	803.89	640.38	664.24
	R ₉₄ C ₆	72	624.66 ^a	33.37	23.60	324.79	924.52	601.06	648.26
	R ₉₁ C ₉	72	609.56 ^a	18.08	12.78	447.11	772.01	596.78	622.35

KHY sıcaklık (°C)	Kontrol	72	652.57 ^a	19.00	13.40	481.90	823.20	639.10	666.00
	R ₉₇ C ₃	72	490.00 ^b	14.10	10.00	362.90	617.10	480.00	500.00
	R ₉₄ C ₆	72	480.50 ^b	36.10	25.50	156.50	804.50	455.00	506.00
	R ₉₁ C ₉	72	465.00 ^b	35.40	25.00	147.30	782.70	440.00	490.00
KHY zamanı (dk.)	Kontrol	72	64.33 ^a	0.94	0.67	55.81	72.83	63.60	65.00
	R ₉₇ C ₃	72	73.00 ^b	1.41	1.00	60.29	85.70	72.00	74.00
	R ₉₄ C ₆	72	69.75 ^b	2.12	1.50	50.69	88.80	68.25	71.25
	R ₉₁ C ₉	72	65.25 ^a	2.47	1.75	43.01	87.48	63.50	67.00
AKY (lüks)	Kontrol	72	309.00 ^a	2.82	2.00	283.58	334.41	307.00	311.00
	R ₉₇ C ₃	72	254.40 ^b	2.68	1.90	230.25	278.54	252.50	256.30
	R ₉₄ C ₆	72	269.71 ^{bc}	4.18	2.96	232.10	307.32	266.75	272.67
	R ₉₁ C ₉	72	276.08 ^c	10.48	7.41	181.86	370.30	268.67	283.50
KKY (lüks)	Kontrol	72	302.42 ^a	24.86	17.58	79.04	525.79	284.84	320.00
	R ₉₇ C ₃	72	266.81 ^a	3.26	2.31	237.45	296.16	264.50	269.12
	R ₉₄ C ₆	72	274.31 ^a	8.49	6.00	198.01	350.61	268.31	280.32
	R ₉₁ C ₉	72	284.71 ^a	7.24	5.12	219.65	349.76	279.59	289.83
KHY (lüks)	Kontrol	72	302.57 ^a	19.19	13.57	130.14	474.99	289.00	316.14
	R ₉₇ C ₃	72	271.00 ^a	8.48	6.00	194.76	347.23	265.00	277.00
	R ₉₄ C ₆	72	276.21 ^a	8.78	6.21	197.246-	355.18	270.00	282.43
	R ₉₁ C ₉	72	283.50 ^a	10.60	7.50	188.20	378.79	276.00	291.00
Ağırlık kaybı %	Kontrol	72	96.35 ^a	0.07	0.05	95.71	96.98	96.30	96.40
	R ₉₇ C ₃	72	95.60 ^a	0.14	0.10	94.32	96.87	95.50	95.70
	R ₉₄ C ₆	72	94.10 ^b	0.42	0.30	90.28	97.91	93.80	94.40
	R ₉₁ C ₉	72	93.25 ^c	0.35	0.25	90.07	96.42	93.00	93.50

N: Örnek sayısı. * 95% güven aralığı ortalama için ANOVA. a,b,c aynı harf olan değerler anlamlı olarak farklı değildir (Duncan's test).

Bu yanma testi esnasında ölçümlen değerler; AKY (sıcaklık ve lüks), KKY (sıcaklık ve lüks), KHY (sıcaklık ve lüks), KHY lüks, İYB (sıcaklık, zamanı ve lüks), TY (sıcaklık, zamanı ve lüks), KHYS (dakika) ve Ağırlık kaybı verileri çizelge 4'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. Kalsit katkılı levhaların yanma esnasında yanma ölçüm değerleri

MDF levha	MDF levhaların yanma test sonuçları													
	AKY ORT.		KKY ORT.		KHY ORT		İYB ORT			TY		KHYS		Ağırlık
	sıcaklık (°C)	(lüks)	sıcaklık (°C)	(lüks)	sıcaklık (°C)	(lüks)	sıcaklık (°C)	zaman (sn)	(lüks)	sıcaklık (°C)	zaman (sn)	(lüks)	dakika (dk)	kaybı (%)
Kontrol	560.21	309.00	662.58	302.42	652.57	302.57	654	150	321.00	614.00	540	301.00	64.33	96.40
R ₉₇ C ₃	551.17	254.42	652.31	266.81	490.00	271.00	700	270	268.00	490.00	525	271.00	73.00	95.60
R ₉₄ C ₆	545.13	269.71	624.66	274.31	480.50	276.21	618	240	277.50	457.50	645	276.50	69.75	94.10
R ₉₁ C ₉	541.88	276.08	609.57	284.71	465.00	283.50	586	180	284.50	450.00	630	283.50	65.25	93.30

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çizelge3'e göre kalsit katkılı levhaların kendi arasında istatistiksel bir anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının AKY sıcaklıkları (560.21 °C) ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının (551.16 °C) AKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %1.64 AKY sıcaklığı azalmaktadır. R₉₄C₆ levhasının (545.12 °C) AKY

sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %1.76 AKY sıcaklığı azalmaktadır. R₉₁C₉ (541.87 °C) AKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %3.38 AKY sıcaklığı azalmakta ve levhanın yanmaya karşı dirençli olduğu tespit edilmiştir. Orta yoğunlukta lif levhalarında inorganik mineral miktarı arttıkça AKY sıcaklığı azalmaktadır. Bundan dolayı MDF üretiminde kullanılan Kalsit inorganik minerallerin bünyelerinde ısıyı absorbe ettiği ve yanmaya karşı dirençli olduğu görülmektedir. Orta yoğunlukta lif levhaların yanmaya karşı direnç göstermesinin inorganik minerallerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. KKY sıcaklığının SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. İstatistikî analizlere göre kalsit katkılı levhalar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının KKY sıcaklığı Kontrol (662.57 °C) ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası (652.31 °C) KKY sıcaklığı ölçülmüş ve kontrol levhasına göre %1.57 KKY sıcaklığı yanmaya karşı direnç göstermektedir. Kontrol (624.66 °C) KKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %6.06 KKY sıcaklığı yanmaya karşı direnç göstermektedir. R₉₁C₉ (609.56 °C) KKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %8.69 KKY sıcaklığı levhada yanmaya karşı dirençlidir. KKY sıcaklığı test sonucu R₉₇C₃ (652.31 °C), R₉₄C₆ (624.66 °C), R₉₁C₉ (609.56 °C), KKY belirtilmektedir. KKY sıcaklık değerinin düşmesi Kalsit inorganik minerallerinin kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

KHY sıcaklığının SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. Bu istatistikî analizlere göre; kalsit katkılı levhalar (R₉₇C₃, R₉₄C₆, R₉₁C₉) ve kontrol numuneleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. KHY sıcaklığı testi sonucu sırasıyla kontrol levhası için 652.57 °C, R₉₇C₃ için 490.00 °C, R₉₄C₆ için 480.50 °C, R₉₁C₉ için 465.00 °C olarak test edilmiştir. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre KHY sıcaklığı %33.17 azaldığı gözlemlenmiştir.

R₉₄C₆ levhasının KHY sıcaklığı kontrol levhasına göre %35.81 KHY sıcaklığı azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası KHY sıcaklığı kontrol levhasına göre %40.33 yanma karşı direnç göstermiştir.

KHY zaman SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre bu değer için gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlenmiştir. Kontrol levhasının KHY zaman 64.33 dakikadır. R₉₇C₃ levhasının KHY zamanı 73 dk ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %13.47 KHY zamanı artmaktadır. R₉₄C₆ levhası KHY zamanı 69.75 dk ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %8.42 KHY zamanı artmaktadır. R₉₁C₉ levhası KHY zamanı 65.25 dk ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %1.40 KHY zamanı artmaktadır. Kalsit inorganik miktarı arttıkça MDF yanma süresini uzatmaktadır.

AKY ışık yoğunluğu (lüks) SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. AKY ışık yoğunluğu; kontrol, R₉₇C₃ ve R₉₄C₆, R₉₄C₆ ve R₉₁C₉, arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamaktadır. AKY lüks deney sonuçları sırasıyla kontrol (309.00 lüks), R₉₇C₃ (254.40 lüks), R₉₄C₆ (269.71 lüks), R₉₁C₉ (276.08 lüks) şeklinde bulunmuştur. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %21.46 AKY lüks azalmaktadır. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %14.56 AKY ışık yoğunluğu azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %11.92 AKY lüks azalmaktadır. Orta yoğunlukta lif levhalarında kalsit inorganik dolgu miktarı arttıkça AKY ışık yoğunluğu azalmakta ve koyu duman çıkmaktadır. Böylece ışık yoğunluğu azalmaktadır.

KKY lüks değerinin SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. Bu istatistikî analizlere göre; kalsit katkılı levhalar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının 302.42 lüks KKY ışık yoğunluğu ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının 266.81 lüks KKY lüks ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %13.34 KKY lüks azalmaktadır. R₉₄C₆ levhası KKY lüks değeri 274.31 lüks ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %10.24 KKY lüks değeri azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası KKY lüks 284.31 lüks değeri ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %6.36 KKY lüks değeri azalmaktadır. Sonuçlara göre kalsit katkılı MDF kendi kendine yanarken koyu duman azalmaktadır ve ışık yoğunluğu artmakta olduğu anlaşılmaktadır.

KHY lüks değerinin SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. Bu istatistikî analizlere göre; kalsit katkılı levhalar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının (302.57 lüks) KHY ışık yoğunluğu ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının KHY ışık yoğunluğu 271.00 lüks ölçülmüş ve kontrol levhasına göre %11.64 KHY lüks azalmaktadır. R₉₄C₆ levhasının KHY ışık yoğunluğu 276.21 lüks ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %9.54 KHY lüks azalmaktadır. R₉₁C₉ levhasının KHY (283.50 lüks) ışık yoğunluğu ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %6.72 KHY lüks değeri azalmaktadır. Sonuç olarak kalsit miktarı arttıkça KHY ışık yoğunluğu azalmaktadır. Dolayısıyla yanma esnasında koyu duman az miktarda oluştuğu belirlenmiştir.

Ağırlık kaybı SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. İstatistikî analize göre kalsit katkılı levhalar kontrol ve R₉₇C₃, R₉₄C₆, R₉₁C₉ arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının ağırlık kaybı %96.35 ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının %95.60 ağırlık kaybı ölçülmüş ve kontrol levhasına göre %0.78 ağırlık kaybı azalmaktadır. R₉₄C₆ levhası %94.10 ağırlık kaybı ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %2.39 ağırlık kaybı azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası %93.25 ağırlık kaybı ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %3.37 ağırlık kaybı ölçülmüştür. Sonuçlara göre kalsit katkı miktarı arttıkça yanma sonucu kül miktarı artmaktadır.

Çizelge 4'te kalsit katkılı levhaların yanma test performanslarına ait İYB (sıcaklık, zaman, lüks), TY (zaman, lüks), KHYS (dk) değerleri verilmiştir. Bu test sonuçlarına göre; MDF levha içinde kalsit miktarı arttıkça TS (dk) arttığı görülmektedir. Fakat KHYS (dk) azaldığı ölçülmüştür. Kalsit miktarı %9 olan MDF levhalarının İYB sıcaklık süresinin uzadığı ve levhaların tutuşma süresi arttığı görülmektedir.

MDF üretiminde kalsit mineralleri kullanım üzerine yapılan bir çalışmada, üretimde kalsit mineralinin yüzdesi arttıkça fiziksel ve mekanik özellikler üzerinde olumsuz etki ettiğini ve MDF levha üretimi için kalsit mineralleri kullanım oranları (%3 ve %6) olması yönünde önerilerde bulunmuştur [10].

Laboratuvar ölçekli çalışmada, sırasıyla %10, %20 ve %30 oranlarında liflerin yerine kalsit ağırlık bazında (kuru/kuru) ve üç farklı hedef yoğunluğunda (550, 700 ve 850 kg/m³) MDF levhalarının üretimini

gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ağırlıkça %10'a kadar olan MDF levhalara mineral dolgu ilavesi, lif levhaların özellikleri üzerinde, eğer hiç değilse, sadece küçük bir etkiye sahip olduğunu ve kalsitin reçinenin kürlenmesinde mukavemet gelişimi ve kalınlık şişmesi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını ifade etmişlerdir [16].

Özetle; bu çalışma ile MDF üretiminde, kalsit mineralinin yangına karşı direnç sağlayıcı alternatif inorganik mineral olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

5. ÖNERİLER

Deneylerde, kalsit mineral miktarı arttıkça yanmaya karşı direnci artmaktadır. Özellikle %9 kalsit katkılı levhaların AKY sıcaklığında %3.38, KKY sıcaklığında %8.69 ve KHY sıcaklığında %40.33 oranında yanmaya karşı direnç göstermektedir. Kalsit katkılı MDF levhalarının yanma test sonuçlarına göre, kalsit minerali MDF üretimine yangına karşı direnç oluşturmamasından dolayı üretimde uygun olduğu görülmüştür. Kalsit MDF üretiminde yangın geciktirici olarak değerlendirilmesi mümkündür. MDF üretiminde ülkemizin yeraltı zenginliklerinden kalsit mineralleri yangına karşı direnç sağlayıcı kimyasallara karşı alternatif kaynak olarak kullanılabileceği bu çalışma ile ortaya koyulmuştur. Kalsit katkılı MDF levhaları özellikle yangın riski çok fazla olan iç mekân mutfak mobilyalarının imalatında kullanılması mümkündür.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Teşekkür

Bu çalışma Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından San-Tez 00653.STZ.2010-2 olarak desteklenmiştir. T.C. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, T.C. Gazi Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği ve Divapan Entegre AŞ firmasının katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

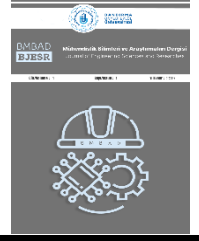
- [1] ASTM E 160–50, Standard test method for combustible properties of treated wood by the crib test, 1976.
- [2] A. İstek, D. Aydemir, H. Eroğlu, “Combustion properties of medium-density fiberboards coated by a mixture of calcite and various fire retardants” *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 642-648 © TÜBİTAK, 2013.
- [3] A. Dönmez Çavdar, S. Boran Torun, M. Ertas ve F. Mengeloglu, “Ammonium zeolite and ammonium phosphate applied as fire retardants for microcrystalline cellulose filled thermoplastic composites,” *Fire Safety Journal* 107, 202-209. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.11.008, 2019.
- [4] A. Özcıfı, H. Toker, E. Baysal, “Fire properties of laminated veneer lumber treated with some fire retardants” *Wood Research* 52(4): pages: 37-46, 2007.
- [5] A.P.S. Silva, B.S. Ferreira, H.R. Favarim, M.F.F. Silva, J.V.F. Silva, M.A. Azambuja and C.I. Campos, “Physical properties of medium density fiberboard produced with the addition of ZnO nanoparticles,” *BioResources* 14(1), 1618-1625. DOI: 10.15376/Biores.14.1.1618-1625, 2019.
- [6] M. Usta ve D. Ustaömer, “Boron compounds for MDF”, *BioResources*, 7(1), 437-446, (2012).
- [7] Faostat, “Forestry Production and Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations”, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, Accessed: 24.01.2020.
- [8] G.Tondi, L. Haurie, S.Wieland, “Comparison of disodium octaborate tetrahydrate-based and tannin-boron-based formulations as fire retardant for wood structures,” *Fire and Materials* 38(3), 381-390, 2014.
- [9] H. Hafızoglu, M.K. Yalinkilic, U.C. Yildiz, E. Baysal, H. Peker, Z. Demirci, “Utilization of Turkey’s Boron Reserves in Wood Preservation Industry” Project of Turkish Science and Tech. Council (TUBİTAK), Code: TOAG-875, 377 pp (in Turkish), 1994.
- [10] H. Kalaycıoğlu, H.Yel, A. Dönmez Çavdar, “Wood wool cement boards and its applications” *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* 12 (1): 122-133, 2012.
- [11] H.R. Taghiyari, M.P. Behrooz, J.J. Morrell, “Effects of wollastonite on the properties of medium-density fiberboard (MDF) made from wood fibers and camel-thorn” *Maderas. Ciencia Y Tecnología* 18(1), 157 – 166, 2016.
- [12] J. Wang, F. Wang, Z. Gao, M. Zheng and J. Sun, J, “Flame retardant medium-density fiberboard

- with expanded vermiculite” *Bioresources* 11(3): 6940-6947, 2016.
- [13] M. Akgül, B. Uner, O. Çamlıbel, U. Ayata, “Manufacture of Medium Density Fiberboard (MDF) Panels From Agribased Lignocellulosic Biomass”. *Wood Research* 62 (4), 615-624, 2017.
- [14] O. Camlibel, ve M. Akgul, “Mechanical and physical properties of medium density fibreboard with calcite additive,” *Wood Research* 65 (2), 231-244, 2020.
- [15] S. LeVan, H.C. Tran, “The role of boron in flame retardant treatments. In: Proceedings of first international conference on wood protection with diffusible preservatives” First International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives: Nashville, Tennessee, November 28-30, 1990. Madison, WI: Forest Products Research Society, pp.39-41:ill.Publication Series: Miscellaneous Publication, 1990.
- [16] T. Ozyhar, T. Depnering, C. Ridgway, M. Welker, I. Schoelkopf., Mayer and H. Thoemen, “Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density fiberboard (MDF) and its effect on material properties,” *European Journal of Wood and Wood Products* 78(1), 75-84. DOI: 10.1007/s00107-019-01480-1,2020.
- [17] Y. Zuo, J. Xiao, J. Wang, W. Liu, X. Li, and Y. Wu, “Preparation and characterization of fire retardant straw/magnesium cement composites with an organic-inorganic network structure” . *Construction and Building Materials*. Vol.171 pp. 404–413, 2018.
- [18] TS 64-1 EN 622-1, “Lif levhalar özellikler-bölüm 1: genel özellikler”, TSE, Ankara, 2005.
- [19] TS 642-ISO 554, “Kondisyonlama ve/veya deney için standart atmosfer – özellikler”, TSE, Ankara, 1997
- [20] O. Çamlıbel ve M. Akgül, “The Utilizing Rock Salt of Inorganic Filler in Medium Density Fibreboard (MDF) Production,” *Kastamonu University., Journal of Forestry Faculty*, 20(2); 158-174, Doi: 10.17474/kastorman.801814, 2020.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Dağıtım Transformatörlerinin Harmonik Yük Kayıplarının Analizi

Analysis of Harmonic Load Losses of Distribution Transformers Using Finite Element Method

Yıldırım ÖZÜPAK 

Dicle Üniversitesi, Silvan MYO, Elektrik ve Enerji bölümü, Diyarbakır, Türkiye

yildirimozyupak@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 30 December 2020

Accepted : 17 January 2021

Keywords:

Transformer, Harmonic Load, Maxwell, Magnetic Flux, Losses

ABSTRACT

Estimating losses in transformers is important for both manufacturers and users. With the development of technology, harmonics in power systems are increasing. Transformers, which are an important component of the power system, also carry harmonic load currents. It is important to be able to accurately calculate the load losses in order to predict the hot spot temperatures and total losses during operation. Different methods have been developed in this regard. Among these methods, Finite Element Method is well known and its accuracy has been proven in engineering studies. Transformer designers have specific programs developed and used for design and analysis. In this study, ANSYS@Maxwell software and simulation program is used to design a parametric model of a power transformer. In this way, the load losses of the transformer in both normal operating conditions and harmonic operating conditions were obtained. In addition, the effect of harmonic loads on magnetic flux distribution has been investigated.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 30 Aralık 2020

Kabul : 17 Ocak 2021

Anahtar Kelimeler:

Transformatör, Harmonik Yük, Maxwell, Manyetik Akı, Kayıplar

ÖZET

Transformatörlerde meydana gelen kayıpları tahmin etmek, hem üreticiler hem de kullanıcılar için önemlidir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte güç sistemlerinde harmonikler artmaktadır. Güç sisteminin önemli bir bileşeni olan transformatörler de harmonikli yük akımları taşımaktadır. Çalışma sırasında sıcak nokta sıcaklıklarını ve toplam kayıpları tahmin edebilmek için yük kayıplarını doğru bir şekilde hesaplayabilmek önemlidir. Bu konuda farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden Sonlu Elemanlar Yöntemi iyi bilinmekte ve doğruluğu mühendislik çalışmalarında kanıtlanmıştır. Transformatör tasarımcıları, tasarım ve analiz için geliştirilen ve kullanılan özel programlara sahiptirler. Bu çalışmada, ANSYS@Maxwell yazılım ve simülasyon programı bir güç transformatörünün parametrik bir modelini tasarlamak için kullanılmıştır. Bu sayede transformatörün hem normal çalışma koşullarındaki hem de harmonikli çalışma koşullarındaki yük kayıpları elde edilmiştir. Ayrıca harmonikli yüklerin manyetik akı dağılımına etkisi incelenmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Güç transformatörleri, elektrik iletim ve dağıtım sisteminin önemli bir parçasıdır. Artan enerji fiyatları, güç transformatörlerinde kayıplara vurgu yapmayı gerekli kılmıştır. Sistemde elektroniklerin kullanımının artması ile akımlardaki harmonik bozulma artmıştır. Bu bozulma, transformatörlerde kayıpları arttırmaktadır. Bu durum kontrol altında tutulmazsa, transformatörün sıcak nokta sıcaklıklarının artmasına ve yalıtımın bozulmasına neden olabilir [1].

Güç transformatörlerinde yük kayıpları üç ana bölüme ayrılabilir: DC kayıpları, sargılardaki girdap akımı kayıpları ve transformatörün tank, kelepçeler, kilit plakaları gibi diğer iletken kısımlarında meydana gelen kaçak kayıplardır. DC kayıplar, hesaplanması ve ölçülmesi en kolay olanlardır. Sargılardaki ve transformatörün diğer bölümlerindeki girdap akımı kayıplarının ölçüm sırasında ayrılması mümkün değildir. Ancak hesaplama ile tahmin edilebilir. Başboş kayıplar, iki boyutlu yaklaşımla veya üç boyutlu sonlu eleman programlarında modelleme yoluyla tahmin edilebilir [2].

Kullanıcıların bakış açısından bakıldığında, DC kayıplar ve kaçak kayıplar, transformatörün test raporunda mevcuttur. Bu iki parametreyi bilindikten sonra yük akımının harmonik içeriği de biliniyorsa transformatörde meydana gelen toplam kayıpları hesaplamak için bir çarpma faktörü tahmin edebilir.

Bir transformatörün yükleme kapasitesinin ve faydalı ömrünün sınırlarını tahmin etmek için, transformatör sargılarının sıcak nokta sıcaklığını tahmin etmek gerekir. Sinüzoidal koşullar altında sıcak nokta sıcaklığını belirlemek için bugüne kadar birçok yöntem önerilmiştir. Isı transferi teorisinin temellerine dayanan eşdeğer bir devre şeklinde bir transformatör termal modelleme yaklaşımı önerilmiştir [3]. Yalıtımın bozulma süresini değerlendirmek için tam simülasyon ve yenileme süreci yaklaşımları sunulmuştur. Transformatörün verimli ömrü, ulaşma süresi tasarım ömrü ve belirli bir zamanda arıza olasılığı gibi bazı ilgili güvenilirlik parametrelerinin tahminleri de sunulmuştur [4]. Transformatörün farklı noktalarındaki sıcaklığı ve sıcaklık dağılımını tahmin etmek için analitik yöntemler, genelleştirilmiş ısı iletimi modelini kullanan kapalı form matematiksel tekniğe dayalı olarak sunulmuştur [5]. Bununla birlikte, sıcak nokta sıcaklığını harmonik koşullar altında değerlendirmenin birkaç yöntemi vardır. Sıcak nokta sıcaklığını ve transformatör ömrünü tahmin etmek için geleneksel transformatör eşdeğer devresine benzer bir model kullanılmıştır [6].

Sürekli gelişen teknoloji ile birlikte sistemlerdeki yükler her geçen gün çeşitlilik kazanmaktadır. Bu yüklerin daima lineer yükler olması istenir. Fakat yarı iletken teknolojisinin son yıllarda hızla gelişmesinin etkisi ve değişik çalışma şartları ile sistemlerdeki lineer olmayan yüklerde büyük bir artış görülmektedir.

Karakteristiği doğrusal olmayan yüklere nonlineer yükler denir. Uç karakteristiklerine baz alınarak elemanlar, nonlineer ya da lineer olarak adlandırılır. Bir dirençte gerilim-akım, bobinde akım-akı, kondansatörde gerilim-yük ilişkileri lineerliği tayin etmektedir. Sistemde harmonik akım ve gerilimlerin meydana gelmesine sistemde mevcut olan linner olamayan elemanlar sebep olurlar [7]. Transformatörler, kesintisiz güç kaynakları (UPS), dönüştürücüler ve güç elektronigi elemanları sistemde harmoniklerin meydana gelmesine sebep olan yüklerdir. Harmonikler sistemde ek enerji kayıplarına, ısınmalara, yalıtımlarının zarar görmelerine yol açarlar. Bu nedenle, mümkün olmasa bile bir sistemde harmoniklerin olmaması sistem açısından önemlidir. Harmoniklerin elimine etmenin için en önemli metodu harmonik filtreler kullanmaktır. Güç transformatörleri genel olarak gerilim ve akımın sinüzoidal olduğu şartlarda kullanılmak üzere tasarlanırlar [8]. Ancak, doğrusal olmayan yükler, gelişen teknoloji ile birlikte modern güç sistemlerinde giderek artmaktadır. Bu nedenle, hat gerilimleri ve akımları genellikle harmonik olarak bozuk veya sinüzoidal olmayan dalga şekillerine sahiptirler. Transformatörler, AC güç şebekelerinde elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımının en önemli ekipmanlardan biridir. Elektrik mühendisliği literatüründe, nüve ve sargı kayıplarının ölçümü ve hesaplanması sinüzoidal gerilim ve doğrusal yük (sinüzoidal akım) koşulları için iyi bilinmektedir. Bir transformatörün yüksüz kaybı, bir yük sağlamadığı zaman çekirdeği ve enerjili sargısı tarafından tüketilen aktif güçlerin toplamıdır [9-11]. Yüksüz kayıp, yüksüz durumda nominal frekansta sinüzoidal uyarma gerilimi altında sargı kaybının oldukça küçük olması nedeniyle pratik olarak çekirdek kayıp olarak kabul edilir. Ek olarak, bir güç transformatörünün sargı kaybı, nominal yükleme durumu için temel kayıptan önemli ölçüde daha büyük olduğundan, sargı kaybı genellikle yük kaybı olarak adlandırılır.

Harmonik koşullar altında transformatörün sıcak nokta sıcaklığını ve yükleme kabiliyetini tahmin etmek için termal modellerin olmaması, transformatör performansını analiz etmek için güvenilir dinamik modeller geliştirmeyi amaçlayan mevcut çalışmayı yapmaya teşvik etmiştir.

Bu çalışmada, geometrileri bilindiğinde transformatör sargılarındaki yük kayıplarını hesaplamamanın bir yöntemi açıklanmıştır. Bu kayıplar, DC kayıpları ve girdap akımı kayıpları olarak ayrılabilirler. DC kayıplarının hesaplanması kolaydır. Girdap akımı kayıpları ise frekansa ve geometriye bağlıdır. Bu kayıpları makul bir doğrulukla tahmin etmek için basitleştirilmiş formüller olsa da, modern Sonlu Eleman Yöntemi daha iyi bir sonuç vermektedir [13-15]. Genellikle basitleştirilmiş formüller ile akı yoğunluğunun radyal bileşeni ihmal edilmektedir. Gerçekte ise bu bileşen, sargı uçlarında baskın hale gelir ve ihmal edilemez [16,17]. Piyasada girdap akımı kayıpları sorununu çözmek için kullanılabilecek birkaç genel amaçlı Sonlu Eleman Programı bulunmaktadır. Bu çalışmada, Sonlu Elemanlar Yöntemine dayanan ANSYS@Maxwell kullanılarak modellenen trafonun analizi anlatılmaktadır. Temel frekans için yük kayıpları hesaplandıktan sonra, aşırı harmonik akımlar için kayıpları hesaplamak da daha kolay olmaktadır. Harmonik akımlarla yük kayıplarını hesaplamak için bir yöntem açıklanmıştır.

2. SARGILARDAKİ KAYIPLARIN HESAPLANMASI

Sargılardaki yük kayıpları, iletkenlerin direnci ile verilen DC kayıplarına ve kaçak akının yoğunluğuna bağlı girdap akımı kayıplarına ayrılabilir [4,5].

2.1. Sargılarda DC kayıpları

Sargıdaki DC kaybı aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$P_{DC} = J^2 M_{cu} / \sigma \quad (1)$$

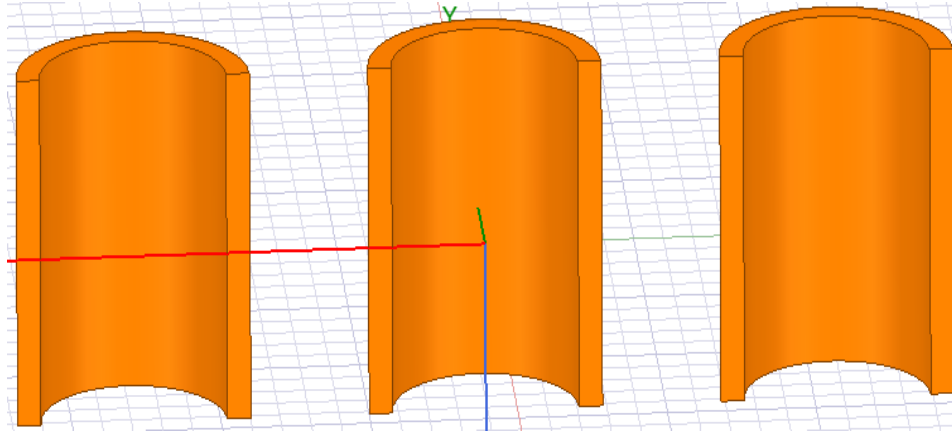
Burada J akım yoğunluğu ve M_{cu} aktif bakırın toplam kütlesidir.

DC kayıpları frekanstan bağımsızdır, bu nedenle akımların aşırı harmonik içeriği akımın karesiyle orantılıdır. DC kayıplarını hesaplamak için karmaşık bir programa gerek yoktur.

2.2. Sargılardaki Eddy Akımı Kayıpları

Sargıdaki girdap akımı kayıpları, iletken boyutları, akı yoğunluğu ve frekans gibi faktörlere büyük ölçüde bağlıdır. Akımın harmonik içeriği çok daha düşük olmasına rağmen, girdap kayıpları frekansın karesi ile orantılı olduğundan göz ardı edilemezler.

Bu durumda, sargının her bir kısmındaki girdap kayıplarını hesaplamak için geometrinin akı yoğunluğu dağılımı bilinmelidir. Şekil 1'de gösterildiği gibi küresel koordinatlarda transformator sargısında bir iletken düşünün.



Şekil 1. Sargıda iletkenlerin küresel gösterimi.

Elektrik alanı ile akı yoğunluğu arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

Burada E, girdap akımlarına neden olan indüklenen elektrik alanıdır, B, sızıntı alanından kaynaklanan manyetik akı yoğunluğudur. Bu akı yoğunluğu yük akımları tarafından üretilir.

Silindirik koordinatlarda:

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{\partial}{\partial z} \vec{E} \cdot \vec{a}_r + \left(\frac{\partial}{\partial r} E + \frac{\vec{E}}{r} \right) \cdot \vec{a}_z = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

şeklinde.

Akı yoğunluğu, eksenel ve radyal bileşenlerine ayrıştırılabilir.

$$\vec{B} = B_r \cdot \vec{a}_r + B_z \cdot \vec{a}_z \quad (4)$$

Önce denklemin radyal bileşeni düşünülürse:

$$\frac{\partial}{\partial z} \vec{E} = -j\omega B_r \quad (5)$$

$$\vec{E} = -j\omega B_r z + \vec{E}(0) \quad (6)$$

Akım yoğunluğu;

$$j = \sigma \vec{E} = -j\omega B_r z + \vec{j}(0) \quad (7)$$

Simetriden dolayı, $j(0)=0$.

Akı yoğunluğunun radyal bileşenine bağlı olarak sargılardaki güç kaybı şu şekilde ifade edilmektedir [7]:

$$P_{rad} = \frac{1}{2} \iiint_V \frac{j^2}{\sigma} dV = \omega^2 \sigma B_r^2 2\pi r_0 t \int_0^{r_0+b/2} z^2 \cdot dz \quad (8)$$

$$P_{rad} = \frac{\omega^2 \sigma B_r^2 2\pi r_0 t b^3}{24} \quad (9)$$

Burada P_{rad} , akı yoğunluğunun radyal bileşeninden kaynaklanan girdap kaybıdır, B_r akı yoğunluğunun radyal bileşenidir.

Akı yoğunluğunun eksenel bileşeninden kaynaklanan kaybı hesaplamak için, kayıp denkleminin z bileşenini alırız.

$$\left(\frac{\partial}{\partial r} E + \frac{\vec{E}}{r} \right) \cdot \vec{a}_z + j\omega \vec{B}_z = 0 \quad (10)$$

Bu denklem, yeni bir $u = E/r$ değişkeni eklenerek ve değişkenleri ayrılarak çözülebilir. Akım yoğunluğunun voltaj çarpı iletkenlik olduğunu göz önünde bulundurularak, akım yoğunluğu için genel çözüm böyle yazılabilir:

$$j = \frac{k\sigma}{2r} - j\omega B_z r \quad (11)$$

Belirli çözümü bulmak için, akım yoğunluğunu kesit üzerinden birleştirilirse toplam akım yoğunluğu sıfır olduğundan, yeni akım yoğunluğu aşağıdaki gibi olur [7].

$$j = -\frac{1}{2} j\omega \sigma B_z \left(r - \frac{r_0 t}{\ln(k) r} \right) \quad (12)$$

Burada k denklem (13)'te verilmiştir.

$$k = \frac{r_0 + t/2}{r_0 - t/2} \quad (13)$$

Önceki denkleme benzer şekilde, sarmaldaki kayıp, akım yoğunluğunun karesinin iletkenlik ile bölünen hacim integralidir. Bu integral şunları vermek için çözüldü:

$$P_{ax} = \frac{1}{8} \omega^2 \sigma B_z^2 2\pi h \left[r_0^3 t + \frac{r_0 t^3}{4} - \frac{r_0^2 t^2}{\ln(k)} \right] \quad (14)$$

Ve birim hacim başına kayıp:

$$P_{ax} = \frac{1}{8} \omega^2 \sigma B_z^2 \left[r_0 + \frac{t^2}{4} - \frac{r_0 t}{\ln(k)} \right] \quad (15)$$

şeklinde olmaktadır.

Bu denklem, büyüklük olarak neredeyse eşit olan ancak zıt işaretli iki terimin ve çok daha küçük bir büyüklüğe sahip bir terimin toplamını içerdiğinden, hesaplama sorununa neden olur. Bu, $r_0 \gg t$ tanımlanarak doğrulanabilir. Problemin üstesinden gelmek için logaritmik terim genişletilerek:

$$\ln(k) = \ln\left(\frac{r_0 + t/2}{r_0 - t/2}\right) = \frac{t}{r_0} + \frac{t^3}{12r_0^3} \quad (16)$$

Bu değer yukarıdaki denkleme yerine yazılırsa, akının eksenel bileşeninden dolayı birim hacim başına sargı kaybı elde edilir:

$$P_{ax} = \frac{1}{32} \omega^2 \sigma B_z^2 t^2 \left[\frac{16+t^2/r_0}{12+t^2/r_0} \right] \quad (17)$$

Burada P_{ax} , akı yoğunluğunun eksenel bileşeninden kaynaklanan girdap kayıp, ω açısal frekans, σ bakır iletkenliği, b iletken genişliği, B_z akı yoğunluğunun eksenel bileşeni ve r_0 akı yoğunluğunun ortalama yarıçapıdır.

Burada, girdap akımı kayıplarının frekansın karesine ve akı yoğunluğuna bağlı olduğuna dikkat edilmelidir.

Akı yoğunluğu yük akımları tarafından verildiği için, aşırı harmonik akımlardan kaynaklanan kayıplar, temel harmonik kayıpları frekansın karesi ve yük kaybı ile orantılanarak doğru bir şekilde hesaplanabilir.

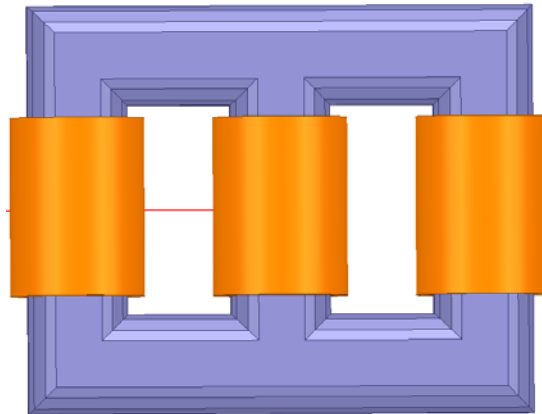
3. TRANSFORMATÖRÜN ANSYS@MAXWELL İLE MODELLENMESİ

Programda var olan olasılıkları göstermek için kurgusal bir transformatör modellenmiştir. Modellenen transformatörün özellikleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir. Sargıların ve çekirdeğin boyutları, bir tasarım programı kullanılarak hesaplanmış ve boyutları diğer benzer tipteki transformatörler için kolayca değiştirilebilecekleri parametreler kullanılarak ANSYS@Maxwell'e girilmiştir. Şekil 2'de modellenen transformatör sunulmuştur.

Tablo 1. Transformatörün özellikleri

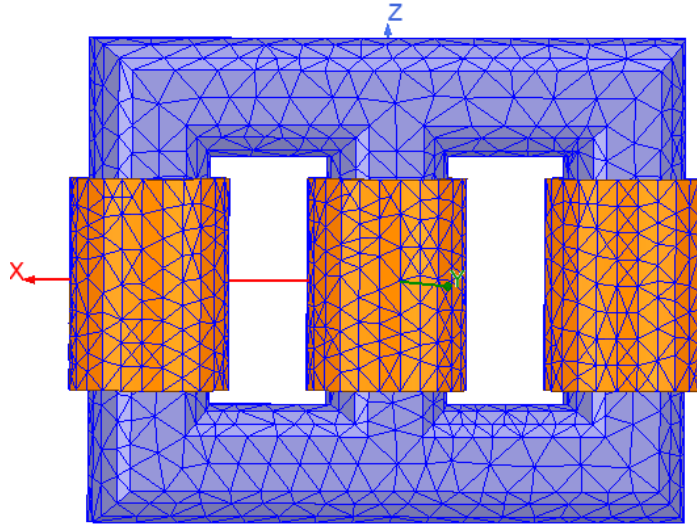
YG	33.000 V
AG	11.000 V
Nüve Kaybı	12.500 W
Bakır Kaybı	97.000 W
Uk	% 11
YG Bağlantı	DELTA
AG Bağlantı	YILDIZ
YG Spir Sayısı	675
AG Spir Sayısı	131
YG Faz Akımı	152 A
AG Faz Akımı	785 A
Io	% 0.44

Bu model tasarlanan transformatörün gerçek değerleri ve gerçek boyutları ile program ortamında modellenmiştir. Bu yüzden bu model tüm transformatörü temsil etmektedir.



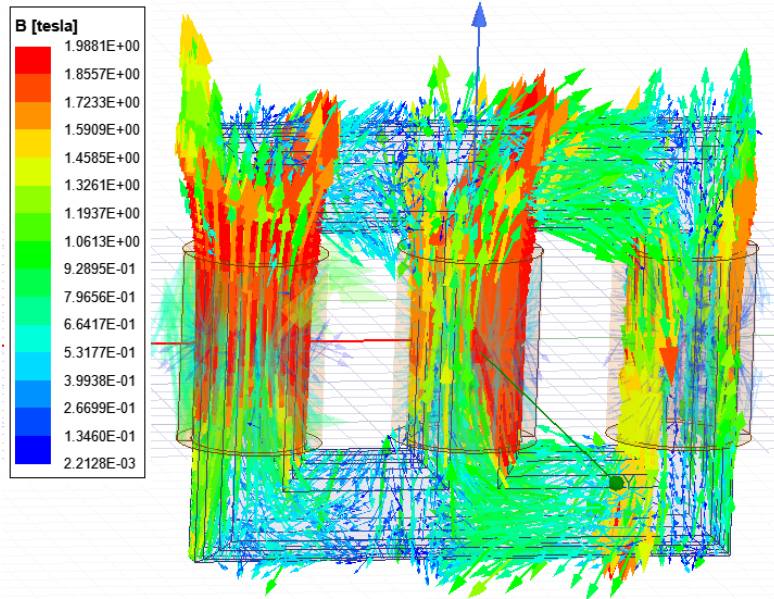
Şekil 2. Modellenen transformatör.

Program ortamında tasarlanan modelin çözümü ve analizi için modelin geometrisinde bir ağ sorunu çözmek için oluşturulur. Şekil 3'te modelin ağ örgüsü verilmiştir.



Şekil 3. Modellenen transformatörün ağ örgüsü.

Akı dağılımının elde edilmesi tüm bölgedeki alanın hesaplandığı anlamına gelir. Hesaplanan her düğümdeki vektör potansiyeli ve tüm değerler bu parametreden türetilir. Bu aşamada, her bir düğümün vektör potansiyelini koordinatlarıyla birlikte ANSYS @ Maxwell programı ile analiz etmek mümkündür. Şekil 4'te akı yoğunluğu dağılımı verilmiştir.



Şekil 4. Modellenen transformatörün manyetik akı dağılımının vektörel gösterimi.

Sonuçları ANSYS@Maxwell ile analiz etmek için, daha önce türetilen akı yoğunluğunun eksenel ve radyal bileşenlerinin kayıp formüllerini de programa tanıtmalıyız. Değerler, örneğin modeldeki sargı gibi her bir bölgeye entegre edilebilir. Bu özel modelin farklı bölgeleri vardır. Her bölge için yukarıda verilen formüller doğrudan bir yüzey integrali olarak da değerlendirilebilir. Modelin analizi hem normal koşullar altında hem de harmonik yük altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sunulmuştur. Tablo 2'de temel frekans için sargı kaybı hesaplamalarının sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2. Temel frekans için sargı kaybı hesaplamalarının sonuçları

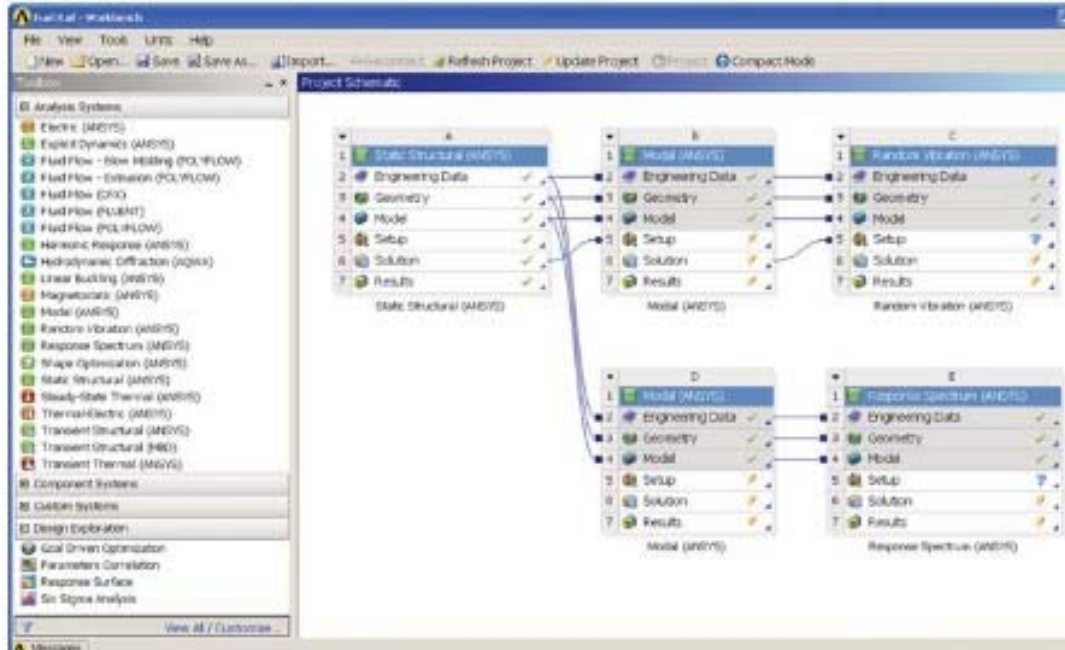
Değişkenler	Teorik Sonuçlar	Simülasyon Sonuçları
Girdap akım Kaybı (kW)	8.68	8.65
Bakır Kaybı (kW)	97.600	103.1
Manyetik Akı (T)	1.87	1.79

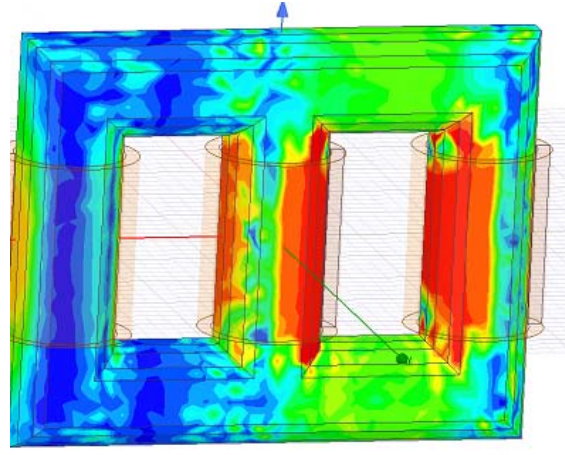
Transformatörün sargılarındaki toplam kayıp tüm DC ve AC kayıplarının toplamıdır. Bu değerler sinüzoidal bir akım girişi için hesaplanır. Akım aşırı harmonik içeriğe sahipse, sargı kayıpları tam orantı ile hesaplanabilir. DC kayıpları, akımın karesiyle orantılıdır. Girdap kayıpları akım ve harmonik kare ile orantılıdır. Harmonik yük altındaki trafo kayıpları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Harmonik yük altındaki kayıplar

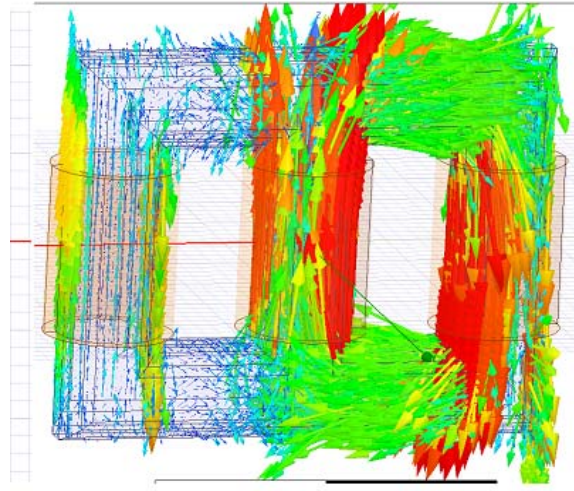
Değişkenler	Teorik Sonuçlar	Simülasyon Sonuçları
Girdap akım Kaybı (kW)	9.69	11.6
Bakır Kaybı (kW)	115.8	120.3

Harmonik analizlerde görüldüğü üzere yük kayıpları artmıştır. Burada hem bakır kayıpları hem de nüve kayıpları artmaktadır. Nüve kayıplarının artmasının sebebi düzensiz manyetik akının nüve de dolaşmasıdır. Düzensiz akı dağılımının nüvedeki anlık dağılımı Şekil 6'da sunulmuştur. Yük kayıplarının transformatöre nasıl etki ettiğini görebilmek için ANSYS@Maxwell ve ANSYS@Workbench bütünleşik sistemi kullanılmıştır. Şekil 5'te tasarlanan modelin Maxwell ortamından Workbench ortamına aktarılması verilmiştir.

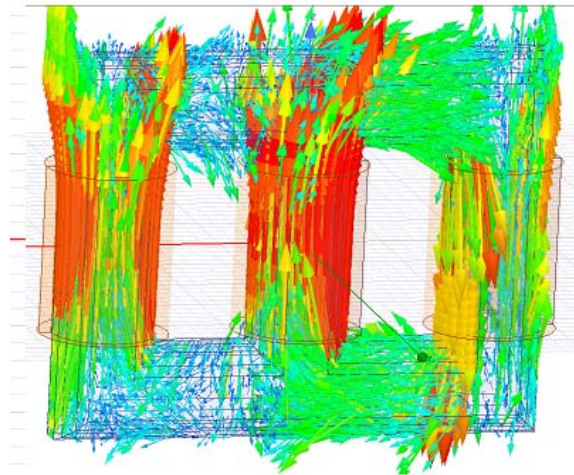
**Şekil 5.** Tasarlanan modelin Maxwell ortamından Workbench ortamına aktarılması



$t= 0.1\text{ s}$



$t= 0.0205\text{ s}$



$t= 0.0805\text{ s}$

Şekil 5. Nüvedeki düzensiz akı dağılımının ani olarak değişimi

Transformatörün sargılarında meydana gelen bakır kayıplarının artmasının sebebi, oluşan harmonik dalgalarının çalışma gerilimin tepe değerini sürekli değiştirmesidir.

4. SONUÇ

Güç sistemlerindeki harmonik yükler, transformatörde ek kayıplara ve ısınmaya sebep olmaktadır. Bu durum trafonun beklenen kullanım ömrünün kılmasına neden olur. Transformatör ömür kaybını doğru bir şekilde tahmin etmek için, harmonik akım spektrumunu, elektriksel özellikleri, termal davranışı, yükü ve ortam sıcaklığı profillerini hesaba katmak gerekir. Güç transformatörlerinde sargı kayıplarının hesaplanması için genel amaçlı sonlu eleman programlarının kolaylıkla kullanılabileceği gösterilmiştir. Güç sistemlerinde elektronik ekipmanın artan kullanımı, akımlarda harmonik bozulmalar yaratır. Bunlar, transformatörlerde aşırı kayıplara neden olabilir. Bu kayıpların dikkate alınması önemlidir, aksi takdirde sargıların aşırı ısınmasına ve limitlerin üzerindeki sıcak nokta sıcaklıklarına neden olabilirler. Bu sıcak noktalar transformatörün ömrünü kısaltabilir ve arızalara hatta trafonun patlamasına dahi neden olabilir. Bu çalışmada, gerçek bir transformatördeki harmonik akımların ürettiği aşırı sargı kayıpları analiz edilmiştir. İleride transformatörün sargılar dışında diğer kısımlarında meydana gelen boş kayıplar incelenebilir. Bu bölgelerde meydana gelen kayıplar, mevcut frekansın karesi ile orantılıdır. Ayrıca bu durum yağın bozulmasına neden olabilecek sıcak bölgeler oluşturabilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarı aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

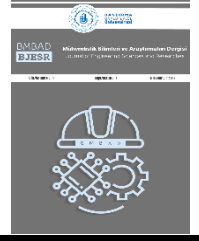
KAYNAKÇA

- [1] Gupta, A. and R. Singh, COMPUTATION OF TRANSFORMER LOSSES UNDER THE EFFECTS OF NON-SINUSOIDAL CURRENTS. Advanced Computing: An International Journal, 2011.
- [2] Susnjic, L., Z. Haznadar, and Z. Valkovic, 3D finite element determination of stray losses in power transformer. Electric Power Systems Research, 2008.
- [3] Özupak Y, MAMIS M. S, Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966, 2019.
- [4] K.T. Muthanna, A. Sarkar, K. Das, K. Waldner, "Transformer Insulation Life Assessment", IEEE Trans. Power Deliv. 21 (2006) 150 – 156.
- [5] M. Lee, H. A. Abdullah, J. C. Jofriet, D. Patel, "Thermal modeling of disc-type winding for ventilated dry-type transformers", Electric Power Systems Research 80 121–129, 2010.
- [6] Soh T. L. G, Said D. M, Ahmad N, Nor K. M, Salim F Experimental study on the impact of harmonics on transformer", IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), pp.686-690, 2013.
- [7] K. Dursun , N. Rahmanov, Harmonic Load Losses in Power Transformer Windings Using Finite Element Methods, DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625180, July, 2013.
- [8] D. Susa, M. Lehtonen, "Dynamic Thermal Modeling of Power Transformers: Further Development—Part I", IEEE Trans. Power Deliv. 21 (2006) 1961 – 1970.
- [9] A. Elmoudi, M. Lehtonen, H. Nordman, "Effect of harmonic on transformers loss of life", in: Conference Record of IEEE International Symposium on Electrical Insulation, vol.2, 2006, pp.408-411.
- [10] IEEE Std C57.100-1999, IEEE Standard Test "Procedure for Thermal Evaluation of Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers", 1999.
- [11] S. Taheri, H. Taheri, I. Fofana, H. Hemmatjou, A. Gholami, "Effect of Power System Harmonics on Transformer Loading Capability and Hot Spot Temperature" 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2012.
- [12] Özupak Y, MAMIS M. S 2019 Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- [13] Özupak Y, MAMIS M. S, TEKE İ. H 2019 Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. International Journal of Engineering And Computer Science, 8(1), 24451-24460. (Yayın No: 5774086)
- [14] Yazdani-Asrami M, Mirzaie M, Akmal A. S 2013 No-load loss calculation of distribution transformers supplied by nonsinusoidal voltage using three-dimensional finite element analysis, Energy, vol. 50, no. 1, pp. 205-219.
- [15] Shareghi M, Phung B. T, Naderi M. S, Blackburn T. R, Ambikairajah E 2012 Effects of current and voltage harmonics on distribution transformer losses, International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), pp.633-636,
- [16] Soh T. L. G, Said D. M, Ahmad N, Nor K. M, Salim F 2013 Experimental study on the impact of harmonics on transformer", IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), pp.686-690.
- [17] ANSYS user guide 2020.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Akıllı Evlerdeki Cihazların Enerji Tüketimine Göre Kaynağının Belirlenmesi

Selecting the Appropriate Energy Source According to the Electrical Power Consumption of the Devices

¹Rezzan Nisa ER , ²Bora UĞURLU , ³Utku BAYRAM 

¹*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

²*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale, Türkiye*

¹rezzan.er@izu.edu.tr, ²boraugurlu@comu.edu.tr, ³ubayram@comu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :11 January 2021

Accepted : 12 February 2021

Keywords:

Embedded Systems, Internet of Things, Edge Computing, Cloud Computing

ABSTRACT

It is of great importance to diversify electrical energy sources in recent times. In this study, the electrical energy that a house may need is provided by two different sources. The first of these is the city grid and the other is the battery that can be charged with solar energy. Transitions between two energy sources are carried out with the developed system. Thus, the energy costs of the home and / or office user are reduced and at the same time, energy estimates are made for future energy needs depending on the usage habits. Polynomial linear regression and LSTM methods were used for this estimation. Using the RMSE metric, we compared which method predicts with less error rate. For the non-linear data set, LSTM performed more successfully, while for linear data such as electrical energy, the best estimation result was 0.99 with Polynomial Linear Regression.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim :11 Ocak 2021

Kabul : 12 Şubat 2021

Anahtar Kelimeler:

Gömülü Sistemler,
Nesnelerin İnterneti,
Uç Hesaplama,
Bulut Bilişim

ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisi kaynaklarını çeşitlendirmek büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir evin ihtiyaç duyabileceği elektriksel enerjisi iki farklı kaynak tarafından sağlanmaktadır. Bunlardan ilki, şehir şebekesi, diğeri ise güneş enerjisi ile şarj edilebilen bataryadır. İki enerji kaynağı arasındaki geçişler geliştirilen sistem ile gerçekleştirilmektedir. Böylelikle ev ve/veya ofis kullanıcısının enerji maliyetleri düşürülmekle beraber kullanım alışkanlıklarına bağlı olarak gelecekteki enerji ihtiyacına yönelik enerji tahminleri yapılmıştır. Bu tahmin için polinomsal lineer regresyon ve LSTM metotları kullanılmıştır. RMSE metriğini kullanarak hangi yöntemin daha az hata oranı ile tahmin yaptığını karşılaştırdık. Doğrusal olmayan veri setinin için LSTM daha başarılı performans gösterirken, elektriksel enerji gibi doğrusal veriler için Polinomsal Lineer Regresyon ile en iyi tahmin sonucu olarak 0.99 değeri elde edilmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

GİRİŞ

Teknolojinin gelişimiyle beraber enerji tüketimindeki yüksek orandaki artış ve bunu karşılamaya yönelik çalışmalar bizleri ilk olarak enerji tasarrufuna, ardından ise yenilenebilir enerjilere yönlendirmiştir. Enerji tasarrufu, cihazların etkin ve amacına uygun çalışarak işlevlerini daha az enerji ile gerçekleştirmeleri için yapılan çalışmaları içermektedir [1]. Enerji ve kaynaklarının verimli kullanılması ile enerji maliyetlerini düşürmesi, ayrıca kesintisiz bir şekilde kullanıcılara enerji tedarik edilmesi ve bu enerjinin denetlenmesi, enerji yönetiminin amacını tanımlamaktadır. Diğer bir tanım da tüketilen güç ile üretilen gücün dengesini takip etmek için izlenmesi olarak ifade edilmiştir [2].

Enerji izleme sistemlerinde cihazların birbirleriyle ve internet ağı ile iletişimini, insan müdahalesi olmadan sağlayan Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) teknolojisine başvurmak gerekmektedir. Akıllı evlerde cihazların birbiriyle haberleşerek ağ oluşturmaları ve kullanıcı ile bu ağ tarafından iletişime geçmesi IoT ile mümkündür. Oluşturulan bu ağ ile cihazlardan topladığı yığınla veriyi kullanılabilir anlamlı bilgi haline getirir [3]. Ayrıca akıllı evdeki enerji akış verilerinin toplanması ve değerlendirilmesini sağlayan mikrodenetleyici ile IoT sisteminin geri kalanı ile olan uyumu, sistemin verimli çalışması açısından oldukça önemlidir.

Literatür incelendiğinde evlerde enerji tasarrufunu sağlamak amacıyla pek çok farklı çalışmalar yapılmış olup her biri konuyu farklı yöntemlerle ele almışlardır. Çalışmalar incelendiğinde evlerdeki enerji tüketiminin takibi ve izlenmesi için pek çok farklı yöntemten hayata geçirildiği uygulamaya rastlanılmıştır. Akıllı evler için elektrik yönetim sistemi kavramını tanıtan Nasserredine ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, akıllı enerji yönetimi araçlarının kullanımı ile yerleşim yerleri için elektriksel uç taleplerini azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir [4]. Sistem, çalışma saatlerinde kullanılacak fotovoltaik (photovoltaic-PV) sisteminden üretilen enerjinin yüzdesini arttırarak, üretilen enerjilerin kullanımını en üst düzeye çıkartıp, elektrik faturalarını ve çevre üzerindeki etkileri azaltmak için kullanıcıya tam bir kontrol sağlamıştır. Bayrak (2014) çalışmasında güneş ve hidrojen enerjilerinin birlikte evde kullanılmak üzere hibrit bir enerji üretim sistemi geliştirerek, yenilenebilir enerjinin verimi arttırmayı hedeflemiştir [5]. Başol (2016) çalışmasında akıllı ev tasarımı ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Sistem için geliştirdiği ara yüzler ile de evdeki cihazları anlık olarak kontrolünü sağlayarak evdeki cihazlar için gereken enerji ihtiyacını da güneş panelinden tedarik ederek elektrik maliyetinden tasarruf sağlamıştır [6]. A. K. Singh, Chinmaya ve Badoni (2019) çalışmasında ev elektrik sistemine takılabilir elektrikli araçlar için şarj işlemi sırasında çift kaynakları kullanma yetkisine sahip çok amaçlı bir güç elektronik ara yüzü önermiştir. Bu yöntemde elektrikli araç ihtiyaca göre pil, güneş fotovoltaikinden veya şebekeden şarj edilebilir. Böylece fosil yakıt bazlı elektrik kullanımı azalmaktadır [7]. Yıldız (2019) çalışmasında enerjinin tamamının güneşten tedarik edilmesi ve cihazları uzaktan yönetmesiyle (cihazın gücünü keserek), enerji tasarrufu sağlamak amacıyla sıfır enerjili yani sadece güneşten beslenen akıllı ev tasarımı gerçekleştirmiştir [8]. Agyeman, Al-Waisi ve Hoxha, (2019) ise akıllı evler için verimli enerji yönetimi sağlanan bir akıllı sayaç sistemi sunmuş ve nesnelerin interneti teknolojisinden yararlanarak, sistemin evdeki cihazlara hem web hem mobil ara yüz ile uzaktan erişimini sağlamışlardır. Kullanıcı güç tüketimini ve kullanılan enerjinin toplam maliyetini gerçek zamanlı olarak görebilir. Cihazları kontrol etmek için Arduino tabanlı mikro denetleyici kullanılmıştır. Böylelikle enerji tüketimini uzaktan izlenerek cihazların otomatik açıp kapatarak yeşil enerjiye katkı sağlamayı amaçlamışlardır [9].

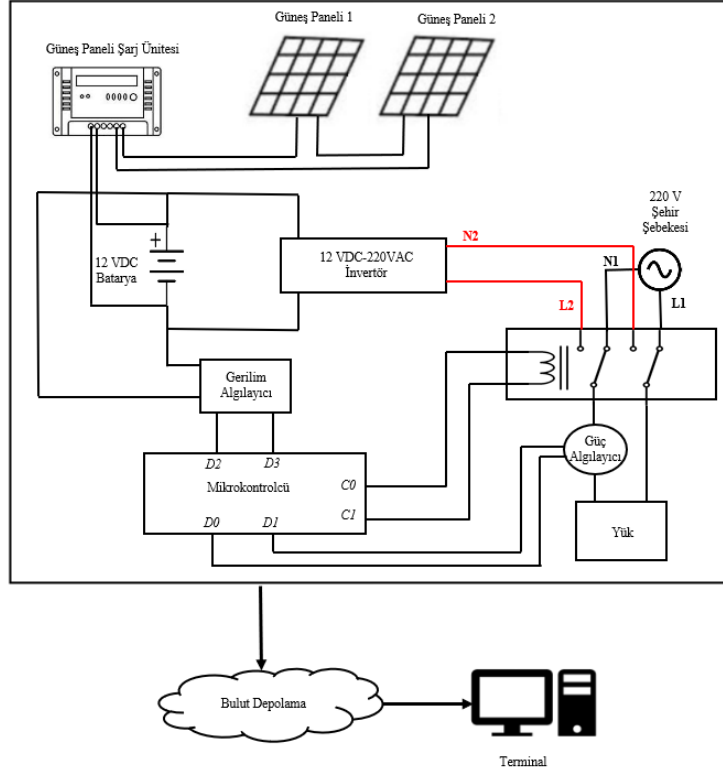
Abdalla (2019) projesinde akıllı evler için enerji yönetim sistemi geliştirmiştir. Projesinde konuttaki yüklerin izlenilmesi ve kontrol edilmesi ile, mevcut enerjinin etkin bir şekilde yönetilmesi amaçlanmıştır. Cihazların uzaktan kontrolü internet protokolü ile gerçekleşmiştir. Ayrıca geliştirdiği kontrol algoritması ile yükün az olduğu saatlerde cihazlar çalıştırılmaktadır. Bunun sonucunda enerji tasarrufu sağlanarak, elektrik faturalarının da azalması sağlanmıştır [10]. Enerji yönetimi ile ilgili Aybar, (2019) çalışmasında akıllı ev cihazlarının çalışma zamanının planlanması ile gün içinde enerji tüketiminin dengeli dağılımı ve çok zamanlı tarifelerde elektrik faturasına olan etkisini incelemiştir ve sezgisel algoritmalarla başvurmuştur. Benzetilmiş tavlama, diferansiyel gelişim algoritması ve genetik algoritmalar çalışma kapsamında uyarlanmıştır. Gerçekleştirdiği testler sonucunda ise senaryolarda geliştirilen algoritmaların, sabit fiyatlı tarifeyle kıyasla enerji tüketiminin maliyetini azalttığını göstermiştir [11].

Akıllı ev sistemlerinde enerji ihtiyacı yenilenebilir doğal kaynaklardan güneş ve rüzgâr enerjisi tarafından karşılanmaya çalışılmaktadır. Bunun yanı sıra, yenilenebilir enerjiye ek olarak elektrik şebekesinin de katıldığı sistemler bulunmaktadır [12]. Bunu sebebi kesintisiz bir enerji döngüsü için sadece doğaya bağlı kalmamaktır; güneş enerjili bir sistemde her zaman günler güneşli olmayabilir. Yine, sadece rüzgâr enerjisine dayandırılarak geliştirilmiş bir sistemde rüzgarsız bir günde elektrik enerjisi üretilmeyecektir. Depoladığımız enerji bizi ne kadar süre için idare edebilir? Güneş ve rüzgârın olmadığı durumlarda çalışan cihazlara elektrik enerjisi nasıl sağlanabilecektir? Literatürdeki bu gibi problemlere çözümsel yaklaşımlar sunan bu çalışmada, güneş enerjisi ile elektrik şebekesinin birlikte kullanıldığı akıllı ev sistemlerinin enerji yönetimini gerçekleştirmesini amaçlayan bir sistem tasarlanmıştır. Makale çalışmasının sonraki kısımlarında bu sistemin işleyişi açıklanmakta ve sistem üzerine bağlı bulunan elektriksel cihazlara ait analizler yer almaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada iki farklı enerji kaynağı kullanılmıştır. İlki şehir elektrik şebekesi olup diğeri ise güneş enerjisi ile önceden şarj edilmiş olan bataryadır. Sistemde elektriksel cihazların bağlanabildiği bir priz bulunmaktadır. Bir

mikrodenetleyici, prize bağlı cihazlar ile birlikte sisteme dahil edilmiş enerji kaynakları üzerinde sürekli olarak ölçümler yapmaktadır. Bu ölçümler sırasıyla prizdeki alternatif gerilim, akım, elektriksel güç, elektriksel enerji ve bataryanın gerilim durumudur. Mikrodenetleyici bu verileri değerlendirerek iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişleri otomatik olarak sağlamaktadır. Sistem üzerindeki güç ve gerilim algılayıcılardan elde edilen veriler analiz edildikten sonra değerlendirilmek üzere bulut üzerindeki sunucularda depolanmaktadır. Sunucuda depolanan bu veriler uzaktaki bir terminal üzerinden erişilip Python programlama dili kullanılarak analiz edilmiştir. Geliştirilen sistemin mimari görünümü Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Genel mimari görünüm

Yükte bulunan elektriksel cihazların tümü 220 volt alternatif gerilim değeri ile çalışmaktadır. Şehir şebekesinin dışında bu cihazlara bu gerilim değerini sağlayabilmek için bataryadan elde ettiği doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştürerek 220 volt değer üretebilen çevirici (invertör) kullanılmıştır. 1200 watt kapasiteye sahiptir. Yükte seri bir şekilde bağlı bir adet güç algılayıcı bulunmaktadır. Bu algılayıcı, yük üzerindeki alternatif gerilimi, geçen akımı, anlık güç değerlerini, başlangıçtan itibaren harcanan elektrik enerjisini ölçmektedir. Ölçmüş olduğu değerleri D0 ve D1 uçları yardımıyla mikrodenetleyiciye aktarmaktadır. Sistem üzerindeki bir diğer algılayıcı ise mikrodenetleyicinin D2 ve D3 uçlarına bağlı bulunan gerilim algılayıcısıdır. Bu algılayıcı, bataryanın gerilim düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Sistem üzerinde kurşun asit türünde 12 voltluk iki adet batarya bulunmaktadır. Kurşun asit bataryaların tamamen deşarj olması durumunda tekrar kullanımları mümkün değildir. Bu nedenle bataryalar gerilim algılayıcı ile sürekli olarak takip edilmektedirler. İki adet güneş paneli sistem üzerinde bulunan bataryaları şarj etmektedir. Şarj işlemin ne zaman başlayacağı ne zaman sonlandırılacağı ise şarj kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Şekil 1’de belirtilen iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişler, mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen bir röle yardımıyla gerçekleştirilir. Mikrodenetleyicinin C0 ve C1 uçları rölenin anahtarlanmasında kullanılmaktadır. Rölenin anahtarlama gerilimi 5 voltur.

Bu tasarımda ESP8266 tabanlı bir mikrodenetleyici olan NodeMcu seçilmiştir. Bu mikrodenetleyici iyi bilinen ve düşük maliyetli bir IoT platformudur. Aynı zamanda Wi-Fi SoC (System on Chip) platformu olarak da bilinmektedir. Kablosuz ağlara kolaylıkla bağlanarak, internet üzerinden verilerin bulut depolama ortamına gönderiminde esnek bir kullanım ara yüzü sunmaktadır. Mikrodenetleyicinin bahsi geçen iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişi sağlayan algoritma Şekil 2’deki gibidir [13].

```

//Başlangıç
Varsayılan enerji kaynağı ← şehir şebekesi
döngü (sistemde enerji olduğu sürece) {
toplam_güç_tüketimi ← yükteki cihazların güç değerleri toplamı
batarya_gerilimi ← bataryanın gerilim değeri,
if (toplam_güç_tüketimi ≤ 60 Watt && batarya_gerilimi ≥ 12.0 Volt)
    enerji kaynağını batarya olarak belirle.
else if (toplam_güç_tüketimi ≤ 60 Watt && batarya_gerilimi < 12.0 Volt)
    enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirle
else
    enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirle
}

```

Şekil 2. Mikrodenetleyici üzerinde çalışan algoritma

Sisteme ilk defa enerji verildiğinde yükün varsayılan enerji kaynağı şehir şebekesidir. Sistemin çalışma durumlarını belirleyen iki önemli parametre bulunmaktadır. Birincisi yükteki cihazların gereksinim duydukları güç değerleri ve bataryanın gerilim seviyesidir. Güç değeri için 60 watt, batarya gerilim değeri için ise 12 volt eşik değerler olarak belirlenmiştir. Evlerdeki görece düşük güç gereksinimi olan pek çok elektrikli cihazın güç tüketimleri 100 watt'dan düşüktür. 32 inçlik bir televizyon ortalama 30-55 watt, lamba 20-75 watt, dizüstü bilgisayar (şarjda) 90 watt gibi değerlere sahiptir. Düşük güç tüketimi yapan cihazların enerjisi batarya üzerinden desteklenmesi hedeflendiğinden 60 watt gibi makul bir seviye belirlenmiştir. İkinci eşik değeri ise kurşun asit bataryaların gerilim seviyesi olan 12 voltur.

Yük olarak bağlanan cihaz(lar) toplamda 60W'dan az güç harcaması ve bataryanın gerilim değeri 12 volta eşit ve yüksek ise mikrodenetleyici Şekil 1'deki C0 ve C1 uçlarına bağlı bulunan röleyi tetikleyerek yükün enerji kaynağını bataryaların enerjilendirdiği, çeviricinin dahil olduğu L2-N2 hattı olarak belirler. Yük, artık şehir şebekesi ile değil çeviricinin sağlamış olduğu 220 voltluk gerilim üzerinden çalışmasına devam etmektedir. Sistem, ancak yükün 60 wattan fazla güce ihtiyaç duyulduğu durumlarda ve bataryanın geriliminin 12 voltun altına düşmesi durumundan yükün enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirler. Böyle bir durumda mikrodenetleyici C0 ve C1 uçlarındaki röleyi tetiklemeyi bırakarak yükün L1-N1 hattıyla devresini tamamlamasını sağlar. Geliştirilen bu sistem sayesinde düşük güç tüketimi olan yükler batarya üzerinden çevirici yardımıyla elde edilen alternatif akım ile beslenmesi, yüksek güç tüketimine sahip olan yüklerin ise şehir şebekesi ile beslenmesi sağlanmış olur.

Şekil 1'de yer alan mikrodenetleyici güç ve gerilim algılayıcılardan elde etmiş olduğu verileri bağlı bulunduğu yerel ağ üzerinden bulut ortamına göndermektedir. Bulut ortamı olarak ThingSpeak platformu seçilmiştir. Bu platform bir IoT analitik hizmeti olup sahadan verilerin toplanmasını, görselleştirilmesini ve analiz edilmesini imkân tanır. Veriler bu platforma 15 saniyelik aralıklarla gönderilmektedir. Bataryaların kapasitesi ve rölenin yüksek akım durumlarında kontaklarının birbirine yapışması gibi nedenlerden ötürü görece çok yüksek güç tüketimine sahip olmayan cihazlar analizlerde tercih edilmiş ve yine aynı nedenlerden ötürü sayıları da sınırlı tutulmuştur. Bu nedenle geliştirilmiş olan sistem üzerine elektriksel yük olarak 3 adet cihaz bağlanmıştır. Bu cihazların güç tüketimleri Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Yük olarak kullanılan cihazlar

Cihaz no	Güç tüketimi (watt)
1	25
2	50
3	10

Bağlı bulunan yükler değişik zamanlarda bir veya birkaçının aynı anda çalıştırılması sağlanmıştır. Tablo 1'deki güç değerlerine bakıldığında cihazların tümünün aynı anda çalışması durumunda Şekil 2'de eşik değer olarak belirtilen 60 watt'lık güç değerini aştığı görülmektedir. Bataryanın durumunu ile birlikte düşünüldüğünde Tablo 1'de belirtilen Cihaz1 ve Cihaz3'ün tek başına ve/veya birlikte çalıştırılmaları durumunda sistemin enerji kaynağı bataryalar olacaktır. Sistemin şehir şebekesini kullanabilmesi için ise Cihaz2'nin Cihaz1 ve/veya Cihaz3 ile birlikte kullanılması gerekmektedir. Tablo 1'deki cihazlar çalışırken sistem üzerindeki algılayıcılar yardımıyla ölçümler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen değerler mikrodenetleyici tarafından bulut depolama ortamına gönderilmiştir. Sistemin gerçekleştirdiği bu farklı ölçümler kullanılarak ilerideki olası durumlara yönelik tahminlerde bulunulmuştur.

Elektriksel Enerjinin Tahmini için Polinomsal Lineer Regresyon

Sistem üzerinde Tablo 1’de belirtilen cihazlar kullanıcı tarafından (tıpkı bir ev kullanıcısı gibi) rastgele olarak açılıp kapatılarak sistemin iki farklı enerji kaynağı arasında geçişi sağlanmıştır. Buradaki temel amaç bir kişinin evdeki prizleri rastgele olarak kullanımını simüle edebilmektir. Rastgele gerçekleşen kullanımların sonucunda ortaya çıkan algılayıcı verilerinin ileriye yönelik tahmini için polinomsal lineer regresyon kullanılmıştır.

N dereceli polinomsal lineer regresyon modeli denklemdaki gibi ifade edilmiştir. Denklemin liner kısmını $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ katsayıları (coefficients) ve polinom kısmı ise $x^2, x^3, \dots, x^n$ x’in üssel ifadeleri tarafından oluşmaktadır [14].

$$f(x) = y = a_0x^0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

Denklemden y, gerçek güç verisini x ise zaman verisini temsil etmektedir. Bu denklem ile esas bulunmak istenen a katsayıları. Denklem de x ve y değerleri yerine yazıldığında $a_1, a_2, \dots, a_n$ değerleri bulunur, a_0 sabiti (bias) ise grafiğin y doğrusunu kestiği noktadır. Burada n değeri ise $(\dots a_nx^n)$ denklemin derecesini yani veri setindeki y dışındaki özniteliklerin sayısıdır. Bir diğer ifade ile y verisini etkileyen bağımsız değişkenlerin sayısıdır. Elimizdeki veri kümesine bakacak olursak, güç tüketimi (y) hariç sadece zaman (x) verisinden dolayı sadece 1 adet x’ e (bu durumda n=1) sahipmişiz gibi görünebilir ancak denklemin kaç dereceye sahip olacağını $x^2, x^3, \dots, x^n$ yani n değerini kendimiz belirleyebiliriz. Böyle bir durumda x (zaman)in 2.’den n.’ ye kadar kuvvetini almamız yeterli. Polinomun derecesini artırarak verileri fit edebiliriz. Belirtilen bu matematiksel ifadeyi kullanan Python kodu Şekil 3’de verilmiştir.

```
1. from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
2. poly_reg= PolynomialFeatures(degree=n)
3. _poly= poly_reg.fit_transform(x)
```

Şekil 3. Python programlama dilinde polinomsal lineer regresyon için kod bloğu

Yukarıdaki şekilde verilen kod bloğunun ikinci satırındaki n değerini veri seti eleman sayısından küçük olacak şekilde istediğimiz değeri atayabiliriz. Yine üçüncü satırdaki x değerini n. dereceden polinomsal öznitelige dönüştürmüş olduk. Şimdi x^n ’i kullanarak eğriyi fit edebiliriz. En uygun yani en iyi fit edilmiş eğri en az hata ile mümkündür. Hata karelerinin ortalaması (Mean square error -MSE) 0 değerine ne kadar yakınsa doğru tahmin oranı o kadar yüksek olur. MSE hesaplamak için denklem;

$$MSE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y - y_{head})^2 \quad (2)$$

Denklemden y_{head} tahmin değerlerini göstermektedir. Denklemden incelendiğinde $y - y_{head} = 0$ veya 0’a yakın bir değer olması, çok iyi bir doğruluk oranı ile tahminin gerçekleştirildiğini göstermektedir. Çalışmamızda doğruluk oranını gözlemlemek için R2 (r_square) yani belirleme katsayısı (coefficient of determination) yöntemine başvurduk. Belirleme katsayısı veya R2, bir modelin uyum başarısı hakkında bilgi veren bir ölçüdür. Diğer bir deyişle regresyon çizgisinin gerçek verilere ne kadar iyi yaklaştığını istatistiksel olarak ortaya koymaktadır. Regresyon metotlarını değerlendirme metriği olan bu R2 değeri veri setinde bulunmayan y değerlerinin ne kadar doğru tahmin edileceğini gösterir. R2 değeri 1’ ne kadar yakınsa, regresyon sonucu (tahmin) o kadar doğru demektir. Bu nedenle, gelecekteki sonuçları tahmin etmek veya hipotezlerin test edilmesinde istatistiksel bir model kullanıldığında önemlidir. Toplam kareler regresyonu SSR (Sum Squared Regression); gerçek y değeri ile tahmini y değerlerinin arasındaki farkın karelerinin toplamı, tüm kareler toplamı SST (Sum Squared Total); gerçek y değeri ile tahmin edilen y değerlerinin ortalaması arasındaki farkın karelerinin toplamını ifade etmektedir. Ostertagová aşağıda, r_square değerinin hata karelerinin ortalaması (MSE) ve diğer denklemler ile olan ilişkisini belirtmiştir [15].

$$r_{square} = 1 - \left(\frac{SSR}{SST} \right) \quad (3)$$

$$SSR = \sum (y - y_{head})^2 \quad \bullet \text{ (Sum squared error-SSR)} \quad (4)$$

$$SST = \sum (y - y_{ortalama})^2 \quad \bullet \text{ (Sum squared total-SST)} \quad (5)$$

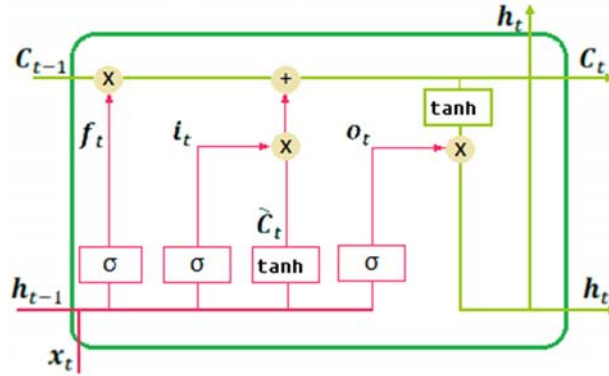
$$MSE = SSR/k \quad (6)$$

Çalışmamızda tahmin konusunda amacımız gelecek güç tüketim verilerinin yüksek doğruluk oranı ile tahmin edebilmektir. Bulut sunucu ortamında aktarılan sonuçlar ve bu sonuçlar üzerinde uygulanan polinomsal lineer regresyon sonuçları bir sonraki bölümde incelenecektir.

Elektriksel Enerji ve Güç Tüketim Tahmini için Özelleştirilmiş bir RNN Olan LSTM Modeli Uygulaması

Polinomsal lineer regresyon kullanıldıktan sonra daha iyi tahmin değerleri üretmek için RNN' in (recurrent neural networks - tekrarlayan sinir ağı) özelleşmiş bir çeşidi olan LSTM (long short term memory - uzun kısa dönem hafıza) yöntemine başvurduk. LSTM yönteminin tercih edilmesindeki en önemli etken, sistemimizdeki gibi zaman seri verileri üzerinde gösterdiği başarılı tahmin oranlarına dayanmaktadır. Bunu uzun/kısa süre önce gelen bilgiyi depolayarak ve önemsiz gördüğü bilgiyi unutarak gelişmiş ve karmaşık bir öğrenme özelliğine sahip olmasıyla gerçekleştirir.

Derin öğrenme yöntemleri, sinir ağının gizli katmanlarının sayısını artırır ve güçlü doğrusal olmayan özellikleri işlemede çok iyi performans gösterir. Tekrarlayan sinir ağı (RNN - recurrent neural networks), tahmin zaman serilerinde uygulanan derin öğrenme algoritmalarından biridir. Yapısı ilk kez 1990 yılında sunulan RNN zamansal bilgileri tutabilir. Önceki anlardan gelen bilgilerin korunup korunmayacağını seçmek için tekrarlayan katman kavramını tanıtır. Bununla birlikte, RNN patlayan / kaybolan gradyan problemi nedeniyle uzun vadeli bağımlılığı iyi sürdüremez. Bu sorunları çözmek için, uzun kısa süreli bellek ağı (LSTM) olarak adlandırılan gelişmiş bir RNN önerilmektedir [16].



Şekil 4. LSTM yapısı [17]

x işlemi: bilgi ölçeklendirilir

+ işlemi: bilgi eklenir

σ : hatırlamak/unutmak için kullanılır. 1 ya da 0'dır.

$\tanh$: parametreleri güncellemek için kullanılır

X_t : girdi

h_{t-1} : hem girdi hem de bir önceki LSTM ünitesinin çıkışı

C_{t-1} : önceki LSTM ünitesinden hafıza/hatırlama

C_t : güncellenmiş yeni hafıza

h_t : çıktı

Şekil4'teki gibi LSTM mimarisi, birbirini tekrar eden sıralı bloklardan oluşur. LSTM yapısı, 3 farklı kapıdan oluşur bunlar; unut, girdi ve çıktı kapılarıdır. Unut kapısı : girdi olarak X_t ve h_{t-1} verilerini alarak gelen bilginin unutulup unutulmayacağına karar verir. Bunu denklemdeki gibi f_t ile yapar ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanır.

$$f_t = \sigma(W_{f,x} * X_t + W_{f,h} * h_{t-1} + b_f) \quad (7)$$

Daha sonra, hangi bilginin depolanacağını karar verildiği girdi kapısı devreye girerek i_t denklem (8) kullanır ve sigmoid fonksiyonu ile bilgileri günceller. Ardından yeni bilgi $\tanh$ fonksiyonu (9) tarafından belirlenir. Vanishing gradient (yavaş öğrenme-çok küçük gradient) problemini çözdüğü için $\tanh$ kullanılır. Parametreler güncellenirken (update) türev alınır ve $\tanh$ 'ın türevi hemen 0'a ulaşmaz. Yeni bilgiler denklem (10) ile elde edilir.

$$i_t = \sigma(W_{i,x} * X_t + W_{i,h} * h_{t-1} + b_i) \quad (8)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_{c,x} * X_t + W_{c,h} * h_{t-1} + b_c) \quad (9)$$

$$C_t = C_{t-1} * f_t + i_t * \tilde{C}_t \quad (10)$$

En son çıktı kapısında üretilen çıktı verileri aşağıdaki denklemlerle elde edilir.

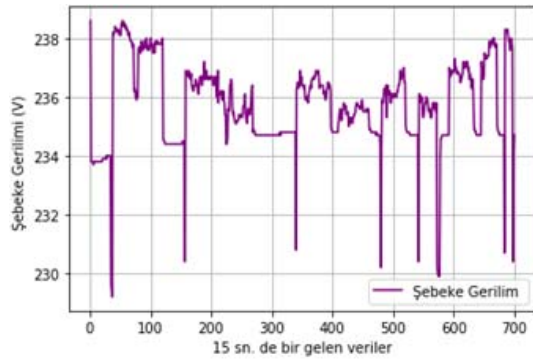
$$o_t = \sigma(W_{o,x} * X_t + W_{o,h} * h_{t-1} + b_o) \quad (11)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (12)$$

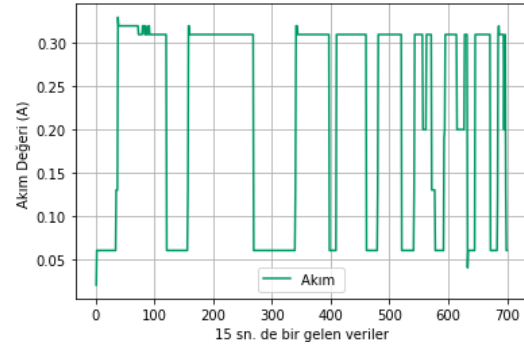
Bu süreç tekrar eder, ta ki bias (b) ve ağırlık (W_i) parametreleri en doğru değerlere ulaşana kadar. Bu parametrelerin en doğru değere ulaşması demek modelin en iyi şekilde eğitildiğinin ve LSTM çıktı verileri ile eğitim verileri arasındaki farkın en az olması, çıktının gerçek veriye en yakın değerde olması demektir. [17]
Sistemin çalışmasında odak nokta olarak güç ve enerji tüketim verileri olduğu için LSTM ile Polinomsal Lineer Regresyon modelinin performanslarını bu iki veri seti üzerinde kıyasladık. Bulgular ve Tartışma kısmında her iki yöntemle elde ettiğimiz tahminlerin doğruluk ve hata oranlarının karşılaştırılması yer almaktadır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

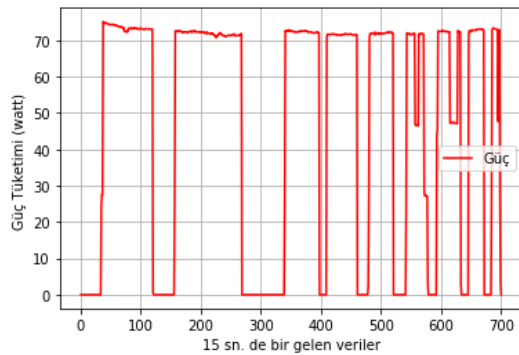
Şekil 1'deki mimari tasarıma sahip olan sistemimiz üzerinde Tablo 1'de belirtilen güç tüketim değerlerine sahip cihazlarımız bağlanmış ve farklı zaman aralıklarında tipik bir ev kullanıcısının kullanım karakteristiğine benzer şekilde rastgele olarak anahtarlanmışdır. 15 saniye aralıklarla 700 farklı ölçüm alınmıştır. Aşağıda zamana bağlı olarak alternatif gerilim değerleri, yükün çektiği akım değeri, yükte harcanan güç, harcanan enerji ve bataryaların gerilim değerlerindeki değişimler sırasıyla verilmiştir.



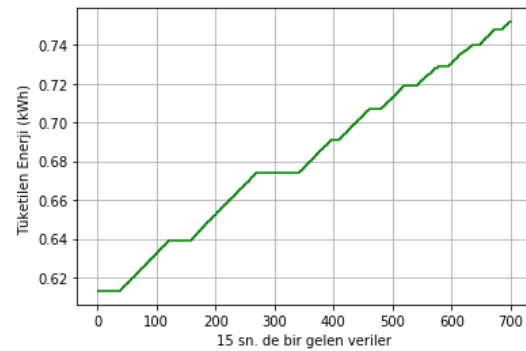
Şekil 5. Alternatif gerilim değerleri



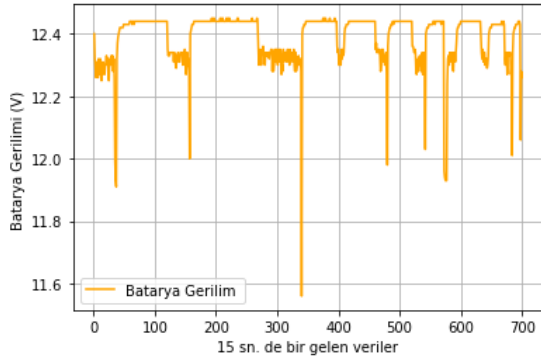
Şekil 6. Yükün akımı



Şekil 7. Yükün güç tüketimi



Şekil 8. Yükün enerji tüketimi



Şekil 9. Bataryanın gerilim değerleri

Şekil 5, 6, 7 ve 9 incelendiğinde zamana bağlı olan değişimlerin rastgele olduğu görülmektedir. Doğrusal olarak artış bir tek sistemin enerji tüketiminin gösterildiği Şekil 8’de görülmektedir. Polinomsal regresyon modelini meydana getiren denklemde (1) n (denklemi derecesi) değeri, 1 ve 10 arasında değerler verilerek R2 (r_square) yani tahminin doğruluk oranı sonuçları karşılaştırılmıştır. Tahminin doğruluk oranı sonuçları ait değerler Tablo 2’de verilmiştir. n=1 değeri için lineer regresyon modeli ile uygulanmış olan grafikler arasında polinom olmayan lineer bir eğri gösteren yalnızca enerji tüketim grafiğidir (Şekil 7) ve lineer regresyon metodu sonucunda r_square değeri / tahminin doğruluk oranı 0,99509’dur. Yine de polinomsal regresyon modeliyle n=6 için 0,00147’lük bir farkla 0,99656 olan en yüksek değer üretilmiştir.

Tablo 2. R2 (r-square) katsayıları

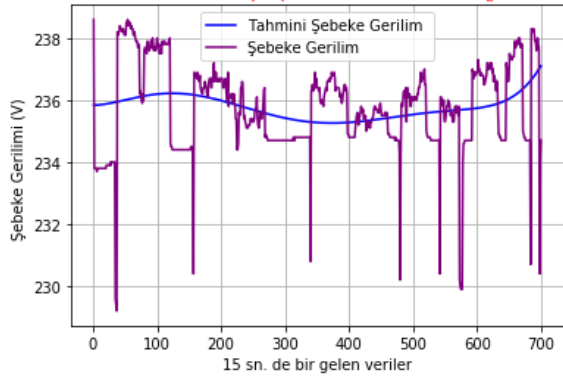
Uygulanan veri seti	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10
1. Alternatif gerilim	0.00079	0.02796	0.06647	0.09446	0.15111	0.06349	0.06180	0.08075	0.08497	0.07677
2. Akım	8.43240	0.00472	0.01429	0.04424	0.09015	0.03832	0.00691	0.00651	0.01746	0.02016
3. Güç	8.79277	0.00339	0.0130	0.04506	0.08864	0.03736	0.00614	0.00550	0.01553	0.01737
4. Enerji	0.99509	0.99539	0.99569	0.99573	0.99608	0.99656	0.99514	0.98789	0.97501	0.95908
5. Batarya gerilimi	1.99479	0.01840	0.03248	0.05436	0.06725	0.03734	0.01067	0.00895	0.01819	0.02302

Yukarıdaki tablodaki en iyi r square değerlerine ait n değerleri aşağıdadır.

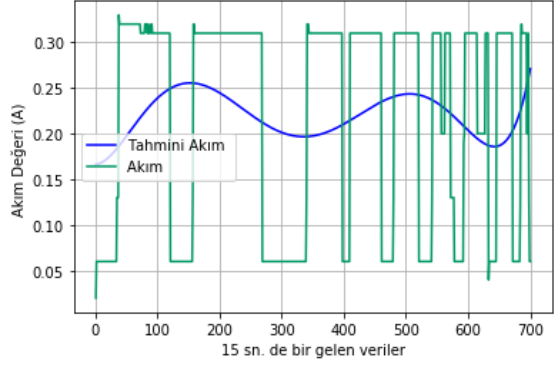
Tablo 3. En iyi R2 (r_square) / tahminin doğruluk oranı sonuçları ve bu sonuçları veren n değerleri

Uygulanan Veri Seti	R kare (r square)	n değeri
1. Alternatif gerilim	0.084	5
2. Akım	0.09	5
3. Güç	0.088	5
4. Enerji	0.99	6
5. Batarya gerilimi	0.067	5

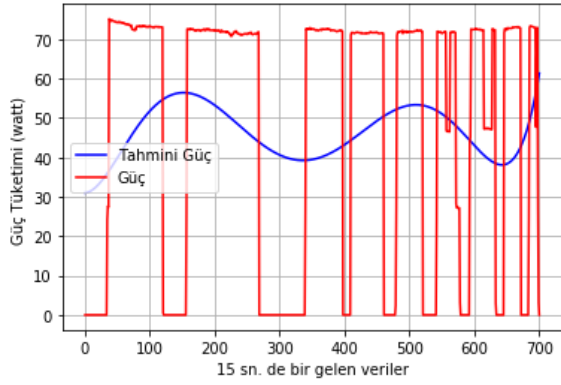
Polinomsal lineer regresyonun verilere uygulanması sonucunda elde edilen tahminlere ait grafikler ve var olan algılayıcı verileriyle birlikte aşağıda sırasıyla verilmektedir.



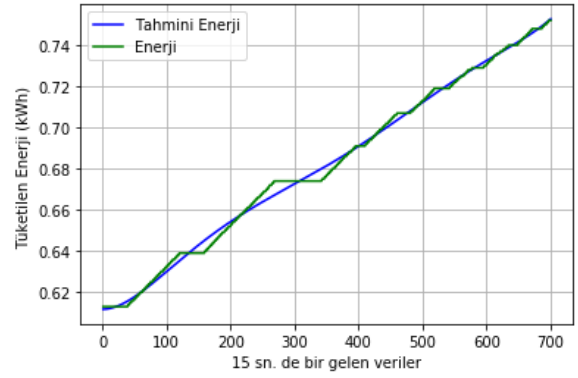
Şekil 10. Alternatif gerilim tahmini



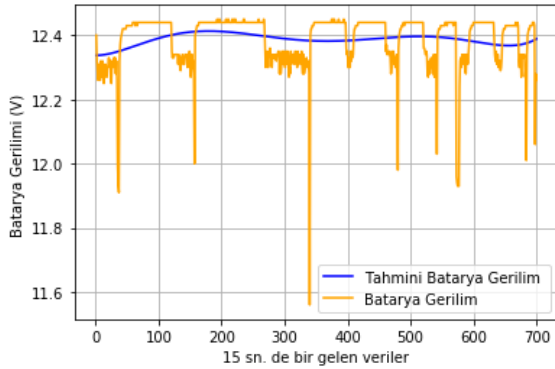
Şekil 11. Yük akımının tahmini



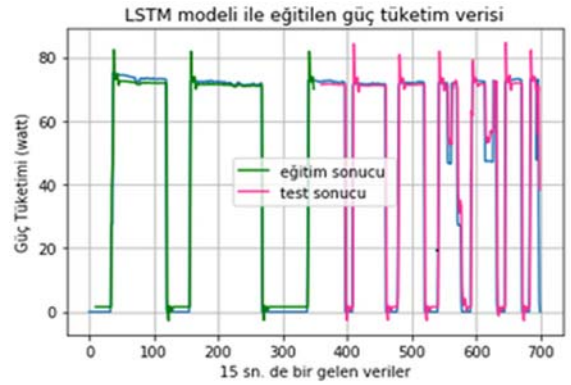
Şekil 12. Yükün güç tahmini



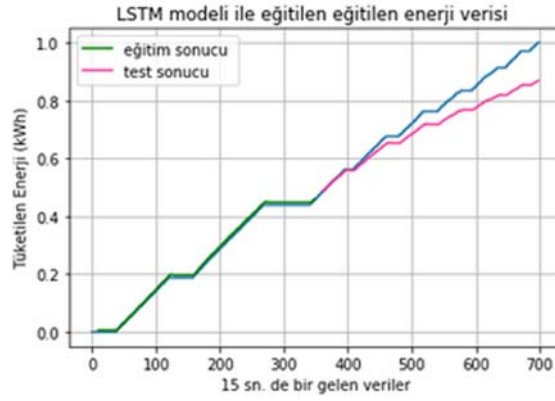
Şekil 13. Yükün enerji tüketimi tahmini



Şekil 14. Batarya gerilim tahmini



Şekil 15. LSTM modeli ile eğitilen güç tüketim verisi



Şekil 16. LSTM modeli ile eğitilen enerji verisi

Tablo 4. RMSE değerleri

Uygulanan Veri Seti	LSTM		Polinomsal Lineer Regresyon
	Eğitim Skoru	Test Skoru	
1. Güç	6.83	12.46	33.51
2. Enerji	0.01	0.06	0.002

Hatanın boyutunu ölçen RMSE (root mean square error- hata karelerinin ortalamasının kökü) değeri 0'a ne kadar yakınsa o kadar doğru tahmin gerçekleştirilmiş demektir. 0 ile ∞ arasında değer alır. RMSE ile daha önceden bahsedilen MSE arasındaki ilişki ise şu şekilde hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (13)$$

Şekil 15 ve 16'da görüldüğü gibi güç ve enerji veri setlerinde %50-%50 eğitim ve test verileri olarak 2'ye ayrıldı. İlk 350 veri eğitim verisini oluşturarak model eğitildi ve 351' den 700' e kadar olan veriler test sonucu olarak ortaya çıktı. Şekil 15 ile 12 karşılaştırıldığında LSTM ile oluşturulan modelin gerçek veriye daha adapte olduğu görülmektedir. Fakat, Şekil 16 ve 13 kıyaslandığında Polinomsal Lineer Regresyon metoduyla ortaya çıkan tahmin modeli LSTM ile oluşturulan modelden daha düzgün oluşturulmuştur. Bu iki yöntemin performanslarını sayısal olarak (Tablo 4) kıyaslandığımız ise grafiklerden çıkardığımız sonucu doğrular niteliktedir. LSTM ile güç tüketimi tahmininde RMSE değeri 12.46 iken, polinomsal lineer regresyon ile 33.51 olmaktadır. Güç tüketiminin aksine enerji tüketim tahmininde LSTM ile RMSE değeri 0.06 iken Polinomsal Lineer Regresyonda bu değer 0.002 olarak karşımıza çıkmaktadır. Veri setinin dalgalı olduğu durumlarda LSTM çok daha başarılı performans gösterirken, doğrusal olarak ilerleyen veriler için polinomsal lineer regresyon 0.058 gibi az bir farkla daha başarılıdır. Bu değer göz ardı edilebileceği gibi veri setinin boyutu arttıkça daha anlamlı hale gelecektir fakat tüm bunlar bir yana, verinin sürekli artış ya da azalış göstereceğinin kesin bir delili bulunmamaktadır. Bu sebeple LSTM her iki durumda da veri tahmini için başvurmaya daha uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

SONUÇ

Evlerdeki elektriksel enerjinin maliyetinin düşürülmesine yönelik olarak doğada bulunan enerji kaynakları ile ev enerji sistemlerinin desteklenmesi sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Evlerin ve işyerlerinin bu farklı enerji kaynakları ile desteklenmesi beraberinde enerji kaynaklarının akıllı bir şekilde yönetilmesini de getirmektedir. Ev kullanıcıları hali hazırda var olan şehir şebekesine ek olarak güneş enerjisinden uzun bir süreden beri faydalanmaktadır. Bu çalışmada, iki farklı elektrik enerjisi kaynağın olduğu ev sistemleri için kaynakların kendi aralarında otomatik geçişlerin sağlanabildiği bir sistem geliştirilmiştir. Geçişlerin yapılabilmesi ev içerisindeki prizlerin ve şebekeyi destekleyici bataryaların durumlarının anlık olarak incelenmesine bağlıdır. Çalışma kapsamında sistemdeki alternatif gerilim değeri, akım, güç, enerji ve bataryaların durumları anlık olarak ölçümlenmektedir. Ölçümlenen değerler sistem üzerinde bulunan mikrodenetleyici ile değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmenin sonucuna bağlı olarak iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişler sağlanmaktadır. Geliştirilen sistem evdeki yerel ağa bağlanabilmekte ve internet üzerinden bulut üzerindeki depolama ortamına toplamış olduğu verileri göndermektedir.

Çalışma kapsamında sistem üzerinden toplanarak bulut ortamına aktarılan veriler analiz edilerek ilerisi için tahminlerde bulunulmuştur. Alternatif gerilim, akım, güç ve batarya durumlarına ait değerler, tıpkı bir ev kullanıcısının evdeki elektrikli cihazları kullanımları gibi rastgele bir özellik sergilemektedir. Sistemde harcanan toplam güç değeri ise doğrusal bir özellik göstermektedir. Bu nedenle, ileriye yönelik yapılan güç tahminleri daha başarılı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarlanan sistem kullanılan malzemelerin sınırlı özelliklerinden ötürü prototip özellik taşımakta ve bu nedenle sadece düşük güç tüketimine sahip üç farklı tür elektrikli cihaz üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha büyük kapasitedeki uygulamaları desteklemesi açısından başarılıdır. Özellikle çevirici, batarya ve diğer algılayıcıların kapasiteleri artırılarak daha büyük ölçeklerde uygulama imkanına sahiptir. Bunun yanında sistemin ilave alternatif enerji kaynakları ile desteklenmeye açık bir yapısı bulunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FHD-2020-3381. Desteklerinden dolayı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz. Bu makale Rezzan Nisa ER'in yüksek lisans tez konusu kapsamında yapılmıştır.

Yazar Katkıları

Rezzan Nisa Er: Sistemin üretmiş olduğu sayısal çıktıları görselleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Bora Uğurlu: Sistemin yazılımsal ayağını oluşturarak bulut ortamına dahil etmiş ve makale yazım sürecine yardımcı olmuştur.

Utku Bayram: Sistemin donanımsal alt yapısını oluşturmuştur.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

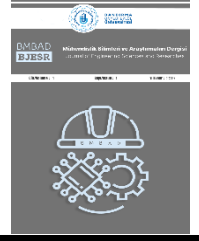
- [1] H.T. Karakoç, B. Erbay, ve N. Karakoç, "Enerji analizi". Türkiye Cumhuriyeti Anadolu Üniversitesi Yayını, Birinci Baskı, 2486, 2011.
- [2] O. Ö. Mengi, "Yenilenebilir enerji sistemlerinde süreklilik için akıllı bir enerji yönetim sistemi", Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2011.
- [3] M. Taştan, "Akıllı Ev Uygulamaları için Yeni Nesil IoT Denetleyici ile Gerçek Zamanlı Uzaktan İzleme ve Kontrol Uygulaması". Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 481-487, 2019.
- [4] Nassereddine, M., Rizk, J., Hellany, A., Nagrial, M., Elrafhi, A., Obeid, Z., & Hajar, K., "Electrical energy management for advance smart home systems: Introduction.", In 2016 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC) (pp. 1-6). IEEE, July, 2016.
- [5] Z. U. Bayrak, "Evsel yükler için yakıt pili-güneş pili hibrit sisteminin tasarımı, modellenmesi ve uygulaması/Design, modeling and implementation of fuel cell-solar cell hybrid system for residential loads", (2014).
- [6] G. Başol, "Güneş pili ile çalışan mobil uygulama destekli akıllı ev otomasyon sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [7] A. K. Singh, K. A. Chinmaya ve M. Badoni, "Solar PV and Grid Based Isolated Converter for Plug-in Electric Vehicles", IET Power Electronics, vol. 14-12, 3707 3715, 2019.
- [8] S. Yıldız, "Sıfır enerjili akıllı ev tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [9] M. O. Agyeman, Z. Al-Waisi ve I. Hoxha, "Design and Implementation of an IoT-Based Energy Monitoring System for Managing Smart Homes", In 2019 Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC) (pp. 253-258). IEEE, June, 2019.
- [10] S. H. Abdalla, "Energy management system for smart home (Yüksek Lisans tezi)". Erişim adresi : <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>, 2019.
- [11] R. Aybar, "Akıllı ev aletlerinin Enerji Tüketiminin Planlanması (Yüksek Lisans tezi)". Erişim adresi : <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>, 2019.
- [12] Z. Çelik, A. YILMAZ ve SERT E., "Mikro Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Üretim Sistemlerinin Kontrolü". Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 41-48, 2015
- [13] B. Uğurlu, U. Bayram ve R.N. Er, "Elektrik Enerjisi Kaynaklarının Güç Tüketimine Göre Kaynağının Otomatik Olarak Belirlenmesi", Çakır, Ö., Fen ve Mühendislik Bilimleri : 2020 UBAK 7. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Fen ve Mühendislik Bilimleri, Bildiri Tam Metin Kitabı içinde (pp. 271-276), Ankara, 2020.

- [14] G. Wang, J. Cao, H. Wang, ve M. Guo, "Polynomial regression for data gathering in environmental monitoring applications.", In IEEE GLOBECOM 2007-IEEE Global Telecommunications/Conference (pp. 1307-1311). IEEE, November, 2007.
- [15] E. Ostertagová, "Modelling using polynomial regression. Procedia Engineering", vol. 48, pp. 500-506, 2012.
- [16] Wang, J. Q., Du, Y., & Wang, J. LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 197, 117197, 2020
- [17] A. Kara, "Global Solar Irradiance Time Series Prediction Using Long Short-Term Memory Network". Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji, vol , vol. 4-7, pp.882-892, 2019.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Data Mining For CO2 Emissions Prediction In Italy İtalya'daki CO2 Emisyon Tahmini için Veri Madenciliği

¹Saleh Abuzir , ²Yousef Abuzir

¹Brescia University, Civil and Environmental Engineering, Brescia, Italy

²Al-Quds Open University, Faculty of Technology and Applied Sciences, Ramallah Palestine

¹s.abuzir@studenti.unibs.it, ²yabuzir@qou.edu

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :15 January 2021

Accepted : 8 February 2021

Keywords:

CO2 emissions, Climate change, energy consumption, Data Mining, WEKA

ABSTRACT

This study is a preliminary evaluation of the situation of CO2 emissions in Italy, reviewing the international and national literature, using global datasets, and using data mining techniques for analysis and prediction. The study used descriptive methods. It focuses on finding the main potential parameters that effect the concentration of CO2 emissions based on energy resources in Italy. Sequential Minimal Optimization regression (SMOreg), Linear Regression, and Simple Linear Regression are used. Based on the analysis, the Liquid Fuel sector has had the highest rate of increase in CO2 emission 56.8%. R. Linear Regression algorithm gives us a better performance of the prediction for the CO2 emissions than the second algorithm Simple Linear Regression. These results are in line with the present condition in Italy due to the Italian National Program on Climate Change which focuses on reducing carbon dioxide emissions.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim: 15 Ocak 2021

Kabul : 8 Şubat 2021

Anahtar Kelimeler:

CO2 emisyonu, İklim değişikliği, Enerji tüketimi, Veri madenciliği, WEKA

ÖZET

Bu çalışmada ulusal ve uluslararası literatür çalışmaları gözden geçirilerek ve global veri kümeleri ve veri madenciliği teknikleri kullanılarak İtalya'daki CO2 emisyon durum tahmini ve değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada tanımlayıcı teknikleri kullanılmış ve İtalya'daki enerji kaynaklarına dayalı olarak CO2 emisyonlarının konsantrasyonunu etkileyen ana potansiyel parametreleri bulmaya odaklanılmıştır. Sıralı Minimal Optimizasyon regresyonu (SMOreg), Doğrusal Regresyon ve Basit Doğrusal Regresyon kullanılmıştır. Analize göre, Sıvı Yakıt sektörü CO2 emisyonunda en yüksek artış oranı % 56,8 olmaktadır. R. Doğrusal Regresyon algoritması, CO2 emisyonları tahmininde ikinci algoritma Basit Doğrusal Regresyondan daha iyi bir performans sağlamaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, karbondioksit emisyonlarını azaltmaya odaklanan İtalyan İklim Değişikliği Ulusal Programı nedeniyle İtalya'daki mevcut durumla uyumludur.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Climate change is one of the factors that threaten the environment, health, and the economy of international societies. In 1990, the United Nations issued a convention on climate change with the goal of limiting the emission of carbon dioxide [1]. Most of the countries of the world responded positively to this agreement and about 186 parties have ratified it. On December 15, 1993, the European Union accepted it. The most important goal of the climate change agreement was to stabilize greenhouse gases (GHG) [2].

Today, we can notice that greenhouse gas emissions (GHG) from human activity, especially from the use of fossil fuels in their various daily activities, the change of the land, and deforestation, have led to an increase in the concentrations of these gases in the atmosphere. An increase in carbon dioxide levels is expected to have clear economic, environmental and social consequences, and will have widespread negative impacts on human health and natural habitats[3]. Climate change will spread insect-borne diseases such as malaria and dengue fever, habitat loss, and security concerns, redraw the map of this universe, and affect the weather. The change in the climate will cause harm to nature and ecosystems.

Climate change has a negative impact on most countries of the world, including Italy. Follow the Kyoto Protocol; Italy has a legal commitment to reduce GHG emissions by an average of 6.5 percent below the base-year level 2008-2012 with an average of 485.7 MtCO₂ equivalents per year in 2008-2012. Taking into account that Italy has one of the lowest energy intensities among Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) countries based on energy consuming per GDP unit, achieving this commitment is a challenge. Italy, however, has agreed to abide itself to such an ambitious goal because it knows that if climate change has not been seriously handled, the impact on the global environment, the economy, and security will be very negative [1].

It is important to understand the past, current, and future events related to the world's climate and use data mining and Artificial Intelligence (AI) research to analyze and identify trends and characteristics of climate data.

Using the Data Mining approach to study the characteristics of CO₂ emissions will effectively support scientific theory and should be central to any interdisciplinary process in order to measure or quantify climate prediction uncertainties to discover the relations between climate system disruption and its response to energy consumption. In order to understand how climate change influenced the environment in the ancient past and to find ways to foresee how things will change in the future, we investigated patterns from the records of CO₂. Historical data records for CO₂ emissions were studied and analyzed. The results showed that there are clear climate changes in the environment that occur over time. These changes and upheaval are repeated in a similar pattern most of the time and show a good relationship that can be used for predictive analysis of changes occurring in the environment. Because these patterns are repeated regularly, it is crucial to understand how the ecosystem deals with these fundamental processes and how the natural system response to climate change. Studying these patterns will provide us with an insight and a future vision of what the future may hold and what measures can be taken and implemented to lower the impact of negative changes on the environment [3-5].

This study is a preliminary evaluation of the situation of CO₂ emission in Italy, using international and national literature review, global and historical datasets, and using data mining to find useful information in the datasets.

This study identifies, analyze and evaluate potential parameters that affect carbon dioxide emissions in Italy using data mining and discuss the various measures, tools and procedures used to reduce the percentage of carbon dioxide emissions in Italy that have achieved a positive and real impact, to achieve the nation's goals regarding it concerns sustainable development..

In the following sections, key Data Mining challenges facing climate changing in general and CO₂ emissions in particular are discussed. The study gives an overview of recent efforts to apply Data Mining to this field with different cases of studies related to climate change. This paper began by a general overview of previous related studies to data mining and addressed different uses of data mining in climate change and CO₂ emissions predication. The paper then discusses the methodology, and the dataset used in this study. The last two sections report the experimental analysis and deal with a conclusion.

2. LITERATURE REVIEW

Jeong, et al., 2020 used data mining techniques to establish a benchmark in South Korea for CO₂ emission using a decision tree algorithm [6].

The paper of Jeslet and Jeevanandham, [7] used two machine learning algorithms, Artificial Neural Network (ANN) and Decision Tree in forecasting different weather forecasting. The parameters used in their study are speed of the wind, temperature degree of the air, the amount of rain, and water evaporation. A meteorological data model was generated and it was used to train the classifier. Based on their evaluation the study showed good performance in using these two algorithms for forecasting or predicting weather events and predictions of climate change in their area.

The work of Somu et al., 2020,[8] presents a deep learning framework kCNN-LSTM based on the following algorithms to KMeans clustering, Long Short Term Memory (LSTM) neural networks and Convolutional Neural

Networks (CNN) to provide accurate building energy consumption forecasts based the energy consumption data recorded at predefined intervals.

The main objective of the study of Farhate et al., 2018[9] was to use predictive analysis techniques of data mining to predict the amount of soil emissions of CO₂ induced by crop management in Brazilian sugarcane fields. Their approach showed high performance and accuracy in predicting CO₂ emissions and lower cost for computation using the Multilayer Perceptron classifier and the logistic regression Bagging classifier.

The Coronavirus disease was detected at the end of December 30, 2019, in a Chinese city named Wuhan, after the Chinese government announced an outbreak of the virus. On March 11, 2020, the World Health Organization declared the disease a global pandemic [10]. Studies results showed that there is an increase equal to 1% of emissions of CO₂ growth rate by the year 2019[11], The measurement showed that there is no increase in the percentage of emissions of carbon dioxide (CO₂) in late 2020, after COVID-19 [12]. Le Quéré et al., [13] in their work, they studied and estimated the daily change in CO₂ emissions and its implications during the COVID-19 confinement based on official data associate with the nature of energy recourses, daily activities, and policies. During the COVID-19 confinement and the government decisions, the percentage of the daily global CO₂ emissions decreased by -17% and fell to 83MtCO₂ (with a range of -11 to -25% for $\pm 1\sigma$) compared to the 100MtCO₂ released on an average day in 2019.

The size of the global level of CO₂ emissions reduced because most countries were under the lockdown. It is worth mentioning that this daily global decrease in carbon emissions is close or equal to half of the percentage resulting from daily global carbon emissions from surface transport.

Using of big data in climate change has limit applications. The paper of Hassani et al., 2019[14] investigates and summarizes the approaches of using the techniques of big data in climate change. The study focuses on promoting new scientific researches in climate change by using big data.

A data mining technique was used to study climate change results from vehicles by analyzing fuel consumption and passenger vehicle emissions [15], predict carbon prices [16], and forecast CO₂ emissions for China with consideration given to its population [17]. Another study used data mining to forecast the main influencing factors of CO₂ emissions is Grey Model (GM) [18]. Data mining used in low-carbon management, the discovery of evolving patterns of climate change, predict climate change impacts, remote-sensing, economic, technological, and management approaches to combat climate change, exploitation of trans-Arctic maritime transportation [19, 20].

While there is much research related to the literature of climate change, climate statistics or datasets and widely spread applications of data mining in health, business, law, education, recommendation, tourism as well as other areas, there is a lack of studies in climate change.

Data mining strategies for classification include analyzing the various attributes associated with different data types. Once we identify the main characteristics of these data types, we can classify related data. It is important for recognizing CO₂ emissions data that can be used for prediction [21].

Regression methods are useful in defining the essence of the relationship in a dataset between variables. In certain cases, these associations may be causal or merely correlate with others. Regression is a basic technique of the white box that simply shows how variables are related. Regression techniques used in aspects of forecasting and data modeling [21].

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Method

The study raises questions on how to apply data mining in climate change with a case study of CO₂ emissions in Italy, how to operate the process of assigning responsibility, if and how CO₂ emissions account for everyday life, and the wider moral and political implications of this allocation of government and individual responsibility.

The research consisted of four methodological steps:

- Literature review of current practical approaches using data mining in CO₂.
- Understand opportunities and challenges for CO₂ emissions reduction based on datasets to generate quantitative data.
- The analysis of data using Machine Learning (ML) algorithms to highlight key trends that are cross-referenced with the qualitative reflections.

The importance of research comes through its dealing with a contemporary and important topic, considering the world's interest in climate change. The framework requires the initiation and implementation of specific frameworks, based on the change and revise in human behavior that is the first cause of environmental problems. This framework follows a clear strategy consistent with the future, and with the needs of the present alike.

This study seeks to achieve a set of objectives, the most important are shows the key role that data mining plays in studying climate change to prompt future research, presents the different applications and case studies of using

data mining in the climate change. In this paper, a case study is presented to analyze the prediction and study of the percentage of carbon dioxide emissions in Italy using data mining techniques.

In the following sections, we focus on how to use data mining to analyze CO₂ emissions using coupled with classification and prediction techniques to extract and analyze statistical interrelationships in fields of CO₂ emissions in Italy.

Finally, the paper concludes how to bring significant implications for climate change based on predictive analysis, and patterns interpretation of CO₂ emissions, and enactment of responsibility.

3.2. Statistical Datasets

One of the ways data scientists or researchers can understand how natural systems react to climate change is by looking at the past. Recently, the availability of many reports and observations related to climate change, in addition to the increased availability of various data sets, gives climate change researchers new opportunities to use data mining techniques to provide new scientific insights.

The raw data used in this study is obtained from datasets uploaded to the server of the World Bank¹. The original dataset has seven variables or parameters, the response parameter CO₂ emissions is dependent variable, and the remaining 6 parameters are independent or explanatory variables (year, Solid Fuel, Liquid Fuel, Gas Fuel, Cement, Per Capita, and Bunker fuels) (Table 1). The datasets contain 1248 observations.

Table 1. Dependent and Independent variables used in the study (WEKA)

Variable name	Minimum	Maximum	Mean	StdDev
Solid Fuel	8	17368	7488.994	4778.887
Liquid Fuel	0	75482	21840.31	29555.807
Gas Fuel	0	44127	7779.026	13100.996
Cement	0	6503	1812.413	2255.59
Per Capita	0	2.22	0.641	0.855
Bunker fuels	0	7664	1781	2383.877
Total	8	129253	38920.761	46801.968

The datasets present CO₂ emissions in Italy for the period 1960 to 2014. The main characteristics of the datasets are available in electronic format like CSV files, it is a time series data, shows interesting patterns, and meeting the overall objectives of the study. A preprocessing of the datasets is required before using it with the WEKA tool. The raw data need to be formatted in a way compatible with WEKA [21].

3.3. Data Mining

Data mining approach enables us to make scientific discoveries, gain fundamental insights, discover new hidden knowledge, find new patterns or identify patterns of climatic relevance, associations, anomalies, and statistically significant structures or information in data [22]. Data mining is used for classification, clustering, and association of the different data types. It uses machine-learning algorithms. It consists of different phases for data manipulation starting with the data preparation model that includes the different processes for cleaning the data by removing noisy data and filling missing values, integrating data from the different digital resources by eliminating and reducing redundancy, then we select the interesting data for manipulation. Finally, we format and transform the data into other forms. The transformed data are the output of this data preparation model.

The second model is called Data Mining. This model includes different techniques and algorithms for classification, clustering, and association to search and identify interesting patterns in the data. The selected patterns then visualized in different ways to the user. Finally, data mining ends with an evaluation model where users can predict, validate, and interpret the results to confirm or prove some results or hypothesis.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Data mining tool WEKA used for analysis and prediction based on the CO₂ emission datasets. Data mining approaches can be used to generate new insights, to turn raw data into actionable insights, and find new trends. We used the Sequential Minimal Optimization regression (SMOreg) algorithm for time series for the analysis of

¹<https://data.worldbank.org/country/italy>

our data. The data were split into training and testing data to run WEKA on our data. In our study, 66% of the data used as training data and the remainder used as testing data. WEKA can manipulate data in different formats such as ARFF, CSV, and others. We used the CSV format for our data.

To analyze the various attributes associated with CO2 emissions datasets, we identify the main characteristics of these data types and classify related data. In this study, we used the SMOreg algorithm to recognize CO2 emissions patterns that can be used for prediction. Figure 1 shows CO2 Emissions in Italy in the period 1865-2014.

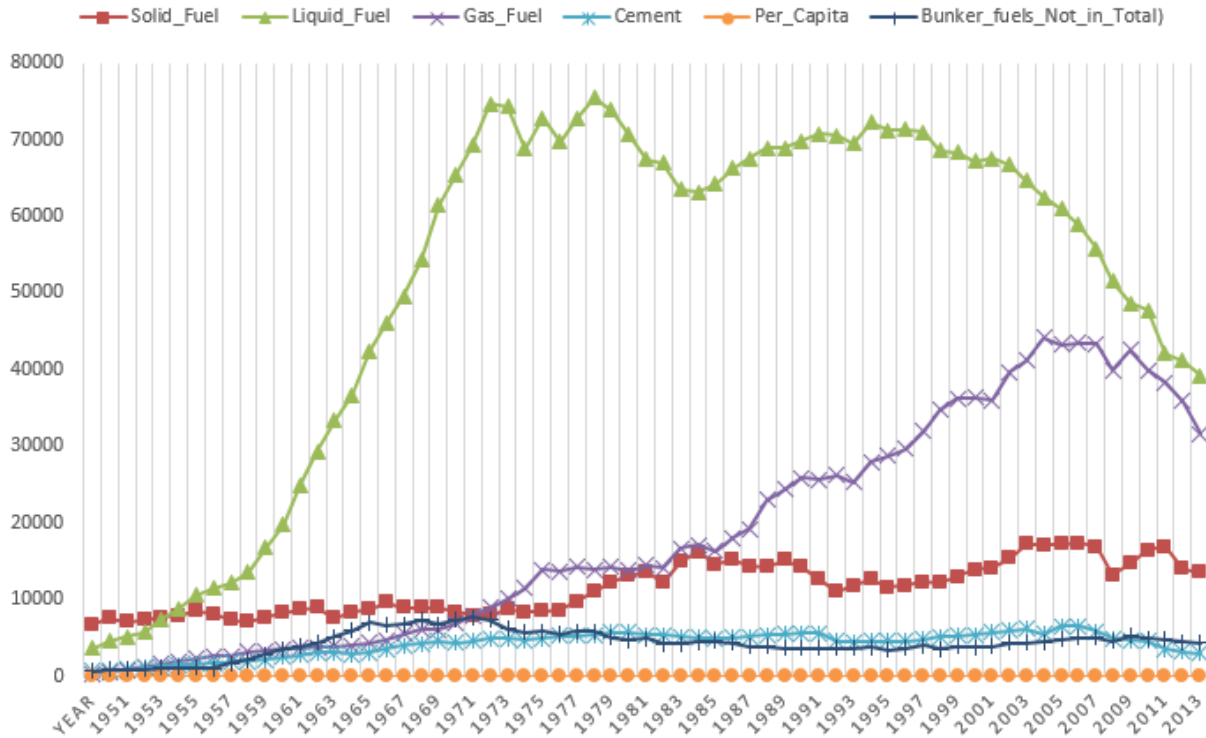


Figure 1.CO2 Emission by energy resources in Italy 1865-2014

In linear regression, the dependent variable is the predictor variable and the other independent variables help us in measuring and assessing the performance of the predictor variables. Linear regression is used to predict our dependent variable by evaluating and weighting all the independent variables in our datasets. As mentioned previously, the dependent variable is CO2 Emissions, and the independent variables are Liquid Fuel, Gas Fuel, Solid Fuel, Cement, Per Capita, and Bunker fuels.

Regression is different from classification in that classification places objects into pre-defined and clear classes while regression gives a numerical result. Therefore, we will analyze our data using WEKA to predict the weighting of the independent variables in the CO2 emission data set.

Based on the analysis and the results we got from WEKA, the average percentage contribution of CO2 emission is 56.8% for Liquid Fuel, 33.1% for Gas Fuel, 13.7% for Solid Fuel, 4.6% for Cement, 2.9% for Per Capita, 0.1% for Bunker fuels in Italy between 1860 -2014. The Liquid Fuel sector has had the highest rate of increase in CO2 emission starting from 1860 until 1995 with minor irregular in the percentage of emission of CO2 within these years. Then the percentage contribution of CO2 emission starts decreasing after 1995. This is true for Gas fuel compared to other resources. Gas fuel is the second highest source of the high percentage contribution of CO2 emission. In 2007, the percentage contribution of CO2 emission for Gas fuel and Cement starts decreasing too. The percentage contribution of CO2 emission for other resources is changing up and down. In the year 1978, Liquid Fuel surpassed the other resources as the leading contributor to CO2 emission and reached a peak of 56.8%. (Table 2) compares the result of running the SMOreg algorithm with a different value for the Complexity parameter C.

We run WEKA with different configurations for SMOreg based on the complexity parameter C. Table 2 shows the result of running SMOreg algorithm with two values for the parameter C=1 and 3. Referring to the results computed from WEKA (Table 3), we found that, the best accuracy of the prediction of CO2 emission by using SMOreg when C=3. We calculated Root Mean Squared Error measurement (RMSE) to choose the accurate configuration in the regression model.

Table 2. Results of SMOreg algorithm with different value for the complexity parameter C

Variable	Average Percentage Contribution Of CO2 Emission with	
	The complexity parameter C = 1	The complexity parameter C = 3
Liquid Fuel	56.8%	57.0%
Gas Fuel	33.1%	33.3%
Solid Fuel	13.7%	13.6%
Cement	4.6%	4.6%
Per Capita	2.9%	2.5%
Bunker fuels	0.1%	0.1%

Table 3. RMSE for SMOreg with C=1 and C=3

Shop floor	complexity parameter C = 1	complexity parameter C = 3
Correlation coefficient	1	
Mean absolute error	99.9999	88.8143
Root mean squared error	124.9488	115.9269
Relative absolute error	0.2317 %	0.2058 %
Root relative squared error	0.2572 %	0.2386 %

Root Mean Square Error (RMSE) allow us to estimate how much error there is between two timeseries data sets. In other words, it compares a predicted value and an observed or known value (equation (1)). The smaller an RMSE value, the closer predicted and observed values are.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{N}} \quad (1)$$

Where

i = variable, N =number of non-missing data points, xi = actual observation time series and $\hat{x}$ = estimated time series.

We used WEKA to evaluate the linear regression on our problem. We find that the linear regression for CO2 emissions can be predicted by the following formula equation (2):

$$Total = 1 * Solid_Fuel + 1 * Liquid_Fuel + 1 * Gas_Fuel + 1 * Cement + -0.0001 * Bunker_fuels + 0.1126 \quad (2)$$

The performance measurements for linear regression is presented in Table 4

Table 4. The performance measurements for linear regression

Measurements	Value
Correlation coefficient	1
Mean absolute error	0.3668
Root mean squared error	0.576
Relative absolute error	0.0008 %
Root relative squared error	0.0012 %

Let us look at the regression model (equation 2); we have the coefficients, our independent variables and then the offset. Therefore, what we can see is that each one of our attributes was included. Sometimes some of these will be dropped out. Therefore, the Bunker_fuels has a minus or negative sign, because of that it reflects negatively. It does not have a huge affect on total emissions of CO2. They are independent variables and they do not have any correlation or covariance with each other.

The result computed by WEKA for the Root Mean Squared Error (RMSE) of equal to 0.0012 %, which gives us a good performance of the prediction for the CO2 emissions since the value for RMSE < 0.5.

The result for the second algorithm Simple Linear Regression as follows (equation 3):

$$Linear\ regression\ on\ Per_Capita = 54502.11 * Per_Capita + 3993.7 \quad (3)$$

Table 5 presents the different performance measurements for simple linear regression

Table 5. The performance measurements for simple linear regression

Measurements	Value
Correlation coefficient	0.9956
Mean absolute error	3642.8606
Root mean squared error	462.0385
Relative absolute error	8.4397 %
Root relative squared erro	9.1855 %
Total Number of Instances	53

By comparing the results, it is clear that Linear Regression algorithm performance is better than the second algorithm Simple Linear Regression. Linear Regression algorithm gives us an amore accurate prediction for the CO2 emissions than the second algorithm based on the value of Root Mean Squared Error (RMSE). Table 6 gives a comparison between the different algorithms used.

Table 6. A comparison between the different regression algorithms based on RMSE%

Algorithm	Root Mean Squared Error %
SMOreg with parameter C = 1	114.9488
SMOreg with parameter C = 3	115.9269
Linear Regression algorithm	0.576
Simple Linear Regression	462.0385

Figure 1 shows CO2 emissions in Italy for the period from 1865 to 2014. The chart presents the contribution of each fuel source to the CO2 emissions in Italy. This chart provides a visual representation of annual CO2 emissions for the following energy recourses: Solid Fuel, Liquid Fuel, Gas Fuel, Cement, Per Capita, or Bunker fuels. Italy's energy mix has a significant impact on the low emission of carbon dioxide in the atmosphere and changes as a country moves to or from a specific energy source. [23].

In 1997, Italy ratified and committed to the Kyoto Protocol for GHG emissions. Italy followed legal policies and conventions to decrease greenhouse gas (GHG) emissions over the period 2008-2012. By adopting Kyoto Protocol, and a national climate change policy focused on climate change in accordance with the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Italy reduced GHG level emissions by 6.5% below 1990 levels. However, Italian CO2 emissions have increased by 12.3% since 1990, due to the advanced use of fossil fuels in the energy sector (figure 2) [1]. This increase came from transport and power generation sector. In these sectors, it is not easy to apply policies for CO2 emissions.CO2 emission directions are affected by different energy resources and non-energy activities such as agricultural and waste sector.

In Italy, mobility demand is growing constantly. Italy is distinguished by having the largest number of vehicles per capita, and transportation mainly depends on private vehicles and trucks that consume fossil fuels, especially petroleum products. Energy generation reports show that the residential sector constitutes an additional energy consumption in Italy, especially from intensive use of air conditioning. To take advantage of modern technology, flexibility and complexity in manufacturing processes, the industrial sector needs radical changes in production patterns, which require additional energy. These new methods and technologies require higher electricity consumption, which leads to a strong increase in total final consumption and the need for additional energy generation [1]. These may explain the increase of CO2 emission between 1990 and 2004.

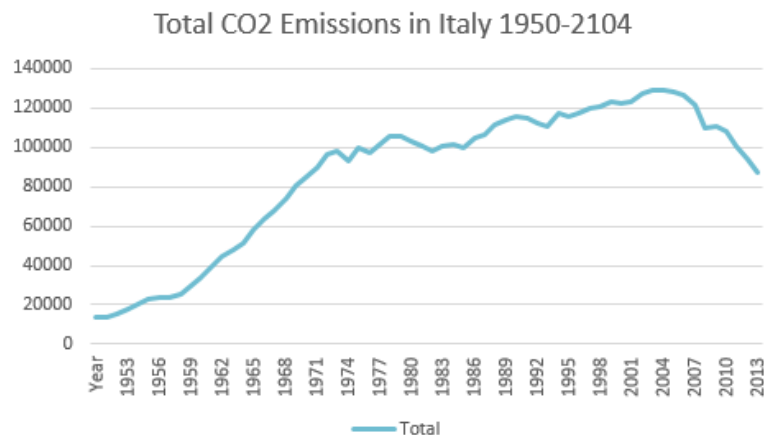


Figure 2. Total CO2 Emission in Italy 1865-2014

Furthermore, the chart shows the breakdown of annual CO₂ emissions in Italy and the change in CO₂ emissions in 2004 (figure 2). It is greatly affected by Italian energy mix, and changes as Italy government moves to or from a given source of energy.

With regard to air pollution and climate change, Italy is pressing for measures to reduce the emissions of black carbon, especially in the transport sector. Italy has co-funded approximately 190 initiatives with a cumulative cost of EUR 195 million through the Sustainable Mobility Fund. Italy has consistently reduced pollution in the last two decades [23, 24]. For example, in the transport sector, Italy adopted different policies and measures to reduce CO₂ emission as the promotion of hybrid vehicles or low or free emissions CO₂, new traffic rules and regulations, bikes, and motorcycle mobility [1].

According to the OECD report, Italy will look to integrate green initiatives into its economic policies [25, 26]. These initiatives may include “greening” the tax code, expanding environment-related markets and green trade policies, promoting eco-innovation and investing in green technology [24, 27].

Italy has supported higher targets for recycling and progress towards the full removal of EU landfills, green job development and tighter regulation of medium-sized combustion plant emissions [28].

Italy has made a big step toward promoting renewable energy technologies through its recent policies and financial incentives. Italy showed outstanding and remarkable evolution in the renewable energy sector. The green energy incentive scheme in Italy was highly successful and led to a 72 percent reduction in the cost of photovoltaic systems from 2008 to 2013 [24].

The COVID-19 pandemic has led to a major drop in air pollution (Figure 3). Satellite images shows that dense cluster of smoke from factories tends to be trapped against the Alps Mountains at the end of the Po Valley, making this one of the pollution hotspots of Western Europe. CO₂ emissions levels have decreased in Milan and other parts of northern Italy since the country lockdown on ninth of March 2020 [26, 29].

It is worth to mention here that, Italy is the first country to incorporate climate change and sustainable development into its national curriculum. Italian schools will spend almost one hour a week debating the problems of climate change. Therefore, Italy becomes first country to require climate change studies in schools [1].

Carbon dioxide emissions from the energy sector are severely affected by the level of energy consumption through energy supply, industry, manufacturing, transportation, higher education, residential, and families (households) and non-energy sector as agriculture [23]. Comparing the analysis of the actual data of CO₂ emissions in Italy with the predictive model of data mining using WEKA, the results of WEKA validate and prove the accuracy of the outcome of the prediction model.



Figure 3. The changes over northern Italy (Source Sentinel-5P, 1 Feb–17 Mar)

5. CONCLUSION

In this study, we used SMOREg data mining algorithm as a classification technique with different configurations for the Complexity parameter C, then measured the RMSE of each case to decide which one is better in the performance for the implementation. SMOREg used to predict the potential parameters that affect the percentage of CO₂ emissions in Italy.

We used two algorithms to find the prediction model. These algorithms are Linear Regression and Simple Linear Regression. The results showed that Linear Regression algorithm is the more accurate model for prediction based on the value of RMSE.

Based on historical data and the quantitative approach using WEKA, the study presented a qualitative analysis to discuss the trends in CO₂ emissions in Italy. The study shows the percentage distribution of CO₂ emissions for

energy resources is unchanged and CO₂ emissions are due to energy consumption. In terms of total emissions, the share of various energy resources remains roughly unchanged during the period 1951-2014 and so on. The liquid fuel is the largest contributor to national total GHG emissions 56.8%.

The identification of a consistent legislative framework that enhances policy collaboration at national and local levels is a crucial factor in assessing and determination of success of the effectiveness of potential efforts to reduce pollution.

This study focuses on carbon dioxide (CO₂) emissions in Italy, the most powerful greenhouse gas produce or come from burning fossil fuel, manufacturing, industry, transportation. Other emissions from agriculture, changes in land use, deforestation of agricultural land, and forestry change have a great impact too. It is clear that, CO₂ is not the only greenhouse gas that drives climate change globally.

In discussions on greenhouse gas (GHG) and climate change globally other recourses, such as methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), ozone (O₃), fluorinated gases, and trace gases have contributed greatly to climate change to date and maybe an interesting topic for future work.

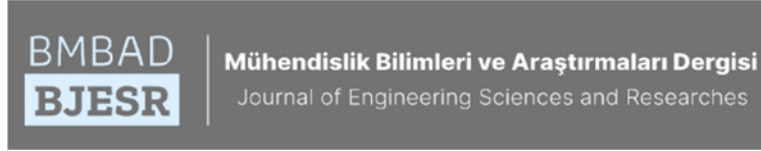
Statement of Conflict of Interest: Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions: The contribution of the authors is equal

REFERENCES

- [1] Italian Report on Demonstrable Progress under Article 3.2 of The Kyoto Protocol (2018), United Nations Climate Change report, Feb. 2018. (61 pages). Access <https://unfccc.int/resource/docs/dpr/ital.pdf>
- [2] Proposal for a Council Decision concerning the approval, on behalf of the European Community (2002), of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfilment of commitments thereunder /* COM/2001/0579 final - CNS 2001/0248 */, Official Journal 075 E , P. 0017 - 0032, March 2002 (10 pages).
- [3] K.I. Dervis (2007), Devastating for the world's poor: climate change threatens the development gains already, UN Chronicle, Volume: 44 Issue: 2 Page: 27, June 2007 (4 pages).
- [4] J. Blois, P. Zarnetske, M. Fitzpatrick and S. Finnegan (2013), "Climate Change and the Past, Present and Future of Biotic Interactions", Science 2ed issue, August 2013 (6 pages).
- [5] E. Massetti; P. Simona, Z. Davide, (2007). "National through to local climate policy in Italy". J. Integr. Environ. Sci., 4(3), 149–158. (11 pages)
- [6] J. Kwangbok; H. Taehoon; K. Jimin; L. Jaewook, (2020). A data-driven approach for establishing a CO₂ emission benchmark for a multi-family housing complex using data mining techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 110497–, 2020 (29 pages).
- [7] S. Jeslet and S Jeevanandham. (2015), CLIMATE CHANGE ANALYSIS USING DATA MINING TECHNIQUES, IJARSE, Vol. No.4, Special Issue (03), March 2015 (8 pages).
- [8] N. Somu, M. R. G.Raman, .&K. Ramamritham (2021). A deep learning framework for building energy consumption forecast. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110591, 2021 (21 pages).
- [9] CVV Farhate, ZMd Souza, O. SRdM, T. RLM, C. JLN (2018), Use of data mining techniques to classify soil CO₂ emission induced by crop management in sugarcane field. PLoS ONE 13(3): e0193537, 2018 (18 pages).
- [10] Report of the WHO–China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) (2020), (40 pages) [https://www.who.int/publications/i/item/report-of-the-who-china-joint-mission-on-coronavirus-disease-2019-\(covid-19\)](https://www.who.int/publications/i/item/report-of-the-who-china-joint-mission-on-coronavirus-disease-2019-(covid-19))
- [11] .P. Friedlingstein, W. J. Matthew, O'S. Michael, M. A. Robbie, et al. (2019), Global Carbon Budget 2019 (2019). Earth Syst. Sci. Data 11, 1783–1838, 2019 (15 pages).
- [12] G.P. Peters, R.M. Andrew, J.G. Canadell, P. Friedlingstein, R. B. Jackson, J. I. Korsbakken, C. Le Quéré & A. Peregon (2020), Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies. Nat. Clim. Change 10, 3–6 (3 pages).
- [13] C. Le Quéré, R. Jackson, M. Jones, A. Smith, S. Abernethy, R. Andrew, A. De-Gol, Y. Shan, J. Canadell, , P. Friedlingstein, F. Creutzig, & G. Peters (2020). Supplementary data to: Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement (Version 1.2). Global Carbon Project (8 pages). <https://doi.org/10.18160/RQDW-BTJU>
- [14] H. Hassani, X. Huang, and E. Silva (2019), Big Data and Climate Change, Big Data Cogn. Comput., 3, 12, 2019 (17 pages).
- [15] S. Deniz, H. Gokcen, and G. Nakhaeizadeh (2016), Application of Data Mining Methods For Analyzing of The Fuel Consumption And Emission Levels, International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology (IJESRT), 5(10): October 2016 (13 pages).
- [16] B. Zhu, Y. Wei (2013). Carbon price forecasting with a novel hybrid ARIMA and least squares support

- vector machines methodology. *Omega*, 41(3), 517–524, 2013 (8 pages)..
- [17] S. Dai, D. Niu, & Y. Han (2018). Forecasting of energy-related CO2 emissions in China based on GM (1, 1) and least squares support vector machine optimized by modified shuffled frog leaping algorithm for sustainability. *Sustainability*, 10(4), 958, 2018 (17 pages).
- [18] F. Ye, X. Xie, L. Zhang, & X. Hu, (2018), “An improved grey model and scenario analysis for carbon intensity forecasting in the Pearl River delta region of china”, *Energies*, 11(1), 91, 2018 (17 pages).
- [19] Z. Zhang, and J. Li (2020), “Big Data mining For Climate Change”, Elsevier, 2020 (344 pages).
- [20] V. Lakshmanan, E. Gilleland, A. McGovern, & M. Tingley (2015), *Machine Learning and Data Mining Approaches to Climate Science*, Proceedings of the 4th International Workshop on Climate Informatics. Springer, 2015 (243 pages).
- [21] J. Brownlee (2016), "Machine Learning Mastery With Weka Analyze Data, Develop Models and Work Through Projects", 2016 Jason Brownlee, 2016 (248 pages).
- [22] Y. Abuzir, & S. Abuzir (2020), Data Mining Techniques for Prediction of Concrete Compressive Strength (CCS), *Palestinian Journal of Technology and Applied Sciences (PJTAS)*, No 3, 2020 (16 pages).
- [23] S. Agarwal, B. Boulle, Y. Briand et al. (2017), *Brown to Green: The G20 Transition to A Low-Carbon Economy, Italy Country Facts 2017, Climate Transparency 2017* (36 pages). <http://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2017>
- [24] S. Brett (2015), *How Clean is Your Country?*, Italy: Environmental Issues, Policies and Clean Technology (azocleantech.com), Jun 11 2015 (4 pages). <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=536>
- [25] M. Montini, *Italian Policies and Measures to Respond to Climate Change* (February 2000). SSRN Electronic Journal, 2000 (17 pages). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=235084>
- [26] J. Watts, and N. Kommenda (2020), *Coronavirus pandemic leading to huge drop in air pollution*, The Guardian, march 2020 (4 pages). <https://www.theguardian.com/environment/2020/mar/23/coronavirus-pandemic-leading-to-huge-drop-in-air-pollution>.
- [27] E. Massetti, P. Simona, D. Zanoni (2007). National through to local climate policy in Italy. *Environmental Sciences*, 4(3), 149–158, 2007 (9 pages).
- [28] Italy's Action Plan On CO2 Emissions Reduction(2012) , Ente Nazionale L'Aviazione Civile (ENAC), June, 2012. (73 pages), Access https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ActionPlan/Italy_AP_En.pdf
- [29] B. Rugani and D. Caro, (2020). Impact of COVID-19 outbreak measures of lockdown on the Italian Carbon Footprint. *Sci. Total Environ*, 737(), 1 October 2020, 139806 (14 pages).



Keban Magmatik Kayaçları'nın Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri (Keban-Elazığ)

Petrographic and Geochemical Properties of the Keban Magmatic Rocks (Keban-Elazığ)

¹Mustafa Eren RİZELİ , ²Abdullah SAR , ³Mehmet Ali ERTÜRK

^{1,2,3}Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ, Türkiye

¹m.erenrizeli@gmail.com, ²asar@firat.edu.tr, ³erturkmac@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 20 February 2021

Accepted : 13 March 2021

Keywords:

Keban Magmatic Rocks,
Petrography, Geochemistry,
Keban, Elazığ

ABSTRACT

In this study, the petrographic and geochemical characteristics of Late Cretaceous-Middle Eocene Keban magmatic rocks were examined in Keban-Elazığ. Apart from the Keban Magmatic rocks, the other units outcropping around the region are the Late Devonian-Late Triassic Keban Metamorphics, Paleogene-Neogene sedimentary units and Plio-Quaternary alluviums. The investigated rocks are represented by syenite porphyry and quartz-monzonites belonging to Keban Magmatic rocks, which cut the Keban metamorphic rocks. The Keban Magmatic rocks consist of the main minerals are K-feldspar (mega-phenocrystal), plagioclase, amphibole, biotite and quartz minerals, which shows porphyric, porphyric holocrystalline, poikilitic texture in general. All the samples are shoshonitic in composition and fall into the A-type granitoid region. The tectonic environment of the investigated rocks is post-collisional granites.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 20 Şubat 2021

Kabul : 13 Mart 2021

Anahtar Kelimeler:

Keban Magmatik Kayaçları,
Petrografi, Jeokimya, Keban,
Elazığ

ÖZET

Bu çalışmada, Keban-Elazığ bölgesindeki Geç Kretase-Orta Eosen yaşlı Keban Magmatik kayaçlarının petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışılan bölgede Keban Magmatik Kayaçları dışında Geç Devoniyen-Geç Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri, Paleosen-Neojen sedimanter birimleri ve Plio-Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeylemektedir. Çalışmanın konusunu oluşturan kayaçlar Keban metamorfik kayaçlarını kesen Keban Magmatik kayaçlarına ait siyenit ve kuvars-monzonitlerle temsil edilmektedir. İncelenen kayaçlar genel olarak porfirik, porfirik holokristalen, poiklitik doku özelliği gösteren K-feldispat (mega-fenokristal), plajiyoklas, amfibol, biyotit ve kuvars mineralleri ana mineral içeriğini oluşturur. İncelenen tüm örnekler şoşonitik karakterli olup A-tipi granitoid alanlarına düşmektedir. İncelenen kayaçların tektonik ortamı olarak çarpışma sonrası granitleri bölgesi önerilmektedir.

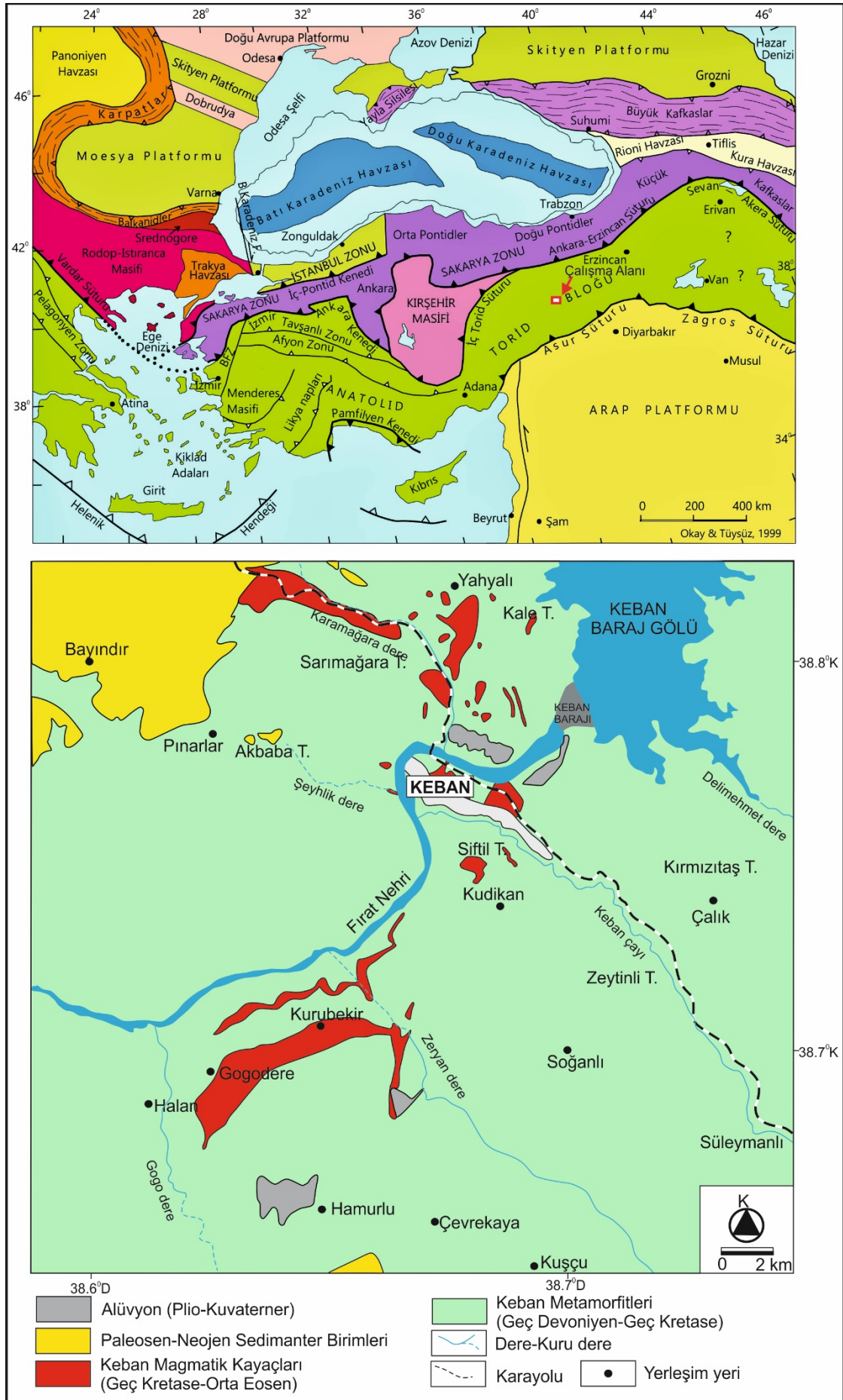
© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

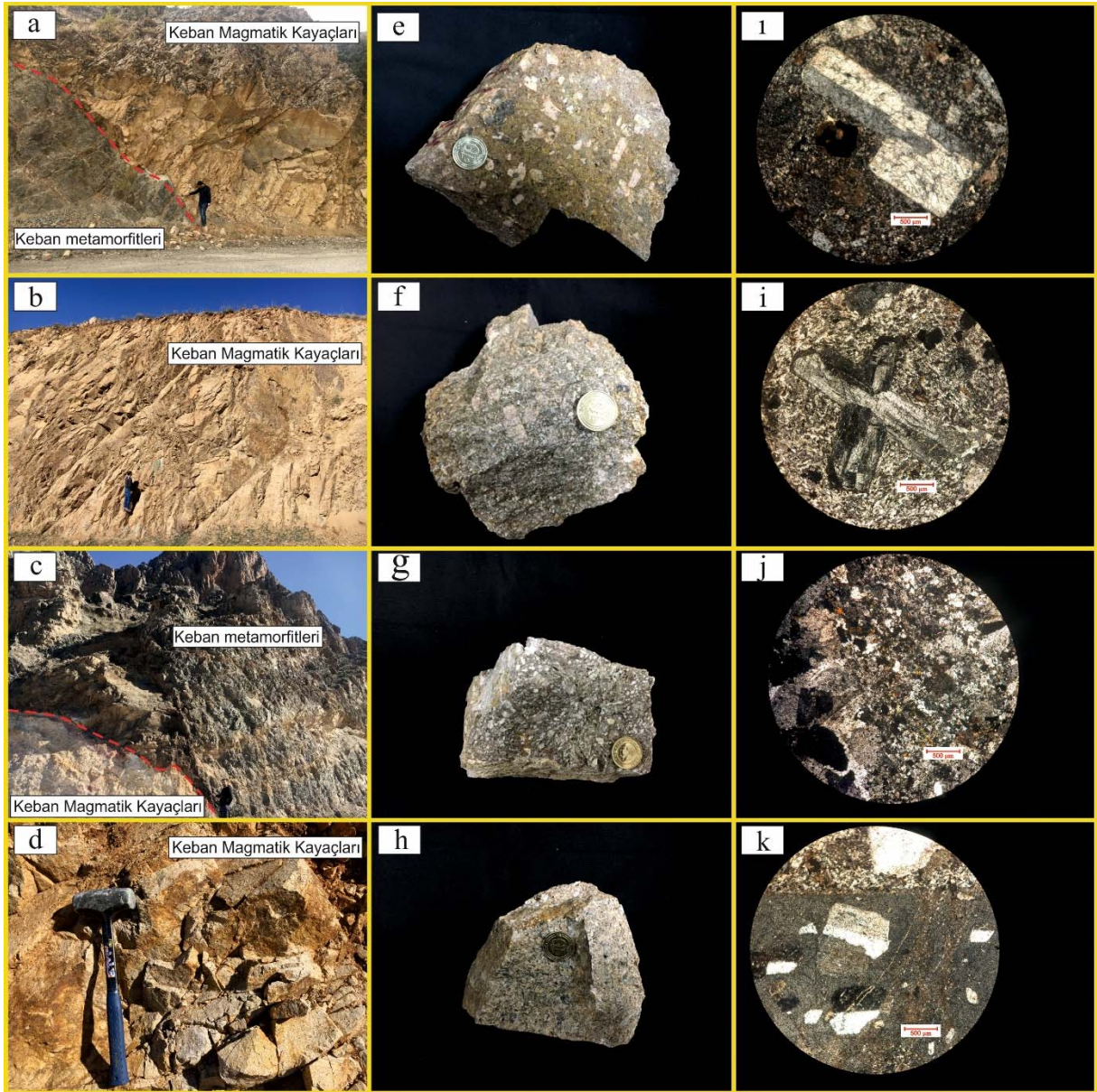
Magmatik kayaçlar, petrojenetik evrim ve farklı jeodinamik süreçleri değerlendirmek için anahtar bilgiler sağladığı için yoğun bir şekilde incelenmiştir. Kıtasal kabuğun ana bileşenini oluşturan granitoidlerin kökeninin araştırılması, kıtasal kabuğun evrimini ve gelişimi ile ilgili jeodinamik süreçleri anlamada oldukça önemlidir. Granitoidler, genellikle mineral toplulukları, petrografik, jeokimyasal ve izotopik özelliklerine göre S-, I-, M- ve A-tiplerine ayrılırlar [1]–[3]. A-tipi granitler magmatik kökenli özgün bir kayaç grubudur [3–4]. A-tipi granit terimi, yüksek $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ içeriği, yüksek Ga / Al oranı, alkalice zengin ve göreceli olarak zengin Zr, Hf, Ta ve Nb içeriklerine sahip kayaçlar olarak tanımlanmıştır [3–4]. Bu kayaçların anorojenik veya çarpışma sonrası genişlemeli tektonik rejimde farklı süreçlerden ve kaynaklardan türedikleri belirlenmiştir [2–4]. İnceleme konusunu oluşturan Keban Magmatik kayaçları, Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı içerisinde konumlanmaktadır. Bu kuşak yitim ve kıta-kıta çarpışma bölgesi ortamlarını incelemek için, Alp-Himalaya orojenik sistemi boyunca en önemli segmentlerden biridir. Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı, Geç Kretase'de Neotetis okyanus litosferinin güney kolunun kuzey yönlü yitiminin bir sonucu olarak oluşmuştur [5]. Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nda Geç Kretase ve sonrası jeotektonik olayların aydınlatılmasına imkân sağlayacak olan A-tipi granitoidler, daha önce bu bölgede tanımlanmamış ya da çok az bilinmektedir (Şekil 1). Çalışma alanı içerisinde bulunan Keban-Batı Fırat bölgesinde Cu-Mo-F-Pb-Zn gibi metalik maden yatakları esas olarak Doğu Toros orojenik kuşağındaki Geç Devoniyen-Geç Triyas yaşlı metamorfik kayaçlar ve bu kayaçları kesmiş olan Geç Kretase-Orta Eosen yaşlı magmatik kayaçların çevresinde meydana gelmiştir. Bu orojenik kuşakta gelişen skarn oluşumunun, kalkerli kayaçlara siyenitik karakterli kayaçların sokulumuyla ilişkili olduğu öne sürülmüştür [6]–[10]. Bölgede yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu metalik maden yataklarının kökensel ilişkilerini ortaya koyacak nitelikte olduğu için, bölgede yüzeyleyen magmatik kayaçların petrografik ve jeokimyasal özellikleri ortaya koymak için yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışma ile bölgede birçok araştırmacı tarafından incelenen [11]–[15] Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri / Elazığ Magmatik Kompleksi / Baskil Granitoidleri / Yüksekova Karmaşığı'na ait I-tipi magmatik kayaçlardan farklı olarak, Keban bölgesinde yüzeyleyen A-tipi şosonitik karakterli magmatik kayaçların kaynak karakteristikleri ve jeodinamik evrimlerini ortaya konulması amacıyla petrografi ve jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır.

2. JEOLÖJİK KONUM

Çalışma alanının en yaşlı birimi olan düşük-orta dereceli metamorfizmaya uğramış olan Keban Metamorfitleri ilk defa Özgül [16] tarafından Karbonifer-Triyas yaşı verilerek adlandırılmıştır. Kipman [17]'na göre Permo-Karbonifer yaşlı metamorfik birim, alttan üste doğru, kalkışist, gri renkli rekristalize kireçtaşları ile serisit-klorit şistlerden meydana gelmektedir. Kaya [18] çalışmasında birime Keban Metamorfitleri'nin orta seviyelerini temsil eden dolomitik-kristalize kireçtaşı üyesinin tabaka üst yüzeylerinde tespit ettiği iz fosillere dayanarak Geç Devoniyen-Geç Kretase yaşını vermiş ve aynı yaş aralığındaki Bolkar Dağı Birliği ile deneştirmiştir. Bölgede yüzeyleyen diğer birim ise siyenit ve kuvars-monzonitlerden oluşan Keban Magmatik Kayaçları, metamorfik kayaçların kırık ve çatlak sistemlerine, tabaka ve şistozite düzlemlerine, uzunluğu yer yer onlarca metreyi bulan dayklar şeklinde yerleşmiştir (Şekil 2a, b, c, d). Yazgan [5] tarafından Keban Magmatik kayaçlarına ait mikrosiyenitlerden ayıklanan sanidin kristalleri K/Ar yöntemi ile yaşlandırılmış olup 76 ± 2.5 , 78 ± 2.5 my. yaşlarını elde edilmiştir. Kuşçu [8] Orta-Doğu Anadolu'daki magmatizmaya bağlı olarak gelişen skarn metalojenisi cevherleşmelerini incelediği çalışmasında, siyenit ve siyenit-porfir olarak tanımlanan kayaçların U-Pb zirkon yaşlandırmasına göre 74.8 ± 0.5 ve 74.1 ± 0.4 my. yaşlarını ve bu kayaçlardan ayıklanan biyotit kristallerinin Ar-Ar yaşlandırmasına göre 74.08 ± 0.39 my. yaşlarını elde etmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı tektonik birlikler haritası [19], çalışma alanı jeoloji haritası (Kaya [18]'dan sadeleştirilmiştir).



Şekil 2. İncelenen örneklerin, arazi ilişkileri (a, b, c, d), makroskobik görüntüleri (e, f, g, h) ve ince kesit görüntüleri (i, j, k).

3. MATERYAL VE METOT

Arazi çalışmaları ile birimlerin birbiriyle olan stratigrafik ilişkileri incelenmiş, petrografik ve jeokimyasal incelemeler için örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Alınan kayaç örneklerinin petrografik amaçlı ince kesitleri Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvar'ında hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kesitler polarizan mikroskop altında incelenerek kayaçların mineralojik, petrografik ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Petrografi incelemelerine göre en az altere olduğu düşünülen 11 örnek üzerinde ICP-OES ve ICP-MS yöntemi kullanılarak tüm kayaç analizleri Bureau Veritas Minerals Laboratuvar'ında (Vancouver-Kanada) yaptırılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Petrografi

Petrografik incelemelerine göre bölgede yüzeyleyen kayaçların türü, ana mineral parajenezleri, dokusal özellikleri ve örnek alım koordinatları Tablo 1'de verilmiştir. İncelenen magmatikler siyenit ve kuvars monzonit olmak üzere iki adet kayaç türüne ayrılmıştır. İncelenen kayaçların normatif mineral bileşimleri petrografik verilerle uyumluluk göstermektedir (Tablo 2; Şekil 3). Siyenitler, porfirik ve poikilitik doku özelliği gösterirler (Şekil 2i, j). Genellikle pembemsi renklerde görülmektedirler. Bileşimsel olarak % 60 K-feldispat (ortoklas-sanidin), % 30 plajiyoklas ve % 10 amfibol ve biyotit, ikincil olarak kalsit, serisit, klorit ve epidot

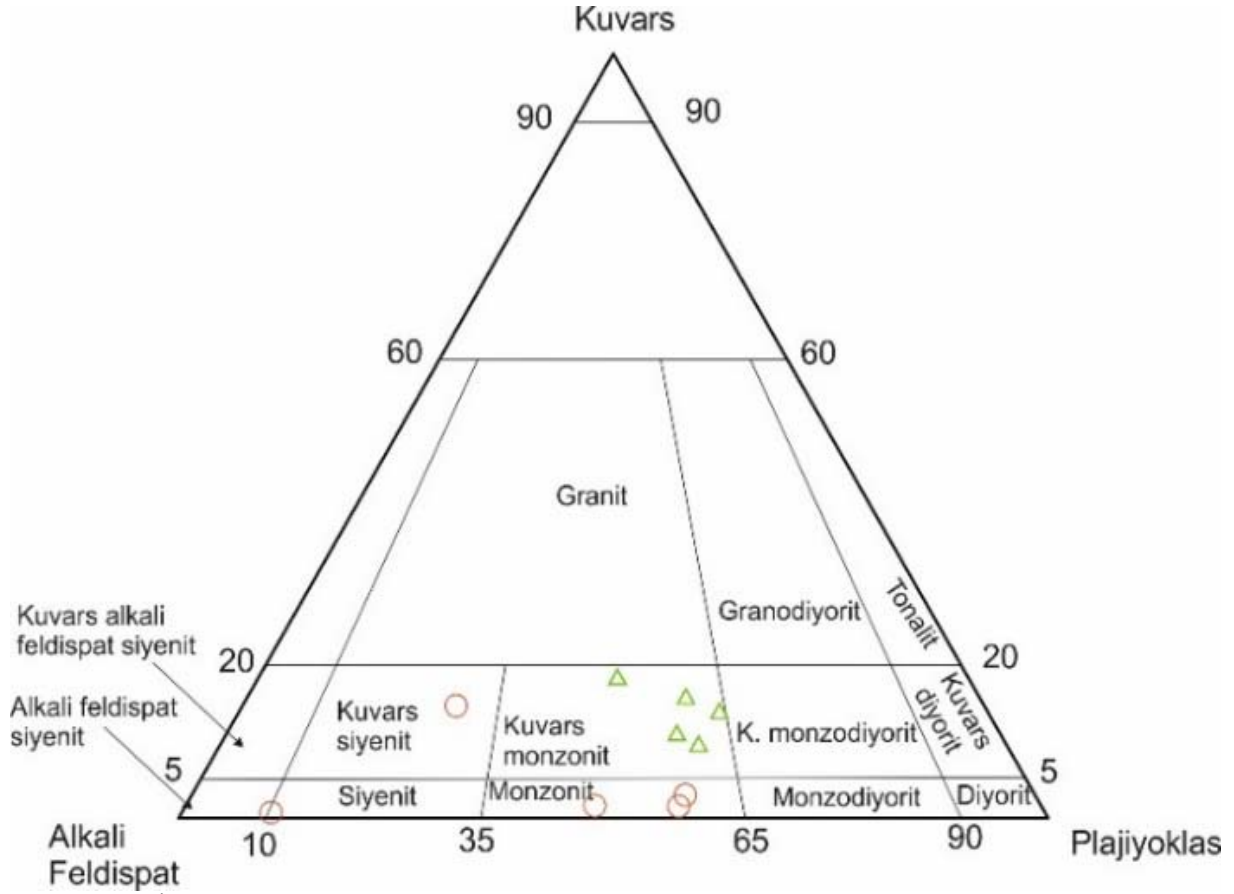
minerallerinden oluşmaktadırlar. K-feldispatlar porfirik olarak yer yer 1-2 cm boyutlarında çok iri megafenokristaller halinde görülmektedir (Şekil 2i). Albit, albit+karlsbad ve polisentetik ikizlenmeler gösteren plajiyoklaslar, özşekilsiz veya yarı özşekilli kristaller halinde olup zonlanma göstermektedir. Bazı kristallerde alterasyon oranı yüksek olmasından dolayı ikiz lamelleri tam olarak görülmemektedir. Kuvars monzonitler ise orta, iri tanelidir ve pembemsi renklerde görülmektedir. Bileşimde % 7 kuvars, % 50 plajiyoklas ve % 43 oranında K-feldispattan (ortoklas-sanidin) oluşmaktadır. Poiklitik doku özelliği gösteren K-feldispat fenokristalleri genel olarak plajiyoklas ve K-feldispat kapantıları içermektedir (Şekil 2k). Plajiyoklaslar genellikle andezindir ve zonlanma göstermezler. Dalgalı sönme gösteren kuvarslar özşekilsiz kristaller halindedir. Her iki kayaç türünde aksesuar minerali olarak sfen, apatit, zirkon, granat, pirit, florit ve opak minerallere rastlanmıştır. Kayaçlarda serisitleşme ve kloritleşme yaygın olarak gözlenir.

Tablo 1. İncelenen kayaçların türü, ana mineral parajenezleri, dokusu ve koordinatları, (K-fel: K feldispat, K: Kuvars, Pl: Plajiyoklas, Bi: Biyotit, Amf: Amfibol, A: Porfirik, B: Poiklitik, C: Porfirik holokristalen)

Örnek	Kayaç Türü	Mineral	Kayaç Dokusu	Koordinat
KN1	Siyenit	K-fel, Pl, Bi,Amf	A,B	476855 K 4296416 D
KN2b	Siyenit	K-fel, Pl, Bi,Amf	A,B	477392 K 4294137 D
KN4	Siyenit	K-fel, Pl, Bi,Amf	A,B	476256 K 4295820 D
KN9	Siyenit	K-fel, Pl, Bi	A,B	478202 K 4293871 D
KN13	Siyenit	K-fel, Pl, Bi,Amf	A,B	476700 K 4295600 D
KN5	Kuvars monzonit	K-fel, K, Pl, Bi	B,C	475776 K 4294987 D
KN8	Kuvars monzonit	K-fel, K, Pl, Bi	B,C	477236 K 4292932 D
KN16	Kuvars monzonit	K-fel, K, Pl, Bi,Amf	C	473478 K 4297787 D
KN17	Kuvars monzonit	K-fel, K, Pl, Bi	C	476487 K 4292858 D
KN18	Kuvars monzonit	K-fel, K, Pl, Bi,Amf	C	477236 K 4292363 D

Tablo 2. Keban Magmatik kayaçlarına ait örneklerin normatif mineral içerikleri

Örnek	KN1	KN2b	KN4	KN9	KN13	KN5	KN8	KN16	KN17	KN18
Kayaç Türü	Siyenit	Siyenit	Siyenit	Siyenit	Siyenit	K.Monz.	K.Monz.	K.Monz.	K.Monz.	K.Monz.
Kuvars	1.41	13.52	1.47	0.70	2.72	8.52	9.75	12.35	16.12	13.53
Korund	-	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortaklas	36.88	55.73	45.68	79.31	35.64	31.97	33.33	27.72	35.75	29.25
Albit	41.72	13.96	33.76	6.77	41.63	38.33	34.61	38.59	24.45	27.67
Anortit	8.45	8.57	8.16	2.37	8.70	11.30	11.81	11.03	12.13	16.02
Nefelin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diyopsit	4.22	-	4.11	1.54	4.44	3.19	3.34	2.03	3.34	3.92
Hipersten	0.66	2.56	-	-	-	0.74	1.18	2.02	0.80	0.77
Manyetit	4.12	1.99	3.12	1.71	4.12	3.61	3.10	4.61	3.55	3.90
İlmenit	0.51	0.70	0.42	0.47	0.51	0.51	0.47	0.63	0.53	0.47
Apatit	0.12	0.60	0.12	0.16	0.14	0.19	0.19	0.25	0.25	0.19
Vollastonit	-	-	1.66	4.82	1.03	-	-	-	-	-



Şekil 3. İncelenen kayaçların normatif mineral içeriklerine göre QAP diyagramındaki dağılımları [20].

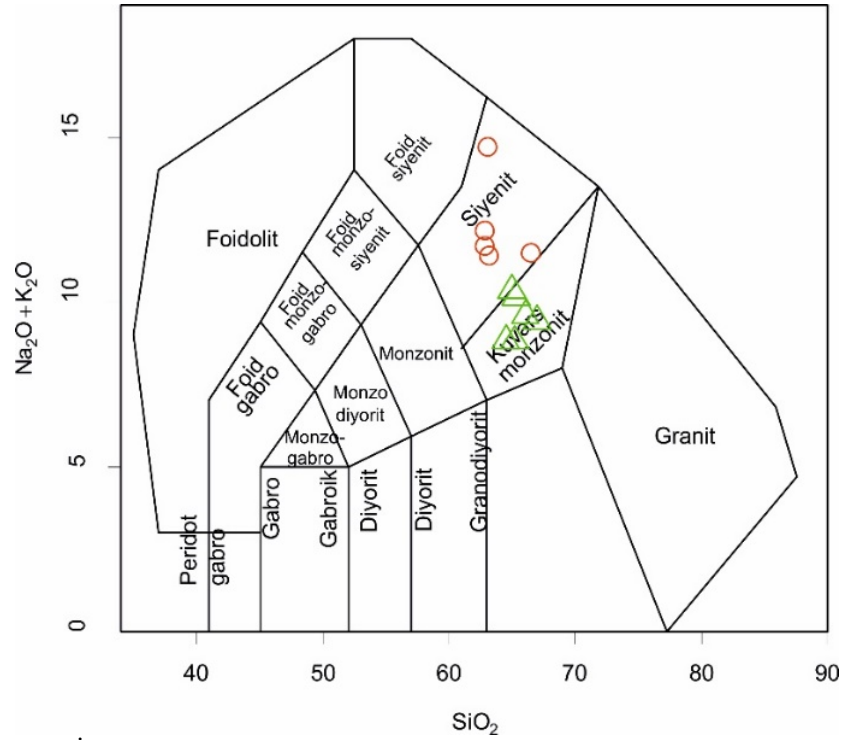
4.2. Jeokimya

Keban (Elazığ) bölgesinde Keban Magmatik kayaçlarına ait 10 örnek üzerinde tüm kayaç analizleri yaptırılmıştır (Tablo 3). Bazı analiz sonuçlarına göre SiO_2 (% 60.09 – 64.37), Al_2O_3 (%15.75 – 17.96), Fe_2O_3 (% 1.18 – 5.30), MgO (% 0.09 – 0.92), CaO (% 2.07 – 4.27), Na_2O (% 0.80 – 4.93), K_2O (% 4.69 – 13.42), TiO_2 (% 0.22 – 0.37), P_2O_5 (% 0.05 – 0.26), $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (% 8.22 – 14.22), Zr (200.9 – 665.4 ppm), Hf (4.6 – 18.4 ppm), Ta (1.5 – 2.7 ppm), Nb (24 – 56 ppm) değerleri arasında değişmektedir. İncelenen kayaçlar Middlemost [21] tarafından önerilen sınıflama diyagramında siyenit ve kuvars monzonit alanlarına düşmektedir (Şekil 4). İncelenen örneklerin ilksel mantoya ve kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramlarında, büyük iyon yarıçaplı elementler (BİYE) ile hafif nadir toprak elementleri (HNTE), yüksek alan enerjili elementlere (YAEE) ve ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre daha fazla zenginleşme göstermektedir (Şekil 5). İncelenen örnekler tektonik ayrım diyagramında A-tipi granitoid alanına düşmektedir (Şekil 6). K_2O - SiO_2 değişim diyagramlarında incelenen örnekler şošonitik karaktere sahiptir (Şekil 7). İncelenen örneklerin jeotektonik ortamı için çarpışma sonrası granitler bölgesi önerilmektedir (Şekil 8). İncelenen örnekler tektonik ayrım diyagramında orojenez sonrası alanda yer almaktadır (Şekil 9). Arazi, petrografi ve jeokimyasal çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde Keban Magmatik Kayaçları'nın çarpışma sonrası gelişmiş magmatizma niteliğinde olduğu düşünülmektedir.

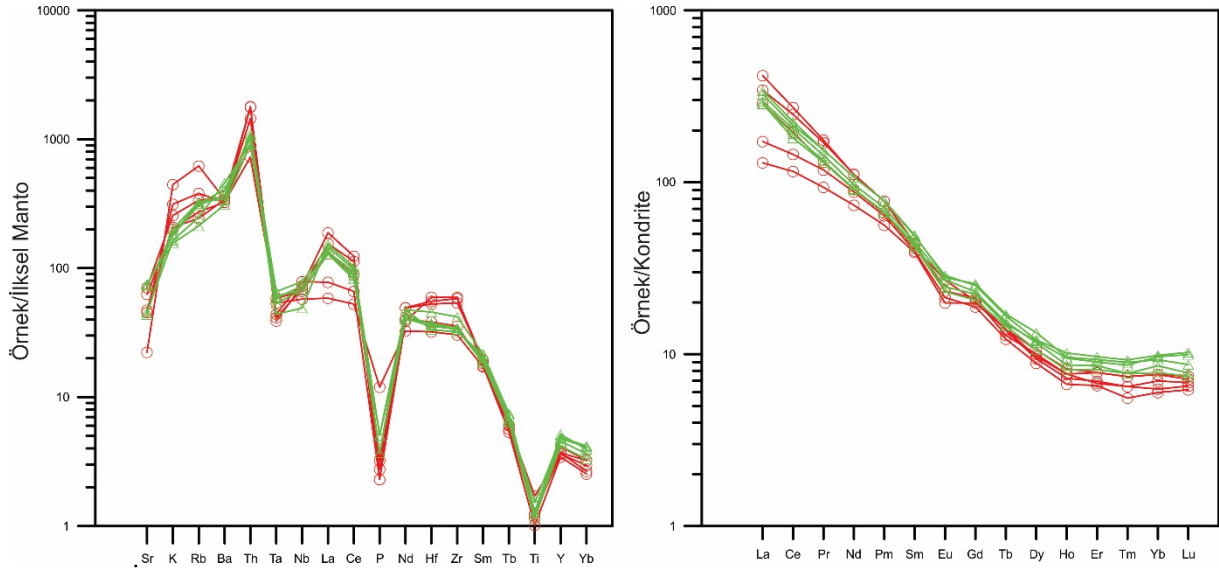
Tablo 3. İncelenen kayaların ana oksit ve iz element değerleri

Kayaç Türü	Siyenit	Siyenit	Siyenit	Siyenit	Siyenit	K.Monz.	K.Monz.	K.Monz.	K.Monz.	K.Monz.
Örnek	KN1	KN2b	KN4	KN9	KN13	KN5	KN8	KN16	KN17	KN18
Ana oksitler (% ağı.)										
SiO ₂	60.09	64.37	60.74	61.01	60.91	62.45	62.59	63.63	63.45	60.81
Al ₂ O ₃	17.96	16.45	17.92	16.71	17.81	17.45	17.16	16.62	15.75	16.61
Fe ₂ O ₃ ^a	2.84	1.37	2.15	1.18	2.84	2.49	2.14	3.18	2.45	2.69
MgO	0.36	0.82	0.27	0.09	0.2	0.30	0.59	0.39	0.37	0.38
CaO	2.77	2.07	3.49	3.26	3.36	3.14	3.30	2.85	3.39	4.27
Na ₂ O	4.93	1.65	3.99	0.80	4.92	4.53	4.09	4.56	2.89	3.27
K ₂ O	6.24	9.43	7.73	13.42	6.03	5.41	5.64	4.69	6.05	4.95
TiO ₂	0.27	0.37	0.22	0.25	0.3	0.27	0.25	0.33	0.28	0.25
P ₂ O ₅	0.05	0.26	0.05	0.07	0.06	0.08	0.08	0.11	0.11	0.08
MnO	0.06	0.08	0.08	0.03	0.1	0.04	0.02	0.02	0.05	0.11
Cr ₂ O ₃	<0.002	0.01	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
LOI	3.70	2.50	2.70	2.70	3.00	3.20	3.50	3.00	4.70	6.00
Toplam	99.55	99.66	99.6	99.76	99.64	99.64	99.66	99.66	99.7	99.74
İz elementler (ppm)										
Ba	2382	2272	2498	2393	2270	2563	2833	2169	2393	3210
Ni	<20	24	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	2	5	<1	2	2	2	2	4	3	2
Be	12	11	12	16	11	15	12	9	7	13
Co	2	2.5	0.9	1.9	2.4	1.5	0.9	3.8	2.2	1.6
Cs	2.9	3.6	3.6	1.5	3.2	3	4.1	5.6	9.3	9.1
Ga	22.8	19.3	24.2	17.8	21.3	19.3	18.8	19.9	18.1	17.3
Hf	16.3	9.9	18.4	11.8	17.1	14.1	11.3	11.6	10.3	11
Nb	52	41.4	55.5	47.1	49	55.6	52.4	47.5	34.8	47.5
Rb	154.8	241.7	213.6	393.7	173.7	195.9	201.7	135.1	207.5	157.2
Sn	5	4	5	5	6	5	5	4	4	4
Sr	997.7	956	1493.8	470.2	1322.2	1566.3	1525.3	1591.1	920	962.4
Ta	1.6	2.2	1.8	2.4	1.7	2.7	2.4	2.5	1.8	2.2
Th	123.4	62.3	151	76.5	152.3	94.3	86.3	78.2	89.3	78.3
U	39.1	20.2	34.1	16.3	31.8	19.3	19.9	12.5	25	21.8
V	58	51	41	48	50	50	46	55	42	46
W	36.60	37.80	14.10	19.80	7.90	7.00	6.40	2.80	6.20	4.40
Zr	602.1	340.9	665.4	398	650	469.6	374	386.7	358.6	375.5
Y	16.8	16.8	15.6	18.8	16.4	23.4	20.7	21.7	22.2	19
La	129.4	40.2	53.5	88.8	106.4	100.7	91.5	88.6	105.7	88.5
Ce	220.10	93.40	117.30	157.90	200.30	173.30	165.80	146.10	182.20	155.00
Pr	21.48	11.40	14.39	15.94	20.77	18.80	17.49	15.95	18.78	16.20
Nd	66.5	44.1	52.7	54.5	66.8	64.2	58.2	54.5	64.4	54.9
Sm	8.65	7.62	7.77	8.10	8.54	9.61	8.79	8.46	9.46	8.22
Eu	1.71	1.46	1.57	1.98	1.71	2.05	1.99	1.81	2.11	1.7
Gd	5.49	5.14	4.88	5.29	5.40	6.65	5.97	5.79	6.50	5.33
Tb	0.65	0.66	0.58	0.66	0.61	0.81	0.73	0.71	0.79	0.69
Dy	3.03	3.41	2.85	3.12	3.22	4.30	3.75	3.84	3.90	3.41
Ho	0.52	0.59	0.48	0.55	0.55	0.69	0.62	0.68	0.73	0.58
Er	1.46	1.64	1.38	1.64	1.42	1.95	1.80	1.89	2.03	1.71
Tm	0.21	0.24	0.18	0.24	0.21	0.29	0.25	0.28	0.3	0.25
Yb	1.31	1.59	1.25	1.59	1.46	1.94	1.79	2.02	2.06	1.63
Lu	0.21	0.24	0.2	0.23	0.22	0.28	0.25	0.32	0.33	0.24

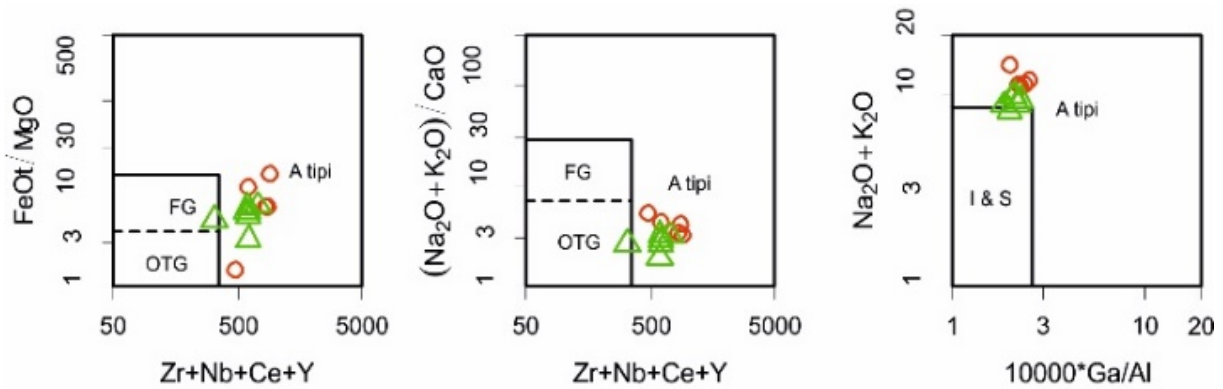
^aToplam demir Fe₂O₃.



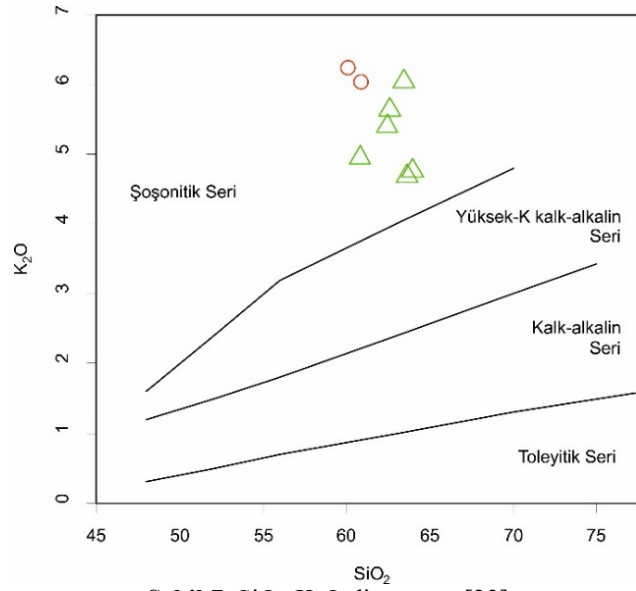
Şekil 4. İncelenen kayaların TAS (Toplam Alkali-Silis) sınıflama diyagramı [21].



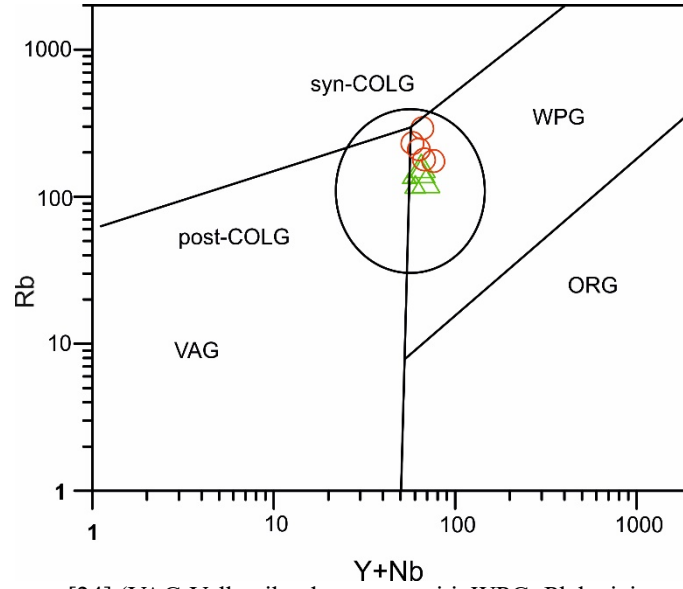
Şekil 5. İncelenen örneklerin ilksel mantoya göre normalize edilmiş spider diyagramı [22] ve kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramı [22].



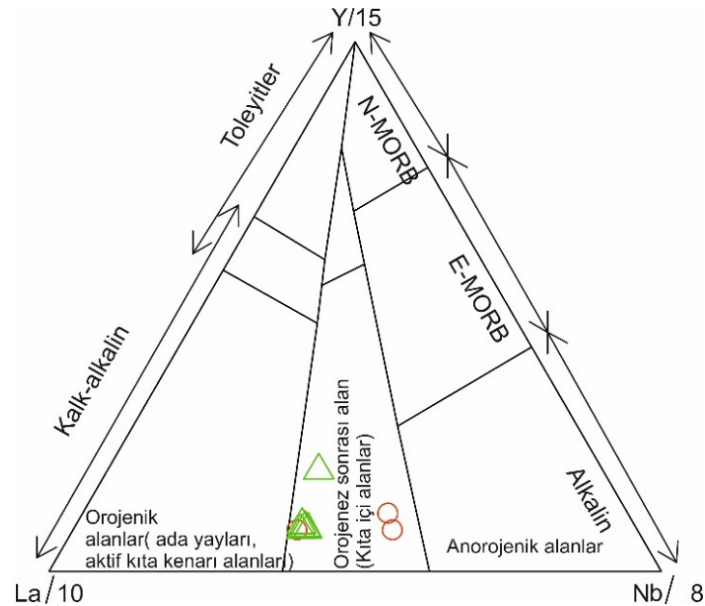
Şekil 6. İncelenen örneklerin tektonik ayırım diyagramları [4].



Şekil 7. SiO₂-K₂O diyagramı [23].



Şekil 8. Y+Nb-Rb diyagramı [24] (VAG: Volkanik ada yayı graniti, WPG: Plaka içi graniti, ORG: Okyanus ortası rift graniti, syn-COLG: Çarpışma ile birlikte gelişmiş granit, post-COLG: Çarpışma sonrası gelişmiş granit).



Şekil 9. İncelenen kayaçların tektonik ayırım diyagramları [25].

5. TARTIŞMA

İnceleme alanında yüzeyleyen Keban Magmatik kayaçlarına ait örnekler siyenit ve kuvars monzonit türü kayaçlarla temsil edilmektedir. Bu kayaçlar A-tipi granitoid bileşimindedir ve şoşonitik karaktere sahiptir. A-tipi magmaların oluşumu, birkaç farklı mekanizma ile ilişkilidir, (I) manto ve kabuk kaynaklarının kısmi ergimesi [26] (II) manto kaynaklı alkali bazaltik magmaların fraksiyonlaşması [27] (III) manto ve kabuktan türetilmiş magmaların karışımı [28-29], (IV) kıta içi tonalitik I-tipi kayaçların kısmi ergimesi [30-31]. Eby [32] A-tipi granitoidleri jeokimyasal olarak iki gruba ayırmıştır. İlk grup okyanusal ada bazaltlarına benzer element dağılımlarına sahipken, ikinci grup kabuk ve ada yayı bazaltlarına benzer bir jeokimyaya sahiptir. İlk gruba ait granitoidler levha içi riftleşme sırasında genellikle eş zamanlı mafik kayaçlar ile ya da sıcak nokta aktivitesinin sonucu olarak yerleşmiştir. İkinci grup granitoidler ise çok daha geniş bir oluşum ortamına sahip olup genel olarak çarpışma sonrası gelişen granitik kayaçlarla temsil edilmektedir [32]. İncelenen magmatic kayaçlar Whalen [4] tarafından önerilen tektonik ayrım diyagramında A-tipi granitoid bölgesine düşmektedir.

İncelenen örnekler ilksel mantoya göre normalize edilmiş spider diyagramında, Rb ve Ba gibi BİYE’ce zenginleşme göstermekte, Ti, Ta, Nb ve P gibi YAE’ce kısmen tüketilme göstermektedir. İncelenen örneklerin kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramında, A-tipi granitoidlerin karakteristik özelliğini yansıtan HNTE’leri ANTE’ye göre daha fazla zenginleşme göstermektedir. Bu kayaçların nispeten düşük La / Sm_(N) ve yüksek La / Yb_(N) oranları sırasıyla 3.32–9.41 ve 17.05–66.60 arasında değişmekte ve daha az belirgin negatif Eu anomalileri göstermektedir. Negatif Eu anomalisi plajiyoklasların fraksiyonel kristallenmesi ile ilişkilendirilebilir (Eu / Eu* = 0.71–0.94).

Yüksek Nb/La oranları, bazaltik magmalar için okyanusal adayayı bazaltı (OIB) benzeri astenosferik manto kaynağına, düşük Nb/La oranları (~ <0.5) ise, litosferik manto kaynağına işaret etmektedir [33]. İncelenen kayaçların Nb/La oranları ortalama 0.60’dır. Eby [32], Y/Nb oranının, A-tipi granitoidlerin manto (Y/Nb <1.2) veya kabuksal (Y/Nb > 1.2) kökenli olup olmadığını belirlemede önemli olduğunu belirtmiştir. Keban Magmatik Kayaçları’nın Y/Nb oranları ortalama 0.41’dir. Yüksek Nb/La oranları ve düşük Y/Nb oranları Keban Magmatik Kayaçları’nın oluşumunda manto kökeninin önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

6. SONUÇLAR

- İnceleme alanındaki Keban Magmatik Kayaçları siyenit ve kuvars monzonit türü kayaçlar ile temsil edilmektedir.
- Petrografik verilere göre incelenen kayaçlar porfirik, porfirik holokristalen ve poikilitik doku özelliği gösterirler.
- Jeokimyasal verilere göre incelenen kayaçlar A-tipi granitoid bileşiminde ve şoşonitik karaktere sahiptir.
- İnceleme alanındaki Keban Magmatik Kayaçları çarpışma sonrası gelişen bir magmatizma ürünleri olup dayklar şeklinde Keban metamorfitlelerini kesmektedir.

Yazar Katkıları

Mustafa Eren RİZELİ % 40, Abdullah SAR % 30, Mehmet Ali ERTÜRK % 30 oranlarında katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- | | |
|---|---|
| <p>[1] B.W. Chappell, A.J.R. White, “I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh”, Earth Sciences, 83, 1-26, 1992.</p> <p>[2] G.N. Eby, “The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculation on their petrogenesis”, Lithos, 26, 115–134, 1990.</p> <p>[3] M.C. Loiselle, Wones, D.R. “Characteristics and origin of anorogenic granites”, Abstracts Papers to be Presented at the Annual Meetings of the Geological Society of America and Associated Societies, San Diego, CA. 11, p. 468, 1979.</p> | <p>[4] J.B. Whalen, K.L. Currie, and B.W. Chappell, “A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis”, Contributions to Mineralogy and Petrology, 95, 407–419, 1987.</p> <p>[5] E. Yazgan, “Geodynamic evolution of the eastern Taurus region”, In Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C. (Eds.), Proceedings of Geology of the Taurus Belt, MTA, Ankara, pp. 199-208, 1984.</p> <p>[6] M. Ural, S. Kürüm, “Microscopic and Diffractometric Studies Inferred from Skarn Zonations Between the Keban Metamorphites and Elazığ Magmatites, Around Elazığ”, Turkish Journal of Science & Technology, 4, 2, 87- 102, 2009.</p> |
|---|---|

- [7] L. Kalender, "Oxygen, carbon and sulfur isotope studies in the Keban Pb-Zn deposits, eastern Turkey: an approach on the origin of hydrothermal fluids", *Journal of African Earth Science*, 59 (4-5), 341-348, 2011.
- [8] İ. Kuşçu, R.M. Tosdal, G. Gencalioglu Kuşcu, R. Friedman, and T.D. Ullrich, "Late Cretaceous to Middle Eocene magmatism and metallogeny of a portion of the Southeastern Anatolian orogenic belt, East-Central Turkey", *Econ. Geology*, 108 (4), 641-666, 2013.
- [9] B. Akgül, "Geochemical associations between fluorite mineralization and A-type shoshonitic magmatism in the Keban Elazığ area, East Anatolia, Turkey", *Journal of African Earth Sciences*, 111, 222-230, 2015.
- [10] E. Yıldırım, N. Yıldırım, C. Dönmez, S-M. Koh, and K. Günay, "Mineralogy, rare earth elements geochemistry and genesis of the Keban- West Euphrates (Cu-Mo)-Pb-Zn skarn deposit (Eastern Taurus metallogenic belt, E Turkey)", *Ore Geology Reviews*, 114, 103102, 2019.
- [11] M. Beyarslan, A.F. Bingöl, "Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin and tectonic implications of late cretaceous intra-oceanic arc magmatism in the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE-Turkey)", *Journal of African Earth Sciences*, 147, 477-497, 2018.
- [12] A. Sar, M.A. Ertürk, and M. Rizeli, "Genesis of Late Cretaceous intra-oceanic arc intrusions in the Pertek area of Tunceli Province, eastern Turkey, and implications for the geodynamic evolution of the southern Neo-Tethys: Results of zircon U-Pb geochronology and geochemical and Sr-Nd isotopic analyses", *Lithos*, 350-351, 105263, 2019.
- [13] T. Rızaoğlu, O. Parlak, V. Hock, F. Koller, W.E. Hames, and Z. Billor, "Andean type active margin formation in the Eastern Taurides: geochemical and geochronological evidence from the Baskil Granitoid, SE Turkey", *Tectonophysics*, 473, 188-207, 2009.
- [14] U.K. Tekin, M. Ural, M.C. Göncüoğlu, M. Arslan, and S. Kürüm, "Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey", *Comptes Rendus Palevol*, 14, 73-84, 2015.
- [15] M. Ural, M. Arslan, U.K. Göncüoğlu, and S. Kürüm, "Late Cretaceous arc and back-arc formation within the southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova Complex (Malatya- Elazığ, SE Turkey)", *Ofioliti*, 40 (1), 57-72, 2015.
- [16] N. Özgül, "Torosların bazı temel jeoloji özellikleri", *Türk. Jeol. Kurumu Bul.* 19, 65-78, 1976.
- [17] E. Kipman, "Geological and Petrological Features of the Volcanic Rocks in Keban", Associated Prof. Thesis, Istanbul University, Istanbul, Turkey, pp 200, 1976.
- [18] A. Kaya, "Tectonostratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey", *Journal of African Earth Science*, 124, 245-257, 2016.
- [19] A.I. Okay, O. Tüysüz, "Tethyan sutures of northern Turkey", In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F. and Séranne, M. (Eds.) *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen*, Geological Society, London, Special Publication 156, 475-515, 1999.
- [20] A.L. Streckeisen, R.W. Le Maitre, "Chemical approximation to modal QAPF classification of the igneous rocks", *Neus Jahrbuch für Mineralogie*, 136, 169-206, 1979.
- [21] E.A.K. Middlemost, "Naming materials in the magma igneous rock system", *Earth Sci. Rev.* 37, 215-224, 1994.
- [22] S. Sun, W.F. McDonough, "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. Implications for mantle compositional processes", In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Special Publication 42. Geological Society of London, p. 312, 1989.
- [23] A. Peccerillo, S.R. Taylor, "Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, north Turkey", *Contrib. Miner. Petrol.* 58, 63-81, 1976.
- [24] J.A. Pearce, N.B. Harris, and A.G. Tindle, "Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *J. Petrol.* 25, 956-983, 1984.
- [25] B. Cabanis, M. Lecolle, "Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination de series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale", *Comptes Rendus Academy Sciences*, (Ser. II) 309, 2023-2029, 1989.
- [26] L.L. Zhang, D.C. Zhu, Q. Wang, Z.D. Zhao, D. Liu, and J.C. Xie, "Late Cretaceous volcanic rocks in the Sangri area, southern Lhasa Terrane, Tibet: Evidence for oceanic ridge subduction", *Lithos*, 326-327, 144-157, 2019.
- [27] S.P. Turner, J.D. Foden, and R.S. Morrison, "Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma; an example from the Padthaway Ridge, South Australia", *Lithos*, 28, 151-179, 1992.
- [28] J.H. Yang, F.Y., Wu, S.L. Chung, S.A. Wilde, and M.F. Chu, "A hybrid origin for the Qianshan A-type granite, northeast China: geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence", *Lithos*, 89, 89-106, 2006.
- [29] B. Bonin, "A-type granites and related rocks: evolution of a concept problems and prospects", *Lithos*, 97, 1-29, 2007.
- [30] R.A. Creaser, R.C. Price, and R.J. Wormald, "A-type granites revisited: assessment of a residual-source model", *Geology*, 19, 163-166, 1991.
- [31] P.L. King, A.J.R. White, B.W. Chappell, and C.M. Allen, "Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, southern Australia", *Journal of Petrology*, 38, 371-391, 1997.
- [32] G.N. Eby, "Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications", *Geology*, 20, 641-644, 1992.

- [33] A. Kaygusuz, M., Arslan, W. Siebel, and C. Şen, "Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of post-collisional calc-alkaline volcanic in the Eastern pontides (NE Turkey)", Turkish Journal of Earth Sciences, 20, 137-159, 2011.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Çelik Levhalı Perde-Çerçeve Binaların Dinamik Analizi İçin Bir Yaklaşım

An Approach To Dynamic Analysis Of Steel Plate Shear Wall-Frame Buildings

¹Yasin Güngör , ²Kanat Burak Bozdoğan

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale, Türkiye

¹19214401005@ogr.comu.edu.tr, ²kbbozdogan@comu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 3 March 2021

Accepted : 11 March 2021

Keywords:

Steel Plate Shear Wall, SPSW, Free Vibration Analysis, Spectral Analysis, Continuum Approximation Model

ABSTRACT

One of the bearing systems used against earthquake in steel buildings is a steel plate wall-frame systems. In this study, an approach is proposed for dynamic analysis of buildings consisting of steel plate wall-frame systems whose material and geometric properties are uniform throughout the height of the building. In this study, the continuous system calculation model was adapted to the dynamic analysis of steel plate wall-frame systems. With the presented method, dynamic characteristics of the buildings such as period and effective mass can be determined, as well as peak displacement and base shear force can be obtained easily with spectral analysis. At the end of the article, an example taken from the literature was solved with both the presented method and the SAP2000 program and the results obtained were compared. As a result, it has been observed that the presented method gives results close enough to the finite element method.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 3 Mart 2021

Kabul : 11 Mart 2021

Anahtar Kelimeler:

Çelik Levhalı Perde Duvar, ÇLPD, Serbest Titreşim Analizi, Spektral Analiz, Sürekli Sistem Hesap Modeli

ÖZET

Çelik binalarda depreme karşı kullanılan taşıyıcı sistemlerden birisi de çelik levhalı perde-çerçeve sistemlerdir. Bu çalışmada, malzeme ve geometrik özellikleri bina yüksekliği boyunca üniform olan çelik levhalı perde-çerçeve sistemlerden oluşan binaların dinamik analizi için bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada sürekli sistem hesap modeli, çelik levhalı perde-çerçeve sistemlerin dinamik analizine uyarlanmıştır. Sunulan yöntemle binanın periyot, etkin kütle gibi dinamik karakteristikleri belirlenebildiği gibi, spektral analiz ile tepe noktası deplasmanı ve taban kesme kuvveti de kolay bir şekilde elde edilmektedir. Makalenin sonunda, literatürden alınmış olan bir örnek hem sunulan yöntem ile hem de SAP2000 programı ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sunulan yöntemin, sonlu elemanlar yöntemine yeter derecede yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

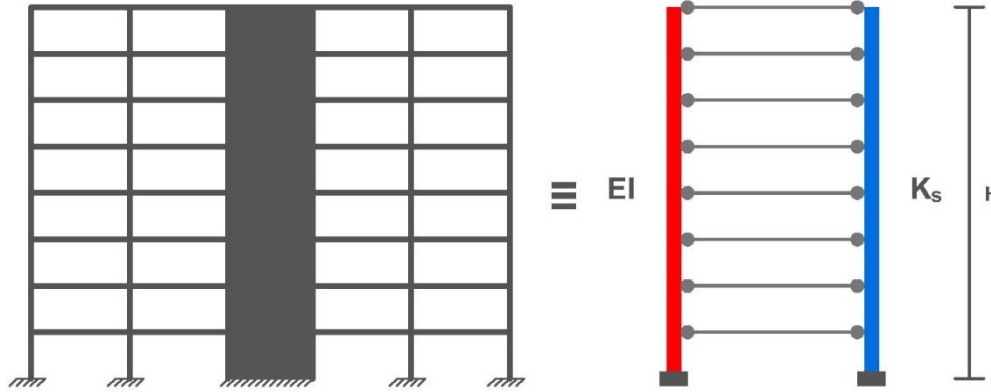
Deprem bölgelerinde inşa edilen tüm binalarda taşıyıcı sistemin deprem ve rüzgâr gibi yüklere karşı yanal rijitliği önem arz etmektedir. Yatay yüklerin karşılanmasında betonarme perdeler, çelik çaprazlar ve moment aktaran kolon-kiriş birleşimli rijit çerçeveler akla gelmektedir. Tüm bunlara ek olarak 1970’li yıllardan itibaren Amerika, Kanada ve Japonya gibi ülkelerdeki çelik binalarda, çelik levhalı perde duvarlar (ÇLPD) kullanılmaya başlanmıştır. Yıllar geçtikçe kullanımı ve çalışma alanları artan bu sistemlerin dinamik davranışı konusunda halen çalışmalar devam etmektedir. Aşağıda kısaca literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Love vd. ÇLPD sistemini bir hastane binasını rijitleştirmek ve güçlendirmek için kullanmışlardır [1]. Bhowmick vd., deprem sırasında çelik levhaların veriminin, tüm katlarda gerçekleşmesinin beklenmeyeceğini kabul eden rasyonel bir tasarım yöntemi ile daha ekonomik bir ÇLPD çözümünü önermişlerdir [2]. Alavi ve Nateghi, çapraz olarak güçlendirilmiş ÇLPD sistemlerin davranışını incelemişlerdir [3]. Nie vd., çok açıklıklı ÇLPD sistemlerin davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır [4]. Koppal ve Eatherton, çevresi boyunca dairesel delikler veya kelebek şekilli kesikler içeren yeni bir ÇLPD sistemi önermişlerdir [5]. Bhowmick vd. dairesel delikli bir ÇLPD sistemine ait kayma mukavemetinin boşluksuz ÇLPD sistemlerin kayma mukavemeti değerlerine bağlı olarak hesaplanabileceğini göstermişlerdir [6]. Asl ve Safarkhani, ÇLPD etrafındaki çerçeve konfigürasyonunun, sistemin sünekliğinde önemli rol oynadığını belirtmişler ve kiriş-kolon bağlantılarındaki gevrek kırılmayı önlemek için, kirişlerin zayıflatılabileceği birtakım yöntemler önermişlerdir [7]. Dowden ve Bruneau kirişten kolona bağlantı şekilleri bulunan, art germeli ve kendinden merkezlemeli ÇLPD sistemlerinin davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir [8]. Wang ve Xie ince ÇLPD sistemlerindeki iki ana sorun olan H-kesitli çelik kolon tabanının burkulması ve histerik eğrilerdeki sıkıştırma etkisine karşı çözüm önerisi sunmuşlardır [9]. Yu vd. enine köşebentlerle çapraz tutturulmuş ÇLPD sistemlerin döngüsel performansını incelemişlerdir [10].

Bu çalışmada ise sürekli sistem hesap modeli çelik levhalı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binaların dinamik analizine uyarlanmıştır. Sunulan yaklaşımın geliştirilmesinde;

- Malzemenin lineer elastik olduğu,
- Geometrik nonlineer etkilerin ihmal edilebilecek mertebede olduğu,
- Kolonlarda ve levha perdede kayma yer değiştirmelerinin ihmal edilebilecek mertebede olduğu,
- Kirişlerde kayma ve eksenel yer değiştirmelerin ihmal edilebilecek mertebede olduğu,
- Yapı geometrik özelliklerinin yapı yüksekliği boyunca üniform olduğu,
- Taşıyıcı sistemlerin planda simetrik yerleştirildiği dolayısıyla bina düşey eksenini boyunca burulma etkilerinin ihmal edilebileceği, kabulleri yapılmıştır.

2. YÖNTEM



Şekil 1. Eşdeğer eğilme-kayma kirişi modeli

Sürekli sistem hesap modeline göre çelik levhalı perde-çerçeve sistem eşdeğer bir eğilme kayma kirişi olarak Şekil 1’deki gibi modellenilebilir. Eşdeğer sistemin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir [11,12].

$$(EI) \frac{d^4 y}{dz^4} - K_s \frac{d^2 y}{dz^2} - \bar{m} \omega^2 \frac{d^2 y}{dt^2} = 0 \quad (1)$$

Burada y yatay yer değiştirme fonksiyonunu, z bina düşey eksenini boyunca uzanan eksenini göstermektedir. EI eşdeğer eğilme rijitliğini göstermekte olup levhalı perde sistemin eğilme rijitliği ile kolonların eğilme rijitlikleri toplamından oluşmaktadır. K_s ise eşdeğer kayma rijitliğini göstermektedir. K_s eşdeğer kayma rijitliğinin bulunması için farklı bağıntılar literatürde verilmiştir [11,13,14,15].

(1) nolu denklemdeki $\bar{m}$ bina yüksekliği boyunca yayılı kütle, ω ise açısal frekansı göstermektedir.

(1) numaralı denklem boyutsuz olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{d^4 y}{d\varepsilon^4} - k^2 \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} - \alpha y = 0 \quad (2)$$

Burada k ve α boyutsuz parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$k = H \sqrt{\frac{K_s}{EI}} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\bar{m} H^4 \omega^2}{EI} \quad (4)$$

(2) nolu denklemin sınır koşulları dikkate alınarak çözümünden mod şekli fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$y = [\cosh(a_1 \varepsilon) - \cos(a_2 \varepsilon)] + E [\sinh(a_1 \varepsilon) - \frac{a_1}{a_2} \sin(a_2 \varepsilon)] \quad (5)$$

Burada a_1 , a_2 ve E ifadeleri aşağıdaki gibi tanımlıdır.

$$a_1 = \sqrt{\frac{k^2 + \sqrt{k^4 + 4\alpha}}{2}} \quad (6)$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{-k^2 + \sqrt{k^4 + 4\alpha}}{2}} \quad (7)$$

$$E = -\frac{[a_1^2 \cosh(a_1) + a_2^2 \cos(a_2)]}{[a_1^2 \sinh(a_1) + a_1 a_2 \sin(a_2)]} \quad (8)$$

Periyotlar ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$T_i = \frac{Z_i H^2}{\mathcal{K}_d} \sqrt{\frac{m}{h(EI)}} \quad (9)$$

Burada $\mathcal{K}_d$ sürekli kütle modelini ayrık kütleye dönüştürmek için tanımlanmış bir düzeltme katsayısı olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [16].

$$\mathcal{K}_d = \sqrt{\frac{n}{n+2,06}} \quad (10)$$

n , kat sayısını göstermektedir.

Bina yüksekliği arttıkça eksenel yer değiştirmelerin önemi artmaktadır. Bu etki K_s kayma rijitliği değerinde bir düzeltme yapılarak dikkate alınabilir [12,16].

$$K_{se} = \xi K_s \quad (11)$$

Burada ξ aşağıdaki gibi tanımlıdır [16.]

Eksenel yer değiştirmelerin katkısını dikkate almak üzere (3) nolu bağıntıda k hesaplanırken K_s yerine K_{se} kullanılmalıdır.

$$\xi = \frac{f_b^2}{f_b^2 + f_s^2} \quad (12)$$

(12) nolu bağıntıdaki f_b ve f_s ise aşağıdaki gibi tanımlıdır.

$$f_s^2 = \frac{K_s}{(4H)^2 \bar{m}} \quad (13)$$

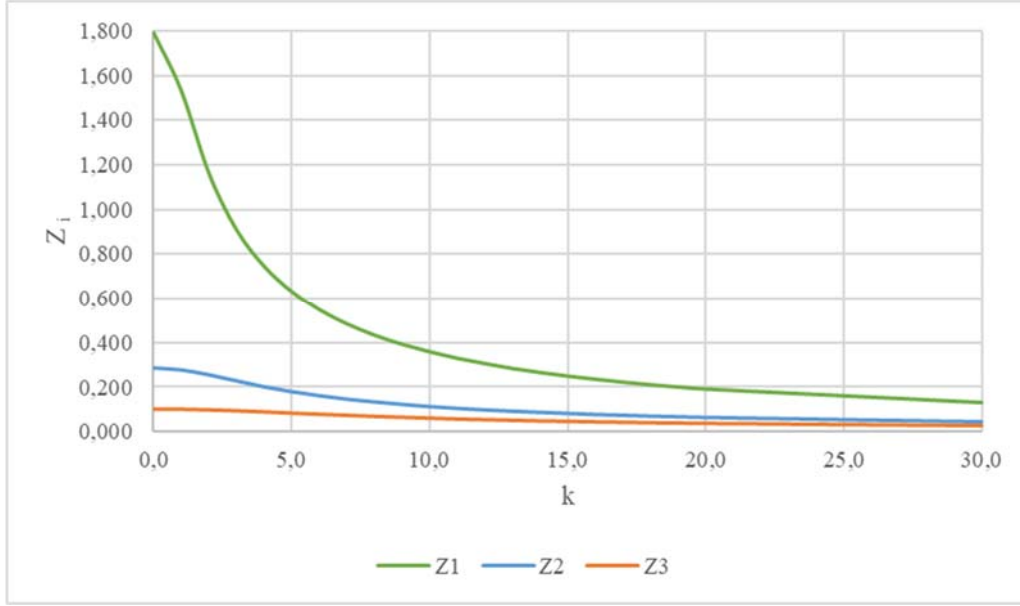
$$f_b^2 = \frac{0.313EI_g}{(H)^4 \bar{m}} \quad (14)$$

I_g eksenel yer değiştirmelerle ilgili olan global eğilme rijitliği olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [12].

$$I_g = \sum A_{ci} d_i^2 \quad (15)$$

Burada A_{ci} i. kolonun kesit alanını, d_i ise i. kolonun kesit alanlarının merkezine olan uzaklığını göstermektedir.

(9) nolu denklemdeki Z değerlerinin ilk üç mod için k ya bağlı değişimi Şekil 2’de verilmiştir [12].

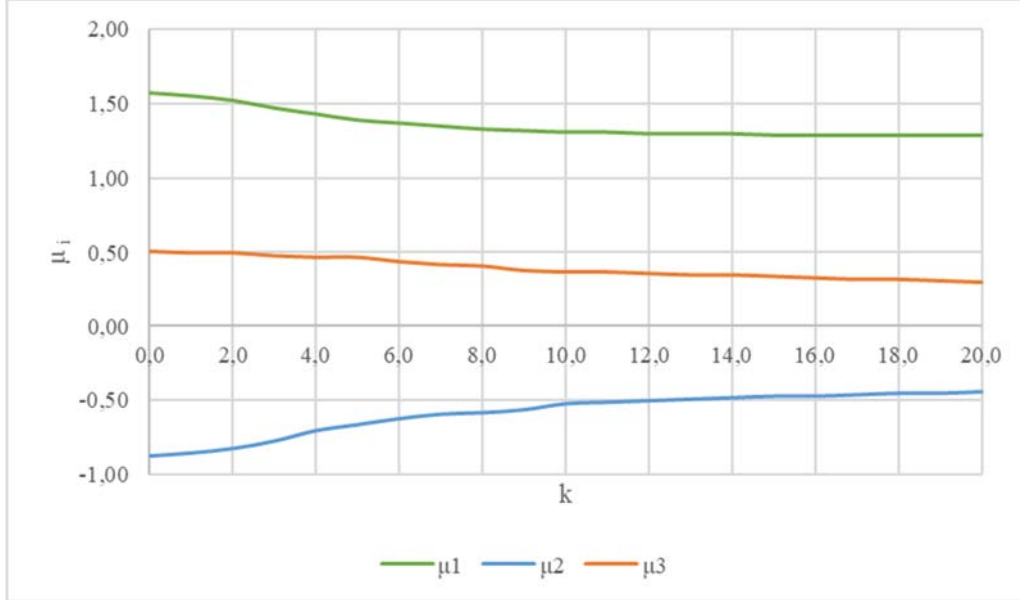


Şekil 2. İlk üç mod için Z_i değerleri

Tepe noktası deplasmanı için ise aşağıdaki bağıntı geçerlidir [12].

$$dep_i = \Gamma_i y_i(1) S_{di} = \mu_i S_{di} \quad (16)$$

Burada S_{di} i. mod için spektral yer değiştirme değerini göstermektedir. μ değerlerinin ilk üç mod için k ya bağlı değişimi Şekil 3’te verilmiştir.

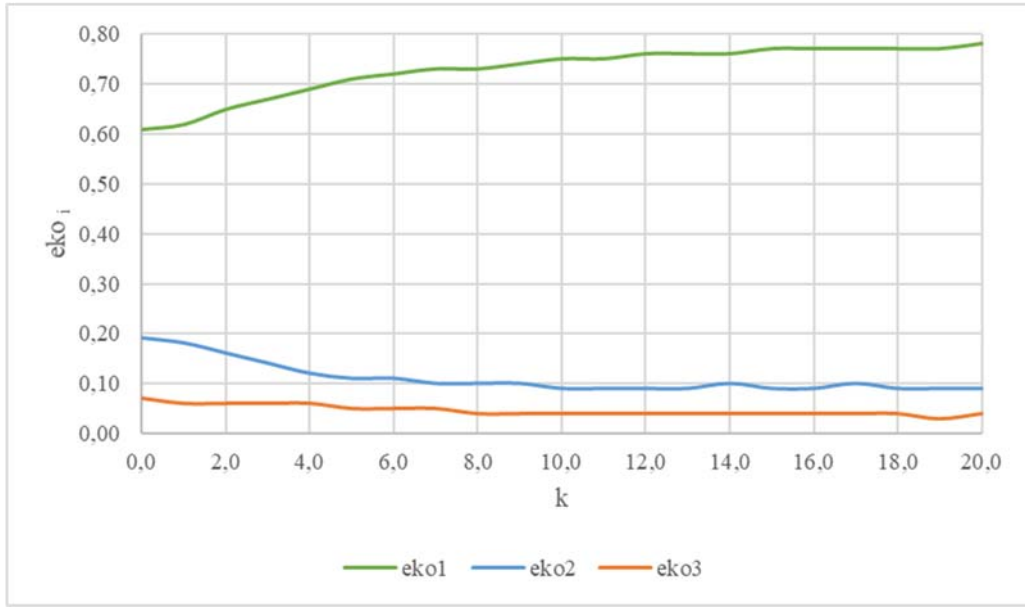


Şekil 3. İlk üç mod için μ değerleri

Taban kesme kuvveti ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir [12].

$$V_{Ti} = M \times eko_i \times S_{ai} \quad (17)$$

Burada S_{ai} i. mod için spektral ivme değeridir. Bağıntıdaki etkin kütle oranlarının ilk üç mod için k’ya bağlı değişimi Şekil 4’teki grafikte sunulmuştur.



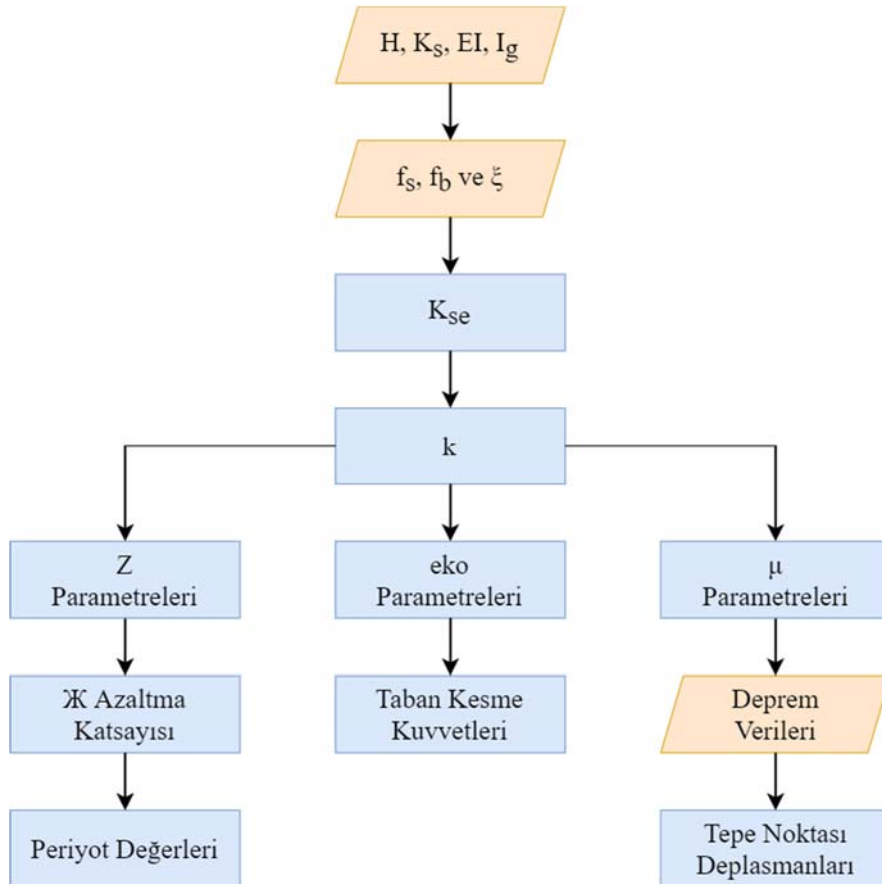
Şekil 4. İlk üç mod için etkin kütle oranı (eko) değerleri

Tasarıma esas tepe noktası yer değiştirmeleri ise ilk üç moddaki büyüklükler dikkate alınarak karelerinin toplamının karekökü yöntemiyle aşağıdaki gibi bulunur.

$$d = \sqrt{dep_1^2 + dep_2^2 + dep_3^2} \quad (18)$$

$$V_T = \sqrt{V_{T1}^2 + V_{T2}^2 + V_{T3}^2} \quad (19)$$

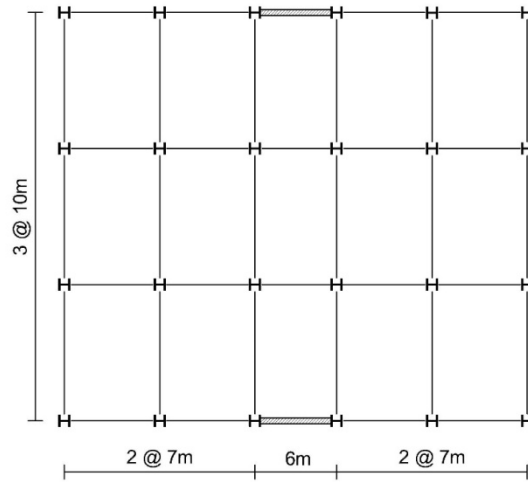
Sunulan yöntemin akış şeması Şekil 5'te verilmiştir.



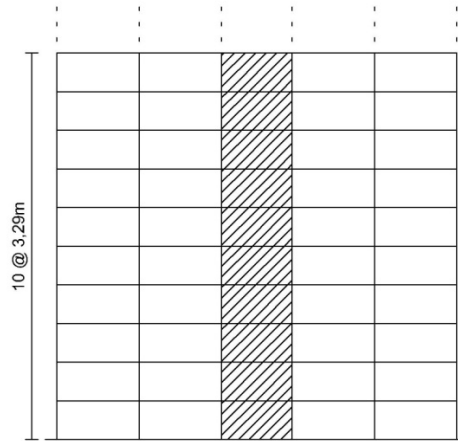
Şekil 5. Akış şeması

3. ÖRNEK

Literatürden [17] alınan modelin planı ve kesiti Şekil 6 ve Şekil 7’de görülmektedir. Çelik binanın özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Tablo 2’de ise kolon ve kirişlerde kullanılan profillerin özellikleri verilmiştir.



Şekil 6. Bina plan görünüşü



Şekil 7. On kata kadar bina ön cephe görünüşü

Tablo 1. Bina özellikleri

Kat Sayısı	40
Kat Yüksekliği (m)	3,29
ÇLPD Kalınlığı (mm)	6
ÇLPD Genişliği (m)	6
Kolonlar	HD400×347
Kirişler	HE400A

Tablo 2. Profil Özellikleri

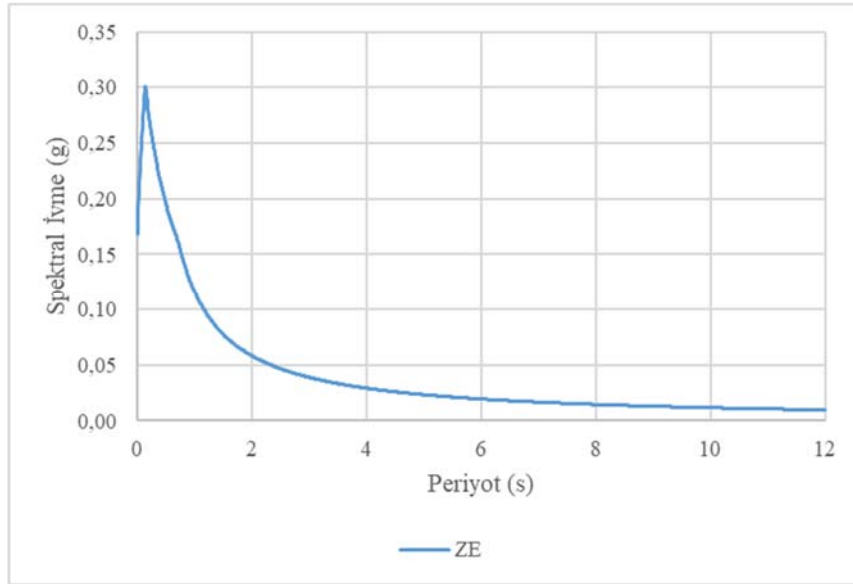
Profil	HD400×347	HE400A
Yükseklik (mm)	407	390
Üst Flanş Genişliği (mm)	404	300
Üst Flanş Kalınlığı (mm)	43,7	19
Gövde Kalınlığı (mm)	27,2	11
Alt Flanş Genişliği (mm)	404	300
Alt Flanş Kalınlığı (mm)	43,7	19
Alan (cm²)	442	159
Atalet momenti (cm⁴)	124900	45070

Verilen binanın Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [18] kapsamında mod birleştirme yöntemine göre analizi hem sürekli sistem hesap modeli hem de SAP2000 ile yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Binanın Çanakkale il merkezinde ZE zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği kabul edilmiştir. Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından Çanakkale ili için yatay spektrum değerleri elde edilmiş olup, buna ilişkin deprem verileri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deprem verileri

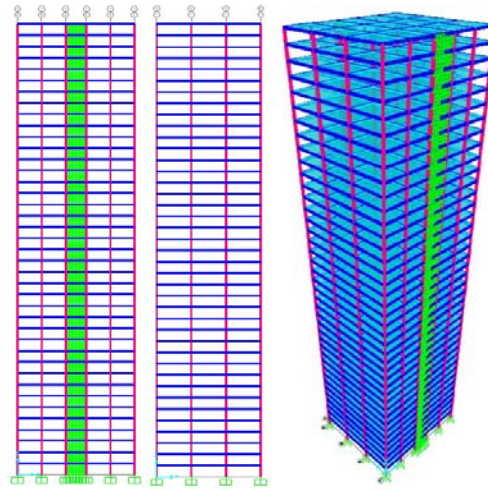
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Yerel Zemin Sınıfı	ZE
Enlem	40.143295°
Boylam	26.446727°
S_s	0,719
S₁	0,219
F_s	1,350
F₁	3,205
S_{DS}	0,970
S_{D1}	0,702
T_A (s)	0,145
T_B (s)	0,723
T_L (s)	6,000

Binanın süneklik düzeyi yüksek çelik taşıyıcı sistemlerden oluştuğu kabul edilmiş olup taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=6 ve dayanım fazlalığı katsayısı D=2.5 olarak alınmıştır. Aşağıda Şekil 8'de hesaplarda dikkate alınan azaltılmış yatay spektrum grafiği verilmiştir.



Şekil 8. Azaltılmış yatay spektrum grafiği

Verilen binanın serbest titreşim analizi ve TBDY'ye göre spektral analizi SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Modellemede perdeler kabuk elemanlarla buna karşı kiriş ve kolonlar ise çubuk elemanlara modellenmiştir. Şekil 9'da SAP2000'de oluşturulan modelin xz ve yz eksenlerindeki görünüşleri ile üç boyutlu görünüşü verilmiştir.



Şekil 9. Binanın xz ve yz eksenlerindeki görünüşleri ile üç boyutlu modeli (Sap2000)

3.1. Sürekli Sistem Hesap Modeline Göre Periyot, Taban Kesme Kuvveti ve Tepe Noktası Deplasman Hesabı

Sürekli sistem hesap modeline göre çözümleme için gerekli olan parametreler literatürden [17] yararlanılarak bulunmuştur. Bina yüksekliği boyunca yayılı kütle 76 ton/m'dir. Bilindiği üzere TBDY-2018'e göre analizlerde kolon kiriş ve perdelerde etkin kesit rijitliklerinin kullanılması gerekmektedir. Buna göre hesaplanmış rijitlikler ve bina yüksekliği boyunca yayılı kütle değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Etkin kesit rijitlikleri dikkate alınarak hesaplanan eşdeğer rijitlikler

K_s (kN)	97200
ξ	0,9544
K_{se} (kN)	92820
EI (kNm ²)	99599440
H (m)	131,6
k	4,018

Bulunan k değerine bağlı olarak Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'ten okunan Z , μ ve e_{ko} değerleri ile Şekil 8'de verilmiş spektrumdan okunan spektral ivme ve spektral yer değiştirme değerleri Tablo 5'te ilk üç mod için verilmiştir.

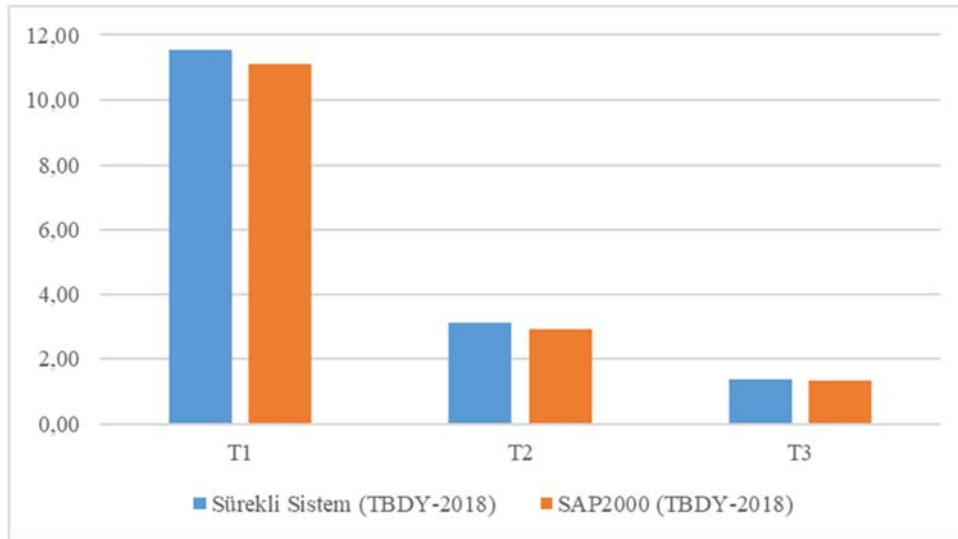
Tablo 5. TBDY-2018 hesap modeli için seçilen değerler

	MOD NUMARASI		
	1	2	3
Z_i	0,742035	0,199617	0,088896
μ_i	1,429304	-0,69930	0,470000
e_{ko_i}	0,690348	0,119826	0,059826
S_{a_i}	0,099	0,369	0,832
S_{d_i}	0,335	0,09	0,04

Z değerleri yardımıyla (9) nolu bağıntı kullanılarak periyotlar bulunmuş ve Tablo 6 ve Şekil 10'da SAP2000 ile elde edilen periyotlarla karşılaştırılmıştır.

Tablo 6. Etkin kesit rijitlikleri dikkate alınarak bulunan periyotlarının karşılaştırılması

Periyotlar (s)	SAP2000 (a)	Sürekli Sistem (b)	Fark %(b-a)/a
T_1	11,122	11,551	3,86
T_2	2,907	3,107	6,88
T_3	1,324	1,384	4,53



Şekil 10. Etkin kesit rijitlikleri dikkate alınarak bulunan periyotlarının karşılaştırılması

(16), (17), (18) ve (19) nolu bağıntılar kullanılarak taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanı hesaplanarak elde edilen sonuçlar SAP2000 ile elde edilen sonuçlarla Tablo 7'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 7. TBDY-2018'e göre taban kesme kuvvetleri ve tepe noktası deplasmanların karşılaştırılması

Çözümleme	SAP2000 (a)	Sürekli Sistem (b)	Fark % (b-a)/a
V_T (kN)	2158,099	1908,254	-11.58
d_H (m)	0,4728	0,4833	2.22

Tablo 7'den görüldüğü üzere sürekli sistem hesap modeli ile bulunan tepe noktası deplasmanı değeri SAP2000 ile bulunan değerle uyumludur buna karşın sürekli sistem hesap modeli ile bulunan taban kesme kuvveti değeri SAP2000 ile bulunan değerden daha azdır. Bunun sebebi sürekli sistem hesap modelinde yalnızca 3 mod dikkate

alınması olarak değerlendirilmiştir. Taban kesme kuvvetinin elde edilmesinde 4. ve 5. modların katkısı ihmal edilemeyecek mertebededir. Buna karşı tepe noktası deplasmanında 3.ten yüksek modların katkısı ihmal edilebilecek mertebededir. Aynı örneğin literatürde yapılan çözümünde hakim periyot brüt kesit rijitlikleri ile hesaplanmıştır. Bu nedenle örneğin brüt rijitlikleri dikkate alınarak periyotları tekrar hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablo 8’de brüt kesit rijitlikleri ile hesaplanan eşdeğer rijitlikler verilmiştir.

Tablo 8. Brüt kesit rijitlikleri dikkate alınarak hesaplanan eşdeğer rijitlikler

K_s (kN)	97200
ξ	0,88
K_{sc} (kN)	238000
EI (kNm²)	197800000
H (m)	131,6
k	4,56

Bulunan k değerine bağlı olarak Şekil 2’den Z değerleri okunmuştur. İlk üç mod için okunan Z değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

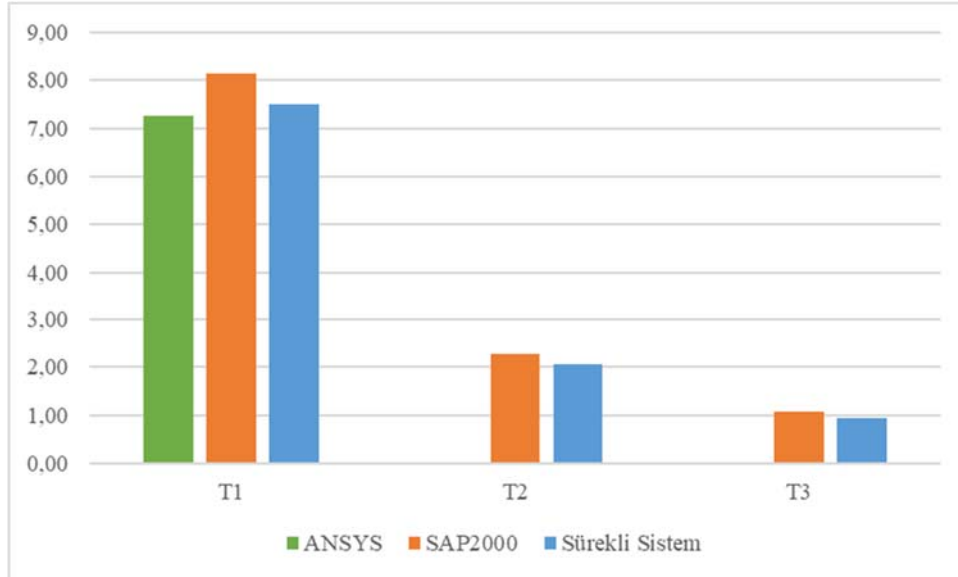
Tablo 9. Sürekli sistem hesap modeli için seçilen Z değerleri

	1	2	3
Z_i	0,680494	0,187636	0,085628

Z değerleri yardımıyla (9) nolu bağıntı kullanılarak periyotlar bulunmuş ve Tablo 10 ve Şekil 11’de SAP2000 Literatür ile elde edilen periyotlarla karşılaştırılmıştır.

Tablo 10. Brüt kesit dikkate alınarak bulunan periyotların karşılaştırılması

Periyotlar (s)	ANSYS [17]	SAP2000	Sürekli Sistem
T₁	7,26	8,14	7,491
T₂	-	2,27	2,066
T₃	-	1,07	0,943



Şekil 11. Brüt kesit dikkate alınarak bulunan periyotların karşılaştırılması

4. SONUÇ

Bu çalışmada çelik levhalı perde-çerçeve sistemlerin dinamik analizi için sürekli sistem hesap modeli önerilmiştir. Önerilen yöntem ile periyotlar, etkin kütle oranları gibi dinamik karakteristikler pratik bir şekilde elde edilmektedir. Ayrıca bu dinamik parametreler kullanılarak spektral analiz yöntemiyle taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanı da kolayca hesaplanmaktadır. Çalışmanın sonunda literatürden alınan bir örnek hem

SAP2000 hem de sunulan yöntem ile çözülmüştür. Sürekli sistem ile elde edilen sonuçlar literatür ve SAP2000 ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan, sunulan yöntemin yeter derecede uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak sunulan yaklaşım ön boyutlandırma aşamasında ve yapısal analiz yapan programların çıktılarının kontrolünde kullanılabilir. Ayrıca çalışma kapsamında sunulan yöntem ile az bir parametre ile bina davranışı hakkında fikir edinmek mümkün olmakta ve sonlu elemanlar yönteminde çıktıların fazlalığı nedeniyle gözden kaçan bina davranışı daha iyi anlaşılmaktadır. Sunulan yöntem burulmalı ve bina özellikleri yüksekliği boyunca değişen binalar içinde geliştirilebilir.

Yazar Katkıları

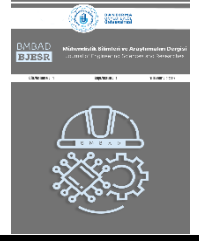
İki yazarın katkısı da eşit olup %50'dir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

- [1] R. J. Love, K. Yu, S. McNeill and D. Zepeda, "Retrofit of a critical care facility in los angeles with steel plate shear walls", in Structures Congress 2008: Crossing Borders, Vancouver, Canada, 2008.
- [2] A. K. Bhowmick, R. G. Driver and G. Y. Grondin, "Application of indirect capacity design principles for seismic design of steel-plate shear walls", Journal of Structural Engineering, vol. 137, no. 4, pp. 521-530, 2011.
- [3] E. Alavi and F. Nateghi, "Experimental study of diagonally stiffened steel plate shear walls", Journal of Structural Engineering, vol. 139, no. 11, pp. 1795-1811, 2013.
- [4] J. G. Nie, L. Zhu, J. S. Fan and Y. L. Mo, "Lateral resistance capacity of stiffened steel plate shear walls", Thin-Walled Structures, vol. 67, pp. 155-167, 2013.
- [5] M. Koppal and M. R. Eatherton, "Perforated Steel Plate Shear Walls for Tunable Seismic Resistance", in Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession, Pittsburgh, Pennsylvania, 2013.
- [6] A. K. Bhowmick, G. Y. Grondin and R. G. Driver, "Nonlinear seismic analysis of perforated steel plate shear walls", Journal of Constructional Steel Research, vol. 94, pp. 103-113, 2014.
- [7] M. H. Asl and M. Safarkhani, "Seismic behavior of steel plate shear wall with reduced boundary beam section", Thin-Walled Structures, vol. 116, pp. 169-179, 2017.
- [8] D. M. Dowden and M. Bruneau, "Dynamic shake-table testing and analytical investigation of self-centering steel plate shear walls", Journal of Structural Engineering, vol. 142, no. 10, 2016.
- [9] X. T. Wang and C. D. Xie, "Experimental and numerical investigation of steel beam-to-cfsl column frame-thin steel plate shear walls with cross stiffness", International Journal of Steel Structures, vol. 19, pp. 1895-1910, 2019.
- [10] J. G. Yu, X. T. Feng, B. Li and J. P. Hao, "Cyclic performance of cross restrained steel plate shear walls with transverse braces", Thin-Walled Structures, vol. 132, pp. 250-264, 2018.
- [11] V. N. Baikov and E. E. Sigalov, "Reinforced Concrete Structures", MIR Publishers, 1981.
- [12] K. B. Bozdoğan, D. Öztürk and A. Nuhoglu, "A practical method for dynamic analysis of multistorey buildings according to continuum approximation model", Journal of Engineering and Natural Sciences, 2005.
- [13] B. S. Smith and E. Crowe, "Estimating periods of vibration of tall buildings", Journal of Structural Engineering, vol. 112, no. 5, pp. 1005-1019, 1986.
- [14] S. Bilyap, "Betonarme Yüksek Yapılarda Perde Çerçeve Sistemlerinin Yatay Kuvvetlere Göre Hesabı", Ege Üniversitesi Matbaası, 1979.
- [15] Y. Ertutar and B. Arisoy, "Computation of the shear stiffness for the combined shear wall with multi span systems", Housing Science, vol. 18, pp. 105-112, 1994.
- [16] K. A. Zalka, "A simplified method for calculation of the natural frequencies of wall-frame buildings", Engineering Structures, vol. 23, pp. 1544-1555, 2001.
- [17] C. Topkaya and C. O. Kurban, "Natural periods of steel plate shear wall systems", Journal of Constructional Steel Research, vol. 65, pp. 542-551, 2009.
- [18] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara, 2018.



1-heptanol/benzin karışımlarının kullanıldığı buji ateşlemeli motorun çalışma parametrelerinin Taguchi tasarım metodu ile iyileştirilmesi

Improving the operating parameters of the spark ignition engine using 1-heptanol / gasoline mixtures with Taguchi design method

¹Hayri Yaman , ²Murat Kadir Yeşilyurt , ³Samet Uslu

¹Kırıkkale Üniversitesi, Otomotiv Teknolojileri Programı, Kırıkkale, Türkiye

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye

³Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

¹hayriyaman@kku.edu.tr, ²kadir.yesilyurt@bozok.edu.tr

³sametuslu@karabuk.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 4 March 2021

Accepted : 21 March 2021

Keywords:

1-heptanol, Taguchi design, optimization, performance, spark ignition engine.

ABSTRACT

In this study, Taguchi design method supported by analysis of variance (ANOVA) was used to determine the optimum values of motor variables corresponding to optimum motor output. For the design, 1-heptanol ratio (HR), compression ratio (CR) and engine load were selected as engine variables, while the resulting brake thermal efficiency (BTE) and brake specific fuel consumption (BSFC) were selected as engine responses. Among the engine variables, three different values were selected as 0%, 5% and 15% for HR, 6.0:1, 8.0:1 and 10.0:1 for CR, 9, 18 and 27 Nm for load. According to the results, the optimum engine operating parameters required to obtain the best BTE and BSFC values were found to be 5% HR, 10.0:1 CR and 27 Nm load. BTE and BSFC based on optimum operating parameters were found to be 33.120% and 0.278 kg/kWh, respectively. When the results obtained from the optimization and the experimental results were compared, it was revealed that the optimization was successfully performed with an error of less than 10%.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 4 Mart 2021

Kabul : 21 Mart 2021

Anahtar Kelimeler:

1-heptanol, Taguchi tasarım, optimizasyon, performans, buji ateşlemeli motor.

ÖZET

Bu çalışmada, optimum motor çıkışına karşılık gelen motor değişkenlerinin optimum değerlerini saptamak için varyans analizi (ANOVA) destekli Taguchi tasarım metodu kullanılmıştır. Tasarım için 1-heptanol oranı (HO), sıkıştırma oranı (SO) ve motor yükü, motor değişkenleri olarak seçilirken, bu değişkenlere bağlı olarak ortaya çıkan fren efektif verim (FEV) ve fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) motor cevapları olarak seçilmiştir. Motor değişkenlerinden HO için %0, %5 ve %15, SO için 6.0:1, 8.0:1 ve 10.0:1, yük için 9, 18 ve 27 Nm olmak üzere üç farklı değer seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi FEV ve FÖYT değerlerinin elde edilmesi için gereken optimum motor çalışma parametreleri %5 HO, 10.0:1 SO ve 27 Nm yük olarak bulunmuştur. Optimum çalışma parametrelerine istinaden ortaya çıkan FEV ve FÖYT ise sırasıyla %33.120 ve 0.278 kg/kWh olarak bulunmuştur. Optimizasyondan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları kıyaslandığında ise %10'dan daha az bir hatayla optimizasyonun başarılı bir şekilde yapıldığı ortaya çıkmıştır.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda tüm dünyada artan teknolojik gelişmeler ve artan nüfusla birlikte aktif araç sayısı aşırı bir şekilde artmış ve buna bağlı olarak artan atmosfer ve çevre kirliliğinin yanında, yakıt rezervleri hızla azalmaya başlamıştır [1–5]. Bu sebeplerden dolayı araştırmacılar çevre dostu alternatif yakıt arayışına girmişlerdir [6–9]. Bu amaçla benzinli motorlarda benzine göre daha yüksek oksijen içeriğine sahip olmaları ve temiz yanma sağlaması nedeniyle alkollü yakıtlar yıllardır tercih edilmektedir [10–12]. Son yıllarda metanol, etanol gibi çoğunlukla fermantasyon işlemi ile biokütleden üretilen düşük karbonlu alkoller kıvılcım ateşlemeli motorlar için alternatif yakıt katkı maddeleri olarak kullanılmışlardır. Ancak, 1-heptanol'un de içerisinde bulunduğu yüksek karbonlu alkoller, düşük karbonlu alkollere kıyasla yüksek enerji yoğunlukları ve daha iyi karışım oluşturma kabiliyetleri gibi nedenlerden dolayı son yıllarda daha çok tercih edilmektedir [13–15]. 1-heptanol ve izomerlerinin benzinli motorlarda kullanımına ilişkin literatürde herhangi bir çalışma bulunmamakla birlikte, dizel motorların kullanımı ile ilgili çalışmalar vardır [14,16,17].

Alternatif yakıt arayışında bir yakıtın içten yanmalı motorda kullanımının uygunluğunun belirlenebilmesi için bir dizi deney yapılması gerekmektedir. Bu deneyler maliyetli olmasının yanında oldukça zaman da almaktadır. Bundan dolayı, alternatif yakıt arayışının daha verimli bir şekilde yapılabilmesi için araştırmacılar son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar yazılımlarına ve uygulamalarına yönelmişlerdir. Taguchi bu uygulamalardan biridir. Taguchi tasarımı, seçilen girdi değişkenlerinden hangisinin daha etkili olduğunu ortaya çıkaran ve tüm değişkenlerin optimum seviyelerini belirleme becerisine sahip bir uygulamadır [18,19]. Taguchi tasarımı metodunun içten yanmalı motorlarda kullanımı ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Uslu ve Aydın [20] alternatif yakıt olarak dietil eter/palmiye yağı biyodizel/dizel karışımlarını kullandığı tek silindirli dizel motorda optimum karışım oranını ve aynı zamanda optimum püskürtme avansı ve motor yükü seviyeleri belirlemek amacıyla Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Üç seviyeli dört faktör olarak seçtikleri deney tasarımı için Taguchi L_{27} ortogonal dizisini kullanmışlardır. Emisyonlar için genel olarak yüksek dietil eter oranlarının ve düşük palmiye yağı oranlarının en iyi seviyeleri olduğu sonucuna varmışlardır. Performans parametreleri açısından bakıldığında ise düşük dietil eter oranları, düşük püskürtme avansı ve ortalama motor yükü değerlerinde en iyi çıkışlar elde edilmiştir. Sonuç olarak yazarlar Taguchi yönteminin dizel motorun optimizasyonu için başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ansari vd. [21] polanga biyodizel/dizel yakıt karışımlarının kullanıldığı dizel motorda giriş parametrelerinin seviyeleri üzerinde analiz yapmak amacıyla Taguchi yöntemini tercih etmişlerdir. Giriş parametreleri olarak biyodizel oranı, püskürtme zamanı ve püskürtme basıncını seçmişlerdir. Performans değerlendirmesine göre 220 bar püskürtme basıncında %30 polanga biyodizel karışımına sahip motorun çalışma koşullarının dizel ile yakın sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada elde edilen optimum FEV, hidrokarbon, azot oksitler ve is emisyon değerleri, üst ölü noktadan 15° önce yakıt püskürtme zamanlaması ve 200 bar püskürtme basıncı ile %30 polanga biyodizel karışımında sırasıyla %32.59, 20.3 ppm, 551 ppm ve %94.2'dir. Sonuçlara dayanarak, polanga biyodizel karışımlarının yukarıda belirtilen çalışma koşullarına göre dizele alternatif olarak direkt enjeksiyonlu dizel motora uygulanabilen önemli bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir. Balki vd. [22] saf benzin, etanol ve metanol kullanılan buji ateşlemeli motorda minimum sayıda motor testi ile en iyi motor performansını ve egzoz emisyonlarını elde etmek için optimum çalışma parametrelerini bulmak amacıyla Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Bu amaçla, test motoru farklı sıkıştırma oranı, motor devri ve ateşleme zamanlaması altında çalıştırıldı. Sonuca göre tüm yakıtlar için optimum sıkıştırma oranı ve motor devri değeri 9.0:1 ve 2400 d/d olarak bulunmuştur. Jena vd. [23] biyodizel / dizel yakıt karışımları ile çalışan dizel motorda motor yükü, SO ve karışım oranının BTE ve NO_x üzerindeki etki derecelerini belirlemek ve optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlar ve optimum motor koşullarının %100 motor yükü, 17.5:1 SO ve %20 karışım oranı olduğunu tespit etmişlerdir. Rai ve Sahoo [24] alternatif yakıt olarak biyodizel kullandıkları dizel motorda Taguchi ile deney tasarımı yapmışlar ve farklı SO, farklı motor yükleri ve farklı karıştırma oranları ile deneyleri gerçekleştirmişlerdir. 17.0:1 SO değeri, 10 kg motor yükü ve %30 karışım oranını optimum değerler olarak belirlemişlerdir.

Yakıt olarak 1-heptanol kullanımına ilişkin önceki çalışmaların detaylı araştırması sonucunda, 1-heptanolün dizel motorlarda kullanımı ile alakalı birçok çalışma olmasına rağmen, buji ateşlemeli motorlarda 1-heptanol kullanımına ilişkin güvenilir çalışmalara rastlanamamıştır. Bu çalışmanın öncelikle buji ateşlemeli motorlar için yeni bir yakıt türünü test etmeyi amaçladığı söylenebilir. Öte yandan gelişen teknoloji ile birlikte yakıt olarak 1-heptanol ile yapılan birçok deney yerine birkaç deney yaparak hem zamandan hem de masraftan kaçınmak ve aynı zamanda optimum yakıt yüzdesini ve çalışma koşullarını belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla, 1-heptanol/benzin karışımları ile çalışan tek silindirli buji ateşlemeli bir motorun optimum motor çıkışına karşılık gelen motor değişkenlerinin optimum değerlerini saptamak için Taguchi tasarım metodu kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Taguchi tasarımı, çeşitli motor çalışma değişkenlerinin optimizasyonu için dikey sütunlar oluşturarak, mümkün olan en az deneyle optimum motor değişkenlerini ve motor çıkışlarını belirleyebilen ve deney sırasında harcanan zaman ve parayı azaltarak istatistiksel tasarım oluşturan etkili bir araçtır [20]. Ayrıca, Taguchi seçilen

değişkenlerin yanıtlar üzerindeki etkisinin bir ölçüsünü sağlayan sinyal-gürültü (S / N) oranı oluşturur. Daha büyük bir S / N oranı, bu değişken için en iyi seviyeyi göstermektedir [25]. “Daha büyük daha iyidir”, “daha küçük daha iyidir” ve “nominal en iyisidir” olmak üzere birkaç S / N oranı vardır. Bu çalışmada, FEV için 'daha büyük daha iyidir' ve FÖYT için 'daha küçük daha iyidir' seçenekleri kullanılmıştır. S/N oranları, aşağıda verilen (1) ve (2) nolu denklemler kullanılarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} & \text{'Daha büyük daha iyidir';} \\ S/N &= -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{'Daha küçük daha iyidir';} \\ S/N &= -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \end{aligned} \quad (2)$$

Burada n test sayısı, i tasarım parametresi sayısı ve y_i de her bir test sonucunu ifade etmektedir.

Taguchi tasarım ile yapılan deney tasarımı Tablo 1’de gösterilmektedir. Deney tasarımına göre üç farklı 1-heptanol yüzdesinde (%0, %5 ve %15), üç farklı SO (6.0:1, 8.0:1 ve 10.0:1) değerinde ve üç farklı motor yükünde (9, 18 ve 27 Nm) deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Deneyler tek silindirli, dört zamanlı, SO ayarlanabilir Kirloskar marka benzinli motorda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Üç seviyeli üç değişkenin Taguchi tasarımı

Deneme	F1 (HO)	F2 (SO)	F3 (Yük)
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3
19	3	1	1
20	3	1	2
21	3	1	3
22	3	2	1
23	3	2	2
24	3	2	3
25	3	3	1
26	3	3	2
27	3	3	3

Tablo 2. Yakıt özellikleri

	Benzin	1-heptanol
Kimyasal formül	$C_8H_{18}-C_7H_{16}$	$C_7H_{16}O$
Yoğunluk (g/cm^3)	0.720-0.775	0.819
Oksijen içeriği (% kütleli)	0	14.13
Alt ısı değeri (MJ/kg)	44.0	34.65
40 °C'deki kinematik viskozite (mm^2/s)	0.5-0.6	3.320

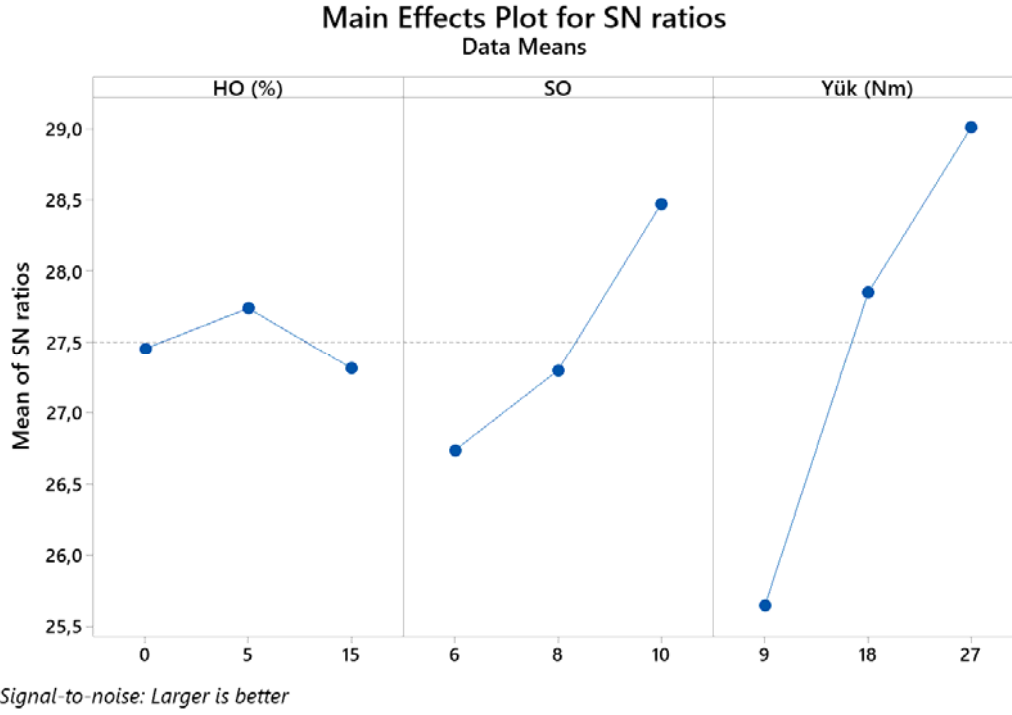
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Seçilen motor değişkenlerinin orantısal etkisini tanımlamak için ANOVA kullanılmıştır. ANOVA, çeşitli faktör düzeylerinde yanıt faktörü araçlarını karşılaştırarak bir veya daha fazla değişkenin önemini değerlendirir. Bu çalışmada, 1-heptanol/benzin karışımları kullanılarak seçilen motor değişkenlerinin FEV ve FÖYT üzerindeki etkilerini belirlemek için ANOVA uygulanmıştır. FEV ve FÖYT için ANOVA sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir. Bu çalışma %95 güven derecesinde yapıldığı için bir faktörün cevap üzerinde etkili olduğundan bahsedebilmek için o faktörün p-değerinin 0.05'ten düşük olması gerekmektedir. Aynı zamanda, F-değerinin de yüksek olması gerekmektedir. ANOVA tablosuna göre, FEV üzerindeki etkiler incelendiğinde, lineer açıdan HO'nun kayda değer bir etkisinin olmadığı, diğer yandan ise SO ve motor yükünün etkili faktörler olduğu söylenebilir. Aynı zamanda, FÖYT üzerindeki durum incelendiğinde FEV için elde edilen sonuçlarla benzer sonuçlarla karşılaşılmaktadır.

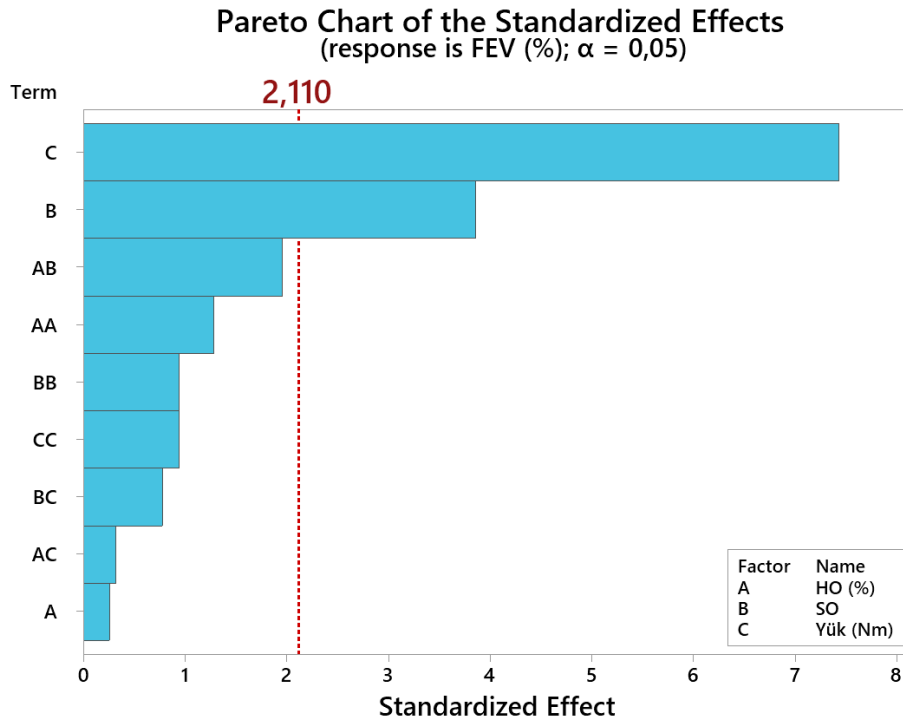
Tablo 3. FEV ve FÖYT için ANOVA sonuçları

	FEV		FÖYT	
	F-değeri	p-değeri	F-değeri	p-değeri
Model	7.85	0.000	53.29	0.000
Lineer	21.74	0.000	146.92	0.000
A- HO	0.05	0.818	0.50	0.488
B- SO	15.40	0.001	55.54	0.000
C- Yük	49.77	0.000	384.72	0.000
Kare	1.07	0.389	10.70	0.000
A²	1.63	0.219	0.07	0.800
B²	0.78	0.388	17.35	0.001
C²	0.78	0.388	14.70	0.001
Etkileşim	0.75	0.537	2.24	0.121
A*B	1.55	0.231	0.04	0.836
A*C	0.18	0.679	2.56	0.128
B*C	0.53	0.476	4.12	0.058
Hata payı	7.36%		3.27%	
R²	93.64%		96.73%	
Adj. R²	92.45%		95.00%	
Pred. R²	88.22%		91.20%	

Taguchi'den FEV için elde edilen S/N oranları Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekle bakıldığında, %5 heptanol, 10 SO ve 27 Nm motor yükü değerleri en iyi FEV değerinin elde edileceği motor değişkenleri olarak tespit edilmiştir. Şekil 2'de gösterilen Pareto grafiğine göre kırmızı kesikli düşey çizginin sağında oldukları için yük ve SO FEV üzerindeki etkili motor değişkenleri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, FEV için elde edilen regresyon denklemi de denklem (3)'te verilmiştir. SO'nun artan değeri ile birlikte silindir içi sıcaklık ve basıncın arttığı ve dolayısıyla FEV değerinin yükseldiği bilinen bir durumdur. En iyi FEV için SO değerinin maksimum çıkması beklenen bir durum olmuştur. SO'ya benzer bir şekilde artan motor yükü de FEV'in artmasını sağlayan bir değişkendir. Artan motor yükü ile silindir içi sıcaklık ve basınç artar ve FEV artış gösterir. En iyi FEV değerinin en yüksek yük değeri olan 27 Nm'de elde edilmesi de beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmıştır. Diğer taraftan, 1-heptanol, içerisinde oksijen ihtiva eden bir yakıt türüdür. Dolayısıyla, artan HO ile birlikte FEV yükselmiştir. Ancak, %5'ten daha fazla HO değeri ile birlikte FEV tekrar azalma eğilimine girmiştir. 1-heptanolun alt ısı değerinin benzine kıyasla düşük olması nedeniyle karışım içerisindeki HO arttıkça karışımın alt ısı değerinin çok düşmesinden dolayı FEV'deki bu düşmenin gerçekleştiği düşünülmektedir.



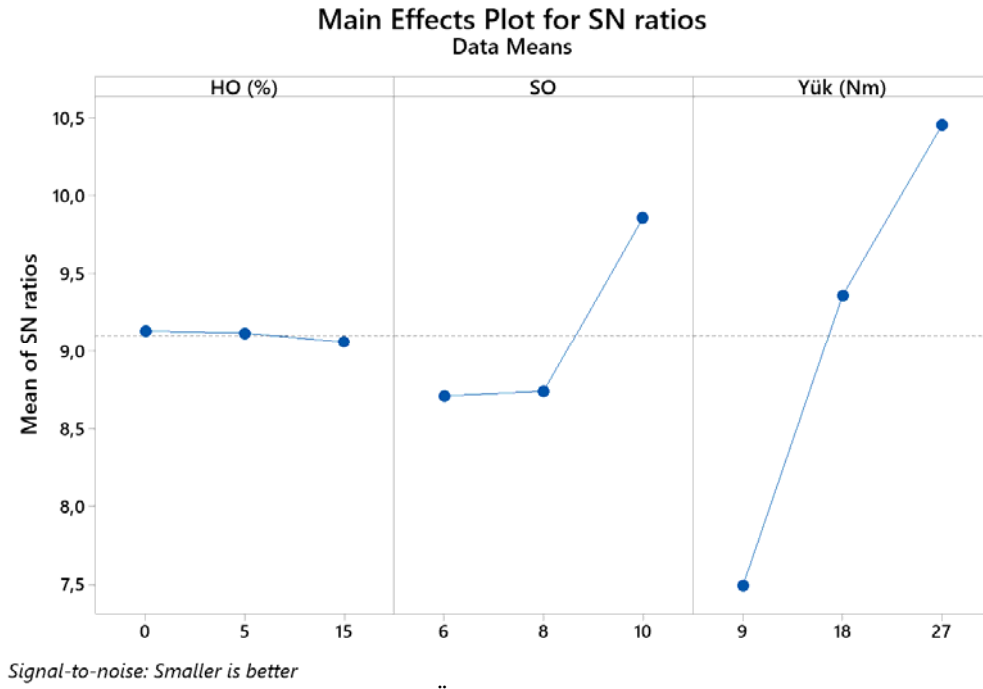
Şekil 1. FEV için S/N oranları



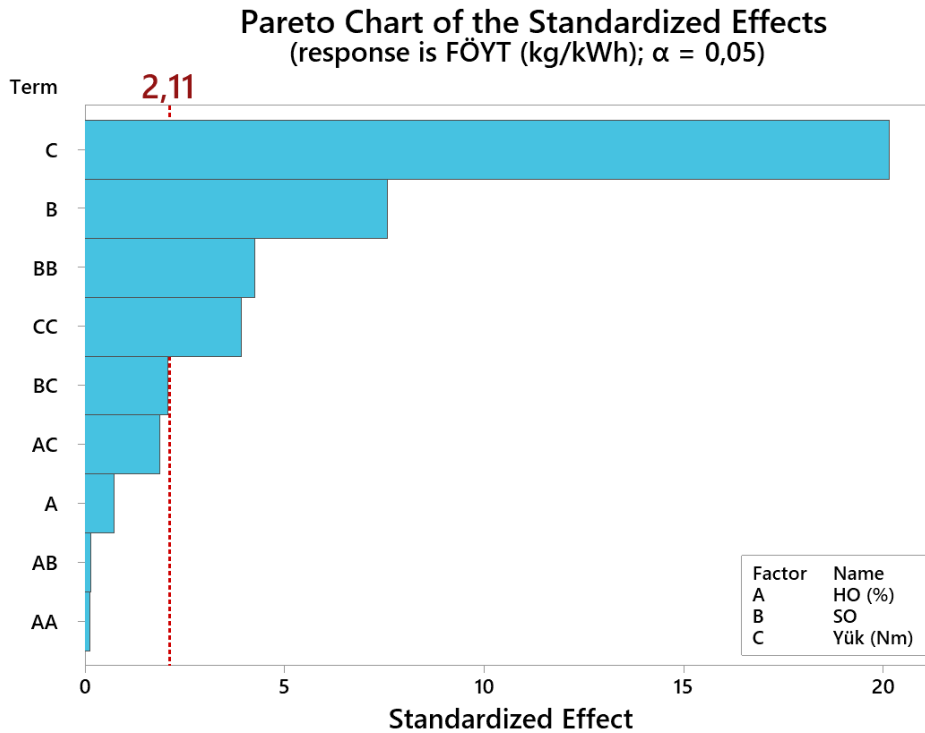
Şekil 2. FEV için Pareto grafiği

$$\begin{aligned} \text{FEV} = & 17,9 + 1,198 \text{ HO} - 2,79 \text{ SO} + 0,655 \text{ Yük} - 0,0573 \text{ HO} * \text{HO} + 0,248 \text{ SO} * \text{SO} \\ (\%) & - 0,0123 \text{ Yük} * \text{Yük} - 0,0986 \text{ HO} * \text{SO} + 0,0074 \text{ HO} * \text{Yük} + 0,0321 \text{ SO} * \text{Yük} \end{aligned} \quad (3)$$

Şekil 3 ve Şekil 4'te FÖYT için sırasıyla S/N oranları ve Pareto grafiği gösterilmektedir. S/N oranları grafiğine göre en iyi FÖYT değeri için optimum motor değişkenleri HO için %0, SO için 10.0:1 ve yük için 27 Nm olarak tespit edilmiştir. FÖYT üzerindeki en etkin değişkenler ise SO ve yük olarak bulunmuştur. Motordan aynı çıkış gücünün alınabilmesi için alt ısı değeri düşük olan yakıttan daha fazla kullanılması gerekmektedir. 1-heptanol benzine kıyasla daha düşük bir alt ısı değeri düşük olduğu için, artan HO ile birlikte FÖYT olumsuz olarak etkilenmiştir. FEV değerinde olduğu gibi, artan SO ve yük değerleri FÖYT değerini de olumlu yönde etkilemiştir ve en düşük FÖYT değerleri en yüksek SO ve yük seviyelerinde elde edilmiştir. FÖYT için elde edilen regresyon denklemi, denklem (4)'te verilmiştir.



Şekil 3. FÖYT için S/N oranları



Şekil 4. FÖYT için Pareto grafiği

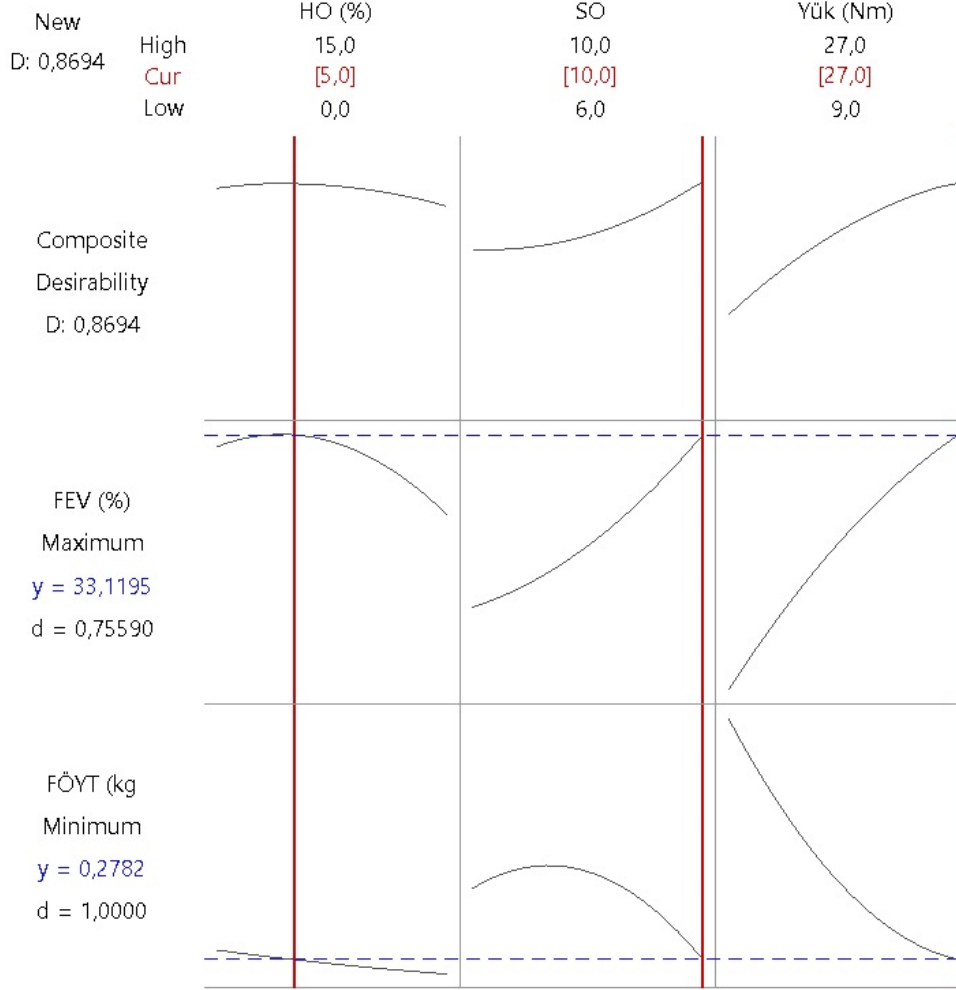
$$\begin{aligned} \text{FÖYT (kg/kWh)} = & 0.3392 + 0.00299 \text{ HO} + 0.0714 \text{ SO} - 0.01885 \text{ Yük} + 0.000056 \text{ HO} * \text{HO} - 0.00565 \text{ SO} * \text{SO} \\ & + 0.000257 \text{ Yük} * \text{Yük} - 0.000081 \text{ HO} * \text{SO} - 0.000136 \text{ HO} * \text{Yük} + 0.000432 \text{ SO} * \text{Yük} \end{aligned} \quad (4)$$

Bu çalışmadaki optimizasyonun amacı, FEV'i maksimize ederken, eş zamanlı olarak FÖYT'ü en aza indirmektir. Yukarıdaki bölümde gösterilen S/N oranları grafiklerinde her motor çıkışı için ayrı ayrı optimum sonuçlar belirlenmiş ancak bu bölümde tüm çıktıların optimizasyonu eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon kriterleri Tablo 4'te verilmiştir. Bu kriterlere göre optimizasyondan elde edilen sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Optimizasyondan elde edilen %5 HO, 10.0:1 SO ve 27 Nm motor yükü optimum çalışma parametrelerine istinaden ortaya çıkan FEV ve FÖYT ise sırasıyla %33.120 ve 0.278 kg/kWh olarak bulunmuştur. Ayrıca, optimizasyonun performansını değerlendirmek amacıyla bir doğrulama çalışması yapılmıştır. Tablo 5'te gösterilen doğrulama çalışmasına göre optimizasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hata %10'dan daha az bulunmuştur. FEV

ve FÖYT için test ve optimizasyon sonuçlarının grafiksel kıyaslanması sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmektedir.

Tablo 4. Optimizasyon kriterleri

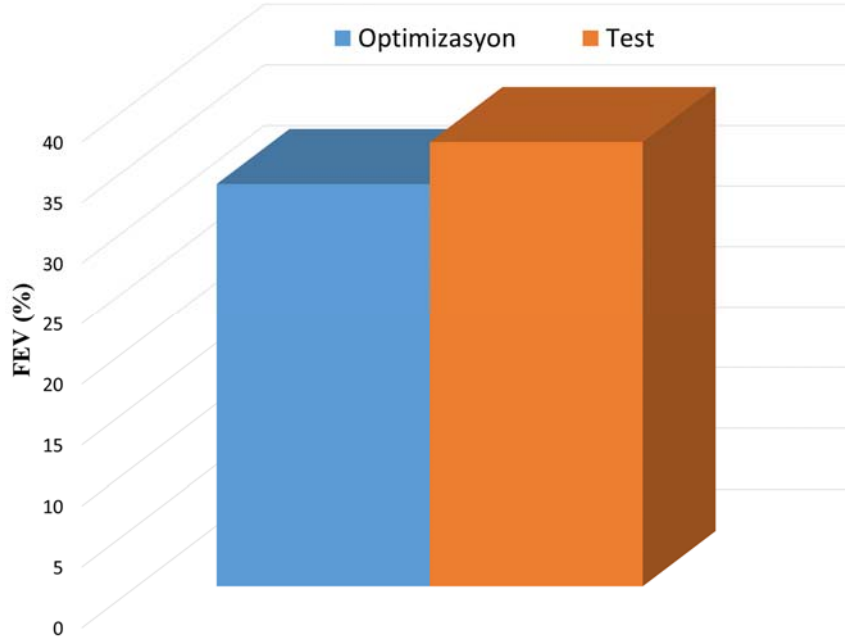
	Amaç	Alt sınır	Üst sınır
HO (%)	Aralığında	0	15
SO	Aralığında	6	10
Yük (Nm)	Aralığında	9	27
FEV (%)	Maksimuma çıkar	16.21	38.58
FÖYT (kg/kWh)	Minimuma düşür	0.28	0.46



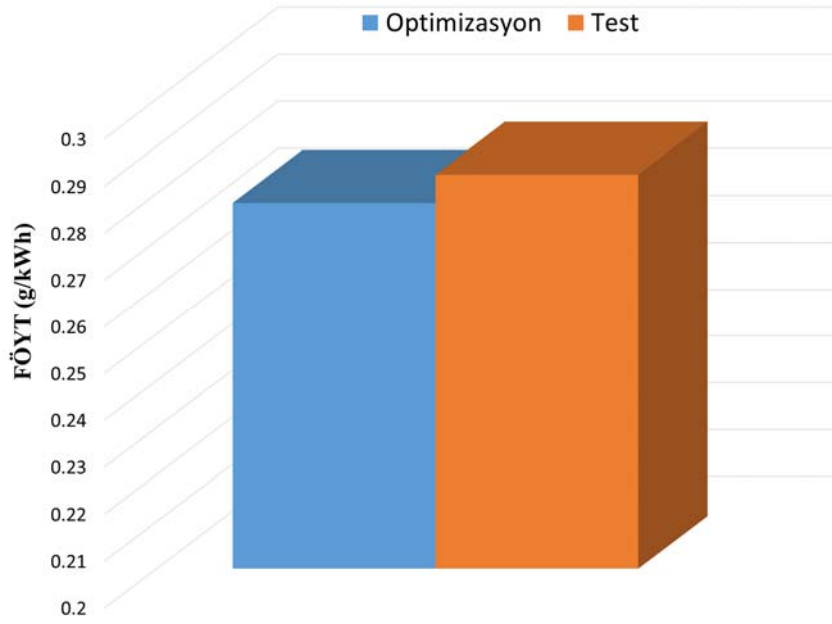
Şekil 5. Optimizasyon sonuçları

Tablo 5. Doğrulama

HO (%)	SO	Yük (Nm)	Değer	FEV (%)	FÖYT (kg/kWh)
5	10.0:1	27	Optimizasyon	33.120	0.278
			Test	36.580	0.284
			Hata (%)	9.46	2.11



Şekil 6. FEV için optimizasyon ve test sonuçlarının grafiksel kıyaslanması



Şekil 7. FÖYT için optimizasyon ve test sonuçlarının grafiksel kıyaslanması

4. SONUÇ

Bu çalışmada tek silindirli buji ateşlemeli motorda çalışma parametreleri 1-heptanol oranı, sıkıştırma oranı ve motor yükü seçilerek bir iyileştirme çalışması yapılmıştır. En iyi FEV ve FÖYT değerlerini tespit etmek için optimum motor değişkenleri belirlenmiştir. Bunun için ANOVA ve Pareto grafikleri ile desteklenen Taguchi tasarım yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

- ✓ %5 HO, 10.0:1 SO ve 27 Nm motor yükü optimum çalışma parametreleri olarak tespit edilmiştir.
- ✓ Optimum motor değişkenlerine istinaden ortaya çıkan optimum FEV ve FÖYT ise sırasıyla %33.120 ve 0.278 kg/kWh olarak bulunmuştur.

- ✓ Taguchi sonuçlarını deney sonuçları ile karşılaştırmak için yapılan doğrulama çalışmasına göre FEV ve FÖYT için hata oranları sırasıyla %9.46 ve %2.11 olarak bulunmuştur.
- ✓ Geleneksel deneysel çalışma ve Taguchi tasarımının kombinasyonu ile seçilen değişkenlerin motor üzerindeki etkilerinin hızlı ve verimli bir şekilde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Yazar Katkıları

Hayri Yaman ve Murat Kadir Yeşilyurt tüm deneyleri tasarlamıştır ve gerçekleştirmişlerdir. Samet Uslu sonuçları analiz etmiş ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

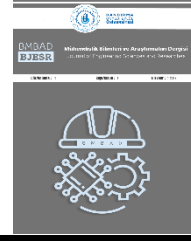
Kısaltmalar

<i>ANOVA</i>	Varyans Analizi
<i>FEV</i>	Fren Etkif Verimi
<i>FÖYT</i>	Fren Özgöl Yakıt Tüketimi
<i>HO</i>	1-heptanol Oranı
<i>i</i>	Tasarım Parametresi Sayısı
<i>n</i>	Test Sayısı
<i>SO</i>	Sıkıştırma Oranı
<i>S/N</i>	Sinyal-Gürültü
<i>y_i</i>	Her Bir Test Sonucu

KAYNAKÇA

- [1] M.K. Yesilyurt "The effects of the fuel injection pressure on the performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with waste cooking oil biodiesel-diesel blends", Renewable Energy, vol. 132, pp. 649–666, 2019.
- [2] A. Biswal, R. Kale, G.R. Teja, S. Banerjee, P. Kolhe, and S. Balusamy "An experimental and kinetic modeling study of gasoline/lemon peel oil blends for PFI engine", Fuel, vol. 267, 2020.
- [3] X. Zhen, Y. Wang, and D. Liu "Bio-butanol as a new generation of clean alternative fuel for SI (spark ignition) and CI (compression ignition) engines", Renewable Energy, vol. 147, no 1, pp. 2494–2521, 2020.
- [4] M. Passaponti, L. Rosi, M. Savastano, W. Giurlani, H.A. Miller, A. Lavacchi, J. Filippi, G. Zangari, F. Vizza, and M. Innocenti "Recycling of waste automobile tires: Transforming char in oxygen reduction reaction catalysts for alkaline fuel cells", Journal Of Power Sources, vol. 427, pp. 85–90, 2019.
- [5] S.P. Jagtap, A.N. Pawar, and S. Lahane "Improving the usability of biodiesel blend in low heat rejection diesel engine through combustion, performance and emission analysis", Renewable Energy, vol. 155, pp. 628–644, 2020.
- [6] S. Uslu, and M.B. Celik "Performance and Exhaust Emission Prediction of a SI Engine Fueled with I-amyl Alcohol-Gasoline Blends: An ANN Coupled RSM Based Optimization", Fuel, vol. 265, pp. 116922, 2020.
- [7] B.G. Şanlı, E. Uludamar, and M. Özcanlı "Evaluation of energetic-exergetic and sustainability parameters of biodiesel fuels produced from palm oil and opium poppy oil as alternative fuels in diesel engines", Fuel, vol. 258, 2019.
- [8] M.K. Yesilyurt "A detailed investigation on the performance, combustion, and exhaust emission characteristics of a diesel engine running on the blend of diesel fuel, biodiesel and 1-heptanol (C7 alcohol) as a next-generation higher alcohol", Fuel, vol. 275, pp. 117893, 2020.
- [9] D. Leite, R.F. Santos, D. Bassegio, S.N.M. de Souza, D. Secco, F. Gurgacz, T.R.B. da Silva "Emissions and performance of a diesel engine affected by soybean, linseed, and crambe biodiesel", Industrial Crops & Products, vol. 130, pp. 267–272, 2019.
- [10] S. Uslu, and M.B. Celik "Combustion and emission characteristics of isoamyl alcohol-gasoline blends in spark ignition engine", Fuel, vol. 262, 2020.
- [11] M. Zaharin, N. Abdullah, G. Najafi, H. Sharudin, and T. Yusaf "Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review.", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 79, pp. 475–493, 2017.
- [12] Y. Li, Y. Chen, G. Wu, C. Lee, F. Fon, and J. Liu "Experimental Comparison of Acetone-n-Butanol-Ethanol (ABE) and Isopropanol-n-Butanol-Ethanol (IBE) As Fuel Candidate In Spark-Ignition Engine", Applied Thermal Engineering, vol. 133, pp. 179–187, 2018.

- [13] M.A. Ratcliff, J. Luecke, A. Williams, E. Christensen, J. Yanowitz, A. Reek, and R.L. McCormick "Impact of Higher Alcohols Blended In Gasoline On Light-Duty Vehicle Exhaust Emissions", *Environmental Science And Technology*, vol. 47, no. 23, pp. 13865–13872, 2013.
- [14] M. Nour, A. Attia, and S. Nada "Combustion, performance and emission analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends", *Energy Conversion And Management*, vol. 185, pp. 313–329, 2019.
- [15] S. Mani Sarathy, S. Park, B.W. Weber, W. Wang, P.S. Veloo, A.C. Davis, C. Togbe, C.K. Westbrook, O. Park, G. Dayma, Z. Luo, M.A. Oehlschlaeger, F.N. Egolfopoulos, T. Lu, W.J. Pitz, C.J. Sung, and P. Dagaut "A comprehensive experimental and modeling study of iso-pentanol combustion", *Combustion and Flame*, vol. 160, np. 12, pp. 2712–2728, 2013.
- [16] A.I. EL-Seesy, H. Kosaka, H. Hassan, and S. Sato "Combustion and emission characteristics of a common rail diesel engine and RCEM fueled by n-heptanol-diesel blends and carbon nanomaterial additives", *Energy Conversion And Management*, vol. 196, pp. 370–394, 2019.
- [17] M. K. Yesilyurt "The examination of a compression-ignition engine powered by peanut oil biodiesel and diesel fuel in terms of energetic and exergetic performance parameters", *Fuel*, vol. 278, pp. 118319, 2020.
- [18] S. Uslu "Optimization of diesel engine operating parameters fueled with palm oil-diesel blend: Comparative evaluation between response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN)", *Fuel*, vol. 276, pp. 117990, 2020.
- [19] Y. Singh, A. Sharma, G.K. Singh, A. Singla, and N.K. Singh "Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with pongamia methyl esters-response surface methodology approach", *Industrial Crops & Products*, vol. 126, pp. 218–226, 2018.
- [20] S. Uslu, and M. Aydın "Effect of operating parameters on performance and emissions of a diesel engine fueled with ternary blends of palm oil biodiesel/diethyl ether/diesel by Taguchi method", *Fuel*, vol. 275, pp. 117978, 2020.
- [21] N.A. Ansari, A. Sharma, and Y. Singh "Performance and emission analysis of a diesel engine implementing polanga biodiesel and optimization using Taguchi method", *Process Safety And Environmental Protection*, vol. 120, pp. 146–154, 2018.
- [22] M.K. Balki, C. Sayin, and M. Sarıkaya "Optimization of the operating parameters based on Taguchi method in an SI engine used pure gasoline, ethanol and methanol", *Fuel*, vol. 180, pp. 630–637, 2016.
- [23] S.P. Jena, S. Mahapatra, and S.K. Acharya, "Optimization of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with Karanja biodiesel using Grey-Taguchi method", *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [24] R.K. Rai, and R.R. Sahoo, "Taguchi-Grey method optimization of VCR engine performance and heat losses by using Shorea robusta biodiesel fuel", *Fuel*, vol. 281, pp. 118399, 2020.
- [25] P.K. Bose, M. Deb, R. Banerjee, and A. Majumder "Multi objective optimization of performance parameters of a single cylinder diesel engine running with hydrogen using a Taguchi-fuzzy based approach", *Energy*, vol. 63, pp. 375–386, 2013.



Application of Intelligent Optimization Techniques to Spectral and Energy Efficiencies in Massive MIMO Systems at Different Circuit Power Levels

Yığın MIMO Sistemlerde Spektral ve Enerji Verimliliklerine Farklı Devre Gücü Seviyelerinde Zeki Optimizasyon Tekniklerinin Uygulanması

¹Burak Kürşat Gül , ¹Necmi Taşpınar

¹ Department of Electrical and Electronics Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey

¹burak.gul@erciyes.edu.tr, ²taspinar@erciyes.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 9 March 2021

Accepted : 22 March 2021

Keywords:

Massive MIMO, Spectral Efficiency, Energy Efficiency, Intelligent Optimization Techniques

ABSTRACT

In cellular communications, whose usage continues to increase day by day, it is seen as a necessity to increase the area throughput in order to avoid data traffic density problems. For this, it is aimed to increase spectral efficiency by using massive multi-input multi-output systems and also to keep energy efficiency high. It is known that spectral and energy efficiencies can increase with different number of user equipment served in the cell, number of active antennas and values of the transmission power. By using intelligent optimization techniques, optimum combinations of these three variables can be determined and samples with both high spectral and energy efficiencies at the same time can be obtained. In this paper, multi-objective genetic algorithm, multi-objective particle swarm optimization and multi-objective differential evolution algorithm are applied on three different circuit power sets and then results obtained are evaluated.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 9 Mart 2021

Kabul : 22 Mart 2021

Anahtar Kelimeler:

Yığın MIMO, Spektral Verimliliği, Enerji Verimliliği, Zeki Optimizasyon Teknikleri

ÖZET

Kullanımı her geçen gün artamaya devam eden hücresel iletişimlerde, trafik yoğunluğu sorunu yaşanmaması adına alan iş çıkarım yeteneğinin artırılması gereklilik olarak görülmektedir. Bunun için yığın çok girişli çok çıkışlı sistemler kullanılarak spektral verimliliğin artırılması ve beraberinde enerji verimliliğin yüksek tutulması hedeflenmektedir. Hücre içerisinde hizmet verilen kullanıcı sayısı, kullanılan aktif anten sayısı ve iletim gücünün çeşitli değerleri için spektral ve enerji verimliliklerinin artabildiği bilinmektedir. Zeki optimizasyon teknikleri kullanılarak bahsi geçen üç değişkene ait optimum kombinasyonlar tespit edilerek spektral ve enerji verimliliklerinin aynı anda yüksek olduğu örnekler elde edilebilmektedir. Bu çalışmada çok amaçlı genetik algoritma, çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu ve çok amaçlı diferansiyel gelişim algoritması üç farklı devre gücü seti üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

The usage of cellular communication is also becoming widespread with the widespread usage of wireless communication systems, which have managed to become an indispensable part of our daily life thanks to the facilities they provide. The increase in both the number of cellular network users and the amount of data interacted through these communication systems is very rapid. This increase in data usage is so high that the area throughput (TR) may need to increase hundreds of times in order to avoid density problems in cellular network data traffic [1].

Increasing spectral efficiency (SE) in cellular communications is one of the actions to increase area throughput. This term, which expresses the usage efficiency of the unit transmission band, means the number of bits successfully transmitted with each complex valued information sample. Spectral efficiency can increase by increasing some parameters such as the number of active antennas, but these situations generally cause extremely high energy consumption [1]. Nowadays, high energy efficiency (EE) is desired because high energy consumption is not an acceptable situation due to both being harmful to the environment and economic reasons [2]. Expressing the number of successful bits transmitted with unit energy, energy efficiency generally decreases at the points where SE increases, and there is a trade-off between these two values.

It is known that high SE [3-6] and high EE [7-11] levels can be seen using massive multi-input multi-output (massive MIMO) systems, which are known to serve a large number of users by using a large number of antennas. Improvement studies can be made on the trade-off between SE-EE by using Massive MIMO systems [12-13]. There are studies in which some factors (beamforming vector, power allocation etc.) are tried to be optimized in massive MIMO systems [14-17]. Studies to improve the SE-EE trade-off through intelligent optimizations are known [18-20]. There are studies in which the most appropriate values of SE-EE trade-off are determined by accepting some parameters as independent variables for intelligent optimization techniques [21-22]. In these studies, SE-EE trade-off is optimized with respect to the transmit power and number of active antennas. In [21] two new methods have been developed from particle swarm optimization (PSO), which are weighted-sum PSO and normal-boundary-intersection PSO, to solve the multi-objective optimization (MOO) problem. In the study linear zero forcing, maximum ratio transmission precoding and random transmit antenna selection are used. In [22] a multi-objective adaptive genetic algorithm (MAGA) is developed in which fitness assignment and mating selection stages have been improved. This algorithm, which relies only on non-dominated SE-EE values in the gene pool, has been found to be more successful compared to some other algorithms.

In the rest of the paper, detailed information about the system modelling and the working principle are given in Section 2. Simulation results and evaluation of the obtained results are given in Section 3. Finally inferences made from the results are given in Section 4.

2. SYSTEM MODEL

The basic mentality of massive MIMO systems is that the number of active users (K) and the number of active antennas in the cell (M) increases considerably, and consequently, more successful cellular communication is provided. In these systems, it is known that the cellular system can be used in a much more resistant way against intra-cell interference, inter-cell interference and noise by providing the $M \gg 1$ and $M > K$ conditions [1]. In standard massive MIMO systems, time-division duplex (TDD) is used because this technique requires fewer pilot bits due to its reciprocal nature. Figure 1 shows an example of TDD and an example of a coherence block. Each coherence block contains as many complex-valued samples as multiplied of coherence time (T_c) and coherence bandwidth (B_c).

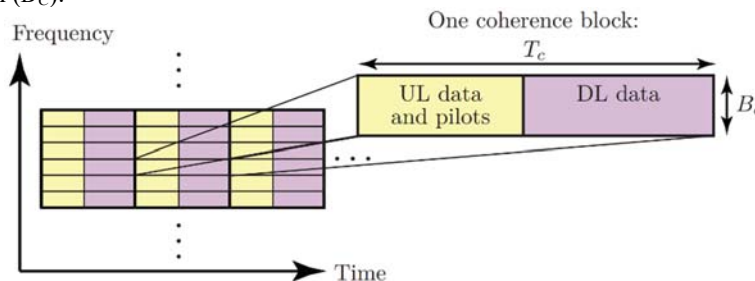


Figure 1. TDD multicarrier modulation scheme [1].

The first step of the calculations of the study is the creation of the arbitrary cells. At this stage, arbitrary cells and correlated Rayleigh fading channels are created according to the instantaneous values of K , M and transmission power (p) independent variables as represented in (1):

$$[SE, EE] = \text{Calculate}(K, M, p) \quad (1)$$

Then the spatial correlation matrices (R) of these channels are created and the average channel gains are calculated. After these processes, the realization and channel estimations of the channels are made. These data obtained are used in the calculation of spectral efficiency and energy efficiency values. While calculating the instant spectral efficiency, certain ratios of SE values on the uplink (UL) and on the downlink (DL) directions are collected as represented in (2). SE in UL direction represents detecting information signal with a linear acquisition combination whereas SE in DL direction is determined by choosing the larger of the hardening bound or the estimation bound [1].

$$SE_j = \sum_{k=1}^{K_j} (m SE_{jk}^{UL} + n \max(\underline{SE}_{jk}^{DL}, SE_{jk}^{DL})) \quad (2)$$

where j is the number of cells and k is the number of users. $\underline{SE}^{DL}$ represents hardening bound of SE in DL direction and SE^{DL} represents estimation bound of SE in DL direction.

When the SE calculation is complete, the EE value is calculated for the same combination of input parameters. This calculation is as in (3):

$$EE_j = \frac{TR_j}{ETP_j + CP_j} \quad (3)$$

Here TR is obtained by multiplying SE with bandwidth (B) and then it is divided by the sum of effective transmit power (ETP) and circuit power (CP) [1]. Circuit power consists the sum of fixed power, transceiver chains power, channel estimation power, coding/decoding power, load-dependent backhaul power and signal processing power.

A databank is created by making calculations for all permutations of independent variables in the specified ranges, and the true Pareto optimal front (POF) of these data is determined. An example of this operations is given in Figure 2. Here, SE and EE pairs calculated for all input values in specified ranges are shown with green curves, while true Pareto optimal front, which is the combination of all non-dominated points, is shown in red. When POF is examined, it is seen that this curve is neither concave nor convex type and whether it increases or decreases in a certain order. It is one of the preferred methods to estimate the Pareto curve by obtaining sample points close to this curve with successful intelligent optimization techniques, instead of complex and long-time determination of this curve, which cannot be obtained with a simple formula.

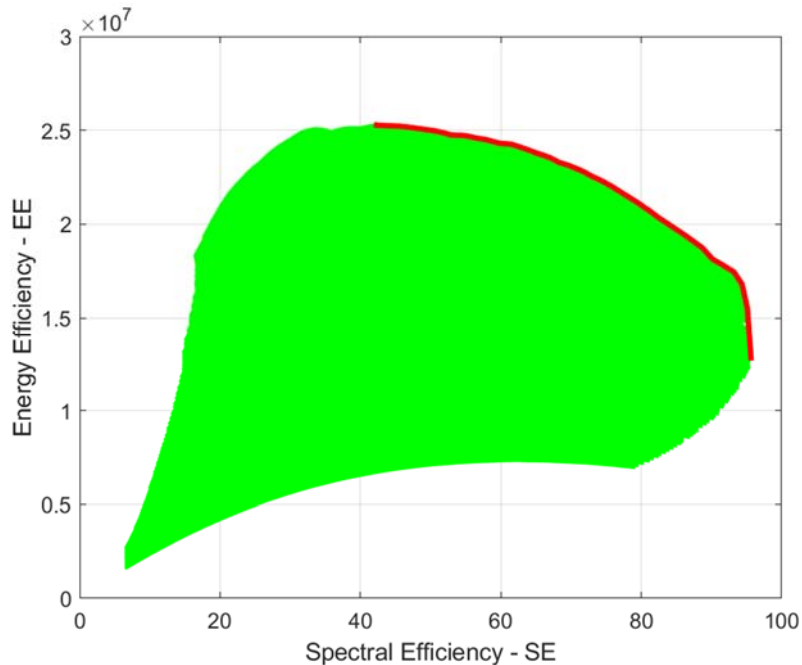


Figure 2. SE-EE values in cases where various independent variables are used.

With usage of intelligent optimizations, without determining all possibilities of the SE-EE trade-off, successful combinations are found so non-dominated SE-EE values are able to be determined in a much shorter time. In this paper, some multi-objective optimizations have been used since SE and EE are tried to be found at the same time. These are the multi-objective genetic algorithm (MOGA), multi-objective particle swarm optimization (MOPSO), and multi-objective differential evolution algorithm (MODEA).

The two basic stages of MOGA are crossover and mutation stages, and these operations are applied with certain probabilities to random elements. In the crossover stage, a new member is tried to be created by hybridizing the

characteristics of two population members, and then small changes can be made in the mutation stage. After these stages, the detected non-dominated elements are replaced by randomly selected elements from the old population [23].

MOPSO is a herd-inspired optimization that updates all population members at each iteration. Each member finds its next speed, influenced by its previous speed and the speed of the swarm leader. If new solutions that mutate with a certain probability not dominated by the old solutions, they are saved [24].

MODEA updates all members of the population in each iteration. It is based on replacing a random parameter of instant member with the parameter obtained after differential operations applied to three random population members [25].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The parameters used in the simulations and their values are given in Table 1. As stated in Table 1, the layout of the cells is square pattern so 16 cells are placed in 4x4 way. The layout of the cells and the arbitrary cell structure are shown in Figure 3.

Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Network layout	Square pattern (wrap-around)
Number of cells	$L = 16$
Cell area	0.25 km x 0.25 km
Channel gain at 1 km	$\Upsilon = -148.1$ dB
Pathloss exponent	$\alpha = 3.76$
Shadow fading (standard deviation)	$\sigma_{sf} = 10$
Bandwidth	$B = 20$ MHz
Receiver noise power	-94 dBm
Samples per coherence block	$\tau_c = 200$
Pilot reuse factor	$f = 1$

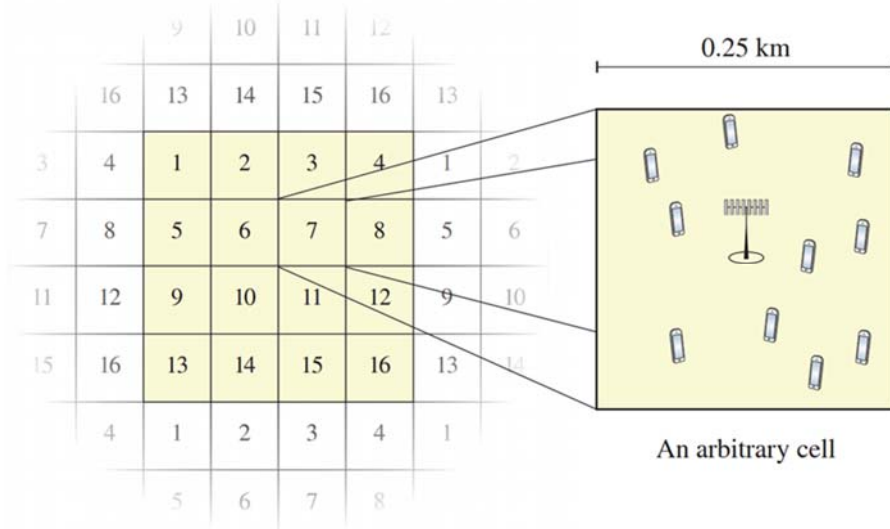


Figure 3. Illustration of cell layouts and an arbitrary cell [1].

Each cell consists of squares with a side length of 0.25 km and the users are randomly distributed within the cell. After all users are placed within more than 35 meters of each other and the base station (BS), the calculation process is started. The boundaries of K and M are defined as 10-100 and boundaries of p are defined as 50-200 mW. Proportions of SE for uplink direction and for downlink direction were chosen as 1/3 and 2/3, respectively. In order to examine the effects of circuit power parameters on energy efficiency, three power sets given in Table 2 were used.

Table 2. Values of circuit power sets

Parameter	Set 1	Set 2	Set 3
Fixed power: P_{FIX}	10 W	5 W	5 W
Power for BS local oscillator: P_{LO}	0.2 W	0.1 W	0.1 W
Power per BS antennas: P_{BS}	0.4 W	0.2 W	0.2 W
Power per user equipment: P_{UE}	0.2 W	0.1 W	0.1 W
Power for data encoding: P_{COD}	0.1 W/(Gbit/s)	0.01 W/(Gbit/s)	0.03 W/(Gbit/s)
Power for data decoding: P_{DEC}	0.8 W/(Gbit/s)	0.08 W/(Gbit/s)	0.24 W/(Gbit/s)
BS computational efficiency: L_{BS}	75 Gflops/W	250 Gflops/W	150 Gflops/W
Power for backhaul traffic: P_{BT}	0.25 W/(Gbit/s)	0.025 W/(Gbit/s)	0.075 W/(Gbit/s)

The intelligent optimization techniques, which are used to identify suitable solutions on SE and EE trade-offs, have a population of 100 elements and make 50 iterations. For power set 1, the energy efficiency versus spectral efficiency for MOGA, MOPSO and MODEA is given in Figure 4a, Figure 4b and Figure 4c, respectively. For power set 2, the energy efficiency versus spectral efficiency for MOGA, MOPSO and MODEA is given in Figure 5a, Figure 5b and Figure 5c, respectively. For power set 3, the energy efficiency versus spectral efficiency for MOGA, MOPSO and MODEA is given in Figure 6a, Figure 6b and Figure 6c, respectively. In order to be a reference point for optimization results, the calculated curves for all independent variable permutations are shown in green, and the ideal true POF for these values is shown in red. Non-dominated values determined through intelligent optimizations are marked with black asterisks.

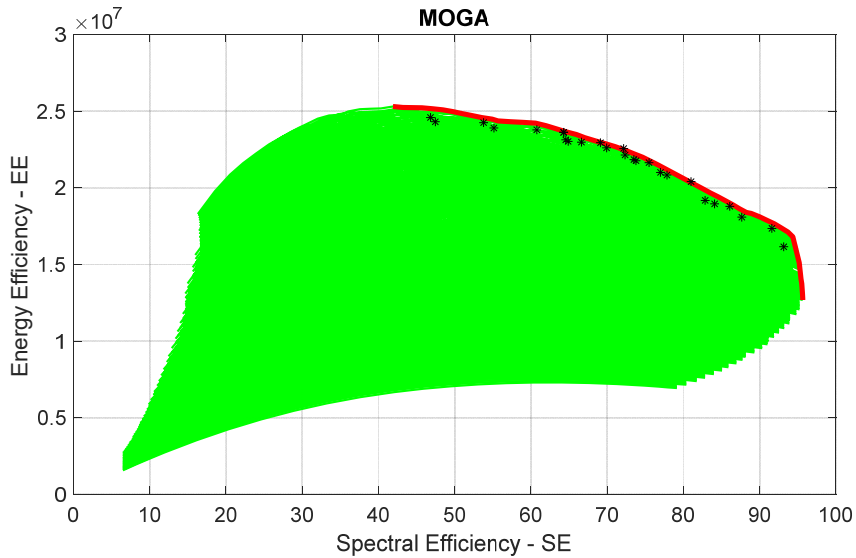


Figure 4a. Comparing true POF and performance of MOGA on power set 1.

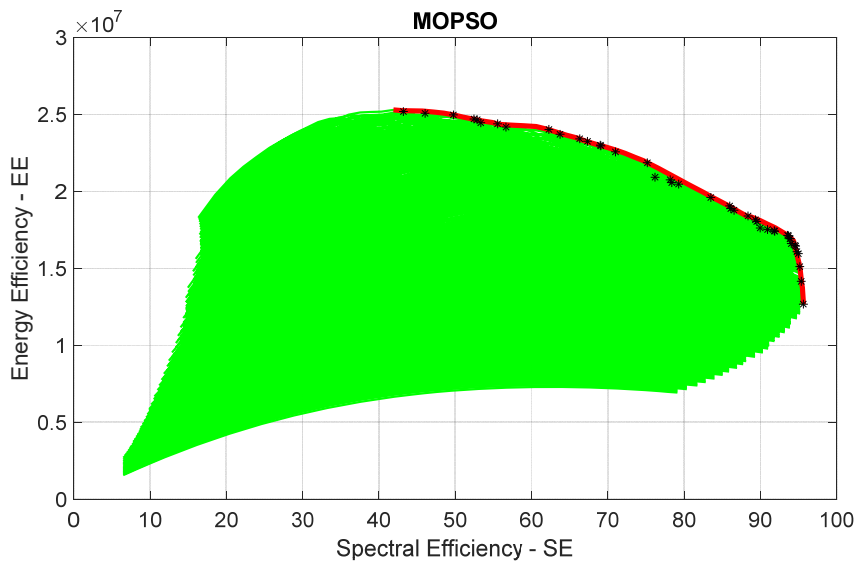


Figure 4b. Comparing true POF and performance of MOPSO on power set 1.

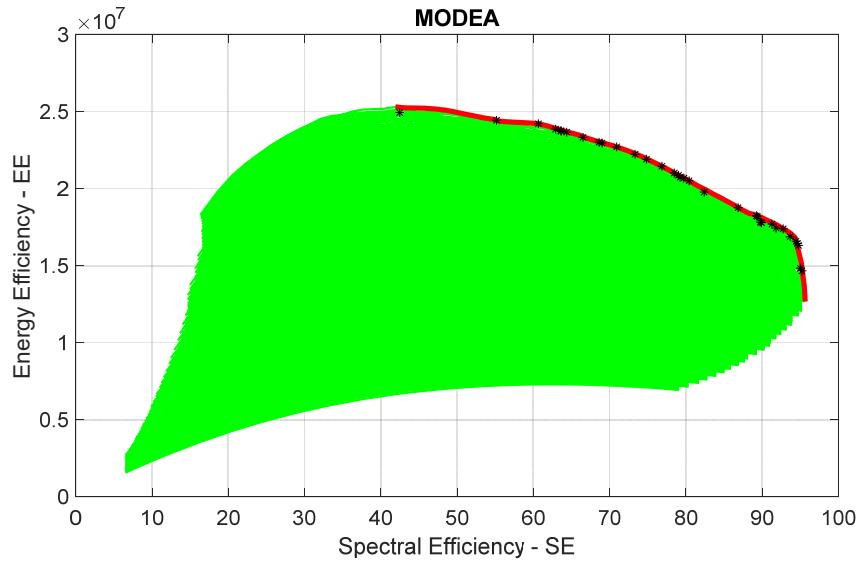


Figure 4c. Comparing true POF and performance of MODEA on power set 1.

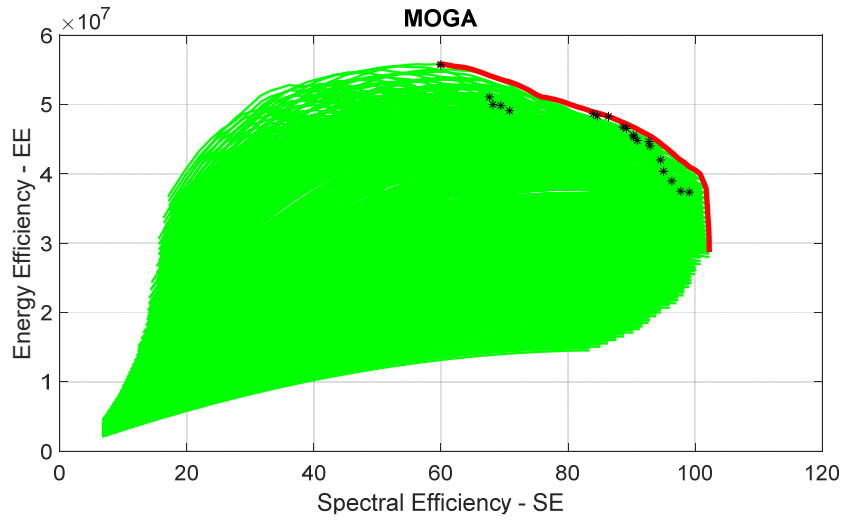


Figure 5a. Comparing true POF and performance of MOGA on power set 2.

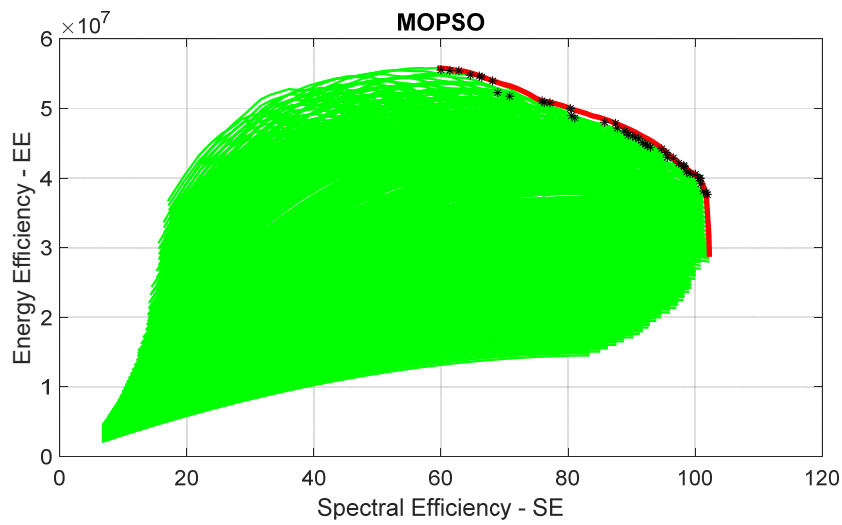


Figure 5b. Comparing true POF and performance of MOPSO on power set 2.

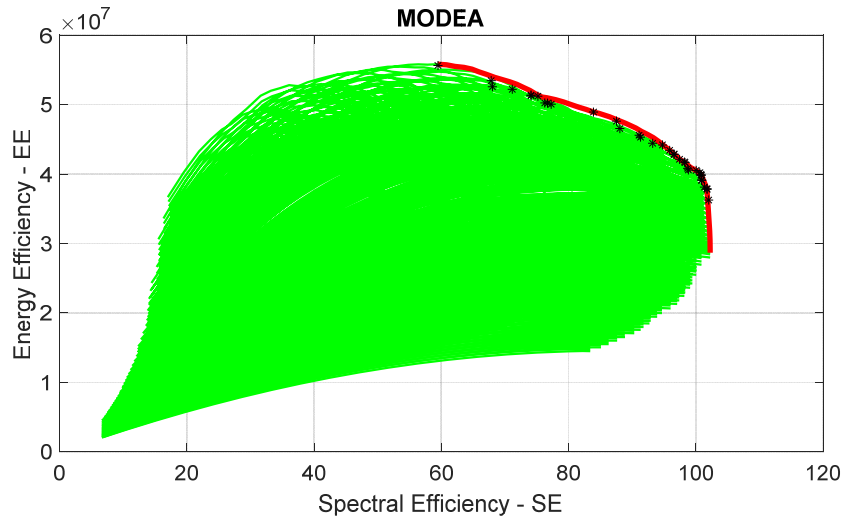


Figure 5c. Comparing true POF and performance of MODEA on power set 2.

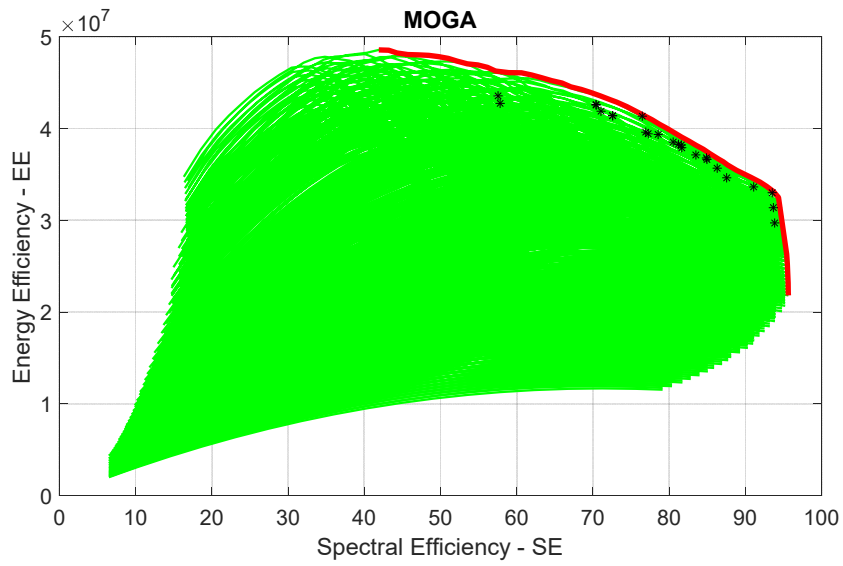


Figure 6a. Comparing true POF and performance of MOGA on power set 3.

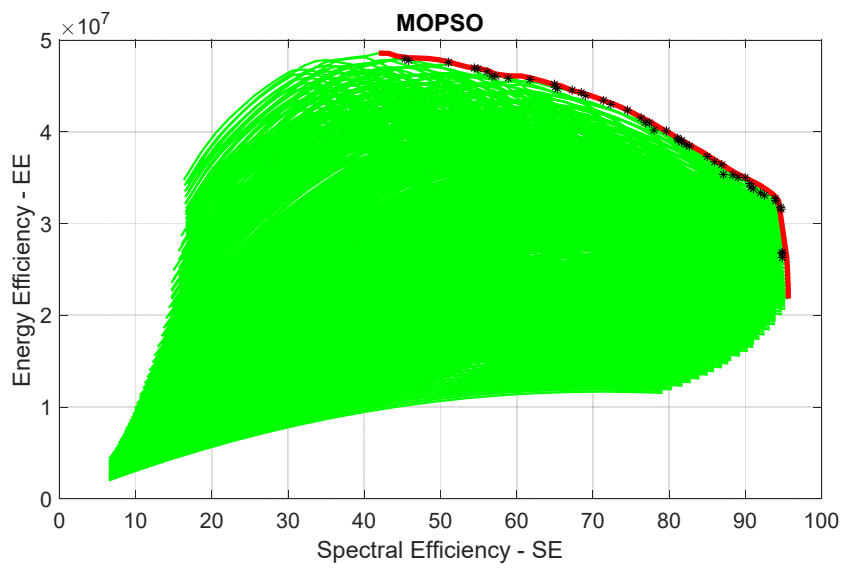


Figure 6b. Comparing true POF and performance of MOPSO on power set 3.

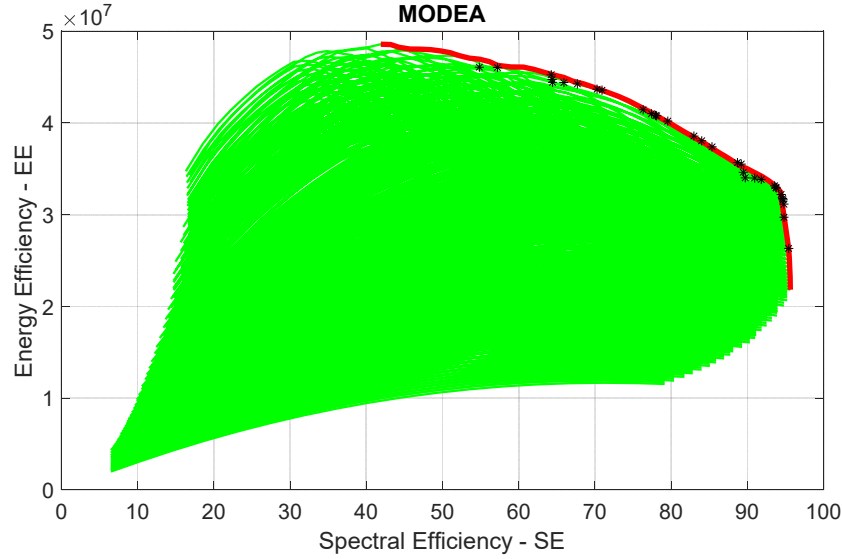


Figure 6c. Comparing true POF and performance of MODEA on power set 3.

When Figures 4, 5 and 6 are examined, it is seen that some SE-EE values can be detected around the true POF via intelligent optimizations. When the figures are examined in detail, it is seen that each algorithm can find the solutions with different characteristics (balanced distribution on true POF, etc.) by different success. Performance metrics were calculated in inverted generational distance (IGD), maximum spread (MS) and spacing metric (S) criteria to examine the success of algorithms in different areas. IGD represents the distance of the predicted Pareto curves to the true Pareto curves, MS means the overlap between the predicted Pareto and true POF, and S means the distances of the two consecutive solutions to each other. While IGD and S are expected to be low, MS is desired to be high. Table 3 shows the performance metrics of the algorithms on different circuit power sets.

Table 3. Comparison of the performance metrics

	Algorithm	IGD	MS	S
SET 1	MOGA	$7,78 \cdot 10^5$	0,77	$4,12 \cdot 10^5$
	MOPSO	$1,50 \cdot 10^5$	0,94	$4,30 \cdot 10^5$
	MODEA	$3,85 \cdot 10^5$	0,91	$2,83 \cdot 10^5$
SET 2	MOGA	$1,53 \cdot 10^6$	0,81	$1,45 \cdot 10^6$
	MOPSO	$1,25 \cdot 10^6$	0,85	$3,47 \cdot 10^5$
	MODEA	$1,12 \cdot 10^6$	0,87	$6,46 \cdot 10^5$
SET 3	MOGA	$2,31 \cdot 10^6$	0,78	$6,25 \cdot 10^5$
	MOPSO	$6,38 \cdot 10^5$	0,87	$6,47 \cdot 10^5$
	MODEA	$9,96 \cdot 10^5$	0,75	$9,78 \cdot 10^5$

Figure 7 shows the variations of the numbers of non-dominated solutions versus the number of iterations on power set 1 for algorithms used in simulations. When the figure is examined, it is seen that the algorithms' tendencies to find non-dominated solutions differ. For example, it is seen that while MOGA shows a fluctuating trend, MOPSO generally increases at the same rate.

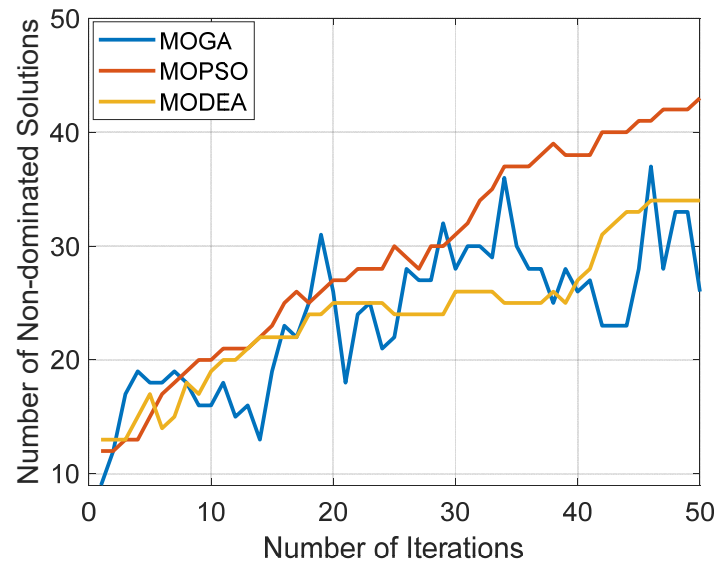


Figure 7. The variations of the numbers of non-dominated solutions versus the number of iterations for algorithms used in simulations.

4. CONCLUSION

Compared to finding all spectral and energy efficiency values and then determining true POF, simulating Pareto curve with intelligent optimizations involves very little operation. With a sufficient number of samples, an acceptable level of successful Pareto curve could be obtained. When the simulation results are examined, the most successful results are obtained on power set 1. When the algorithms are compared, it is seen that MOPSO has generally obtained more successful results in the three criteria mentioned and found a greater number of non-dominated SE-EE values.

Statement of Conflict of Interest: Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions: The contribution of the authors is equal

REFERENCES

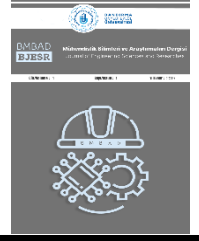
- [1] E. Björnson, J. Hoydis, and L. Sanguinetti, "Massive MIMO Networks: Spectral, Energy and Hardware Efficiency", *Foundation and Trends in Signal Processing*, pp. 154-655, 2017.
- [2] A. Fehske, G. Fettweis, J. Malmodin, and G. Biczok, "The Global Footprint of Mobile Communications: The Ecological and Economic Perspective", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 49(8), pp. 55-62, 2011.
- [3] W. Tan, S. Jin, and C. K. Wen, "Spectral efficiency of multi-user millimeter wave systems under single path with uniform rectangular arrays", *J Wireless Com Network*, 181, pp. 1-13, 2017.
- [4] W. B. Hasan, P. Harris, A. Doufexi, and M. Beach, "Real-time maximum spectral efficiency for massive MIMO and its limits", *IEEE Access* 6, pp. 46122-46133, 2018.
- [5] H. Pirzadeh, and A. L. Swindlehurst, "Spectral efficiency of mixed-ADC massive MIMO", *IEEE Transactions on Signal Processing* 66(13), pp. 3599-3613, 2018.
- [6] Q. Lv, J. Li, P. Zhu, and X. You, "Spectral Efficiency Analysis for Bidirectional Dynamic Network with Massive MIMO Under Imperfect CSI", *IEEE Access* 6, 8421208, pp. 43660-43671, 2018.
- [7] H. Q. Ngo, E. Larsson, and T. Marzetta, "Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems", *IEEE Trans Commun* 61(4), pp. 1436-1449, 2013.
- [8] J. Fan, and Y. Zhang, "Energy efficiency of massive MU-MIMO with limited antennas in downlink cellular networks", *Digit Signal Process* 86, pp. 1-10, 2019.
- [9] E. Sharma, R. Budhiraja, K. Vasudevan, and L. Hanzo, "Full-Duplex Massive MIMO Multi-Pair Two-Way AF Relaying: Energy Efficiency Optimization", *IEEE Transactions on Communications* 66(8), 8329521, pp. 3322-3340, 2018.
- [10] H. Q. Ngo, L-N. Tran, T. Q. Duong, M. Matthaiou, and E. G. Larsson, "Energy Efficiency Optimization for Cell-Free Massive MIMO", *IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, SPAWC 8227722, pp. 1-5, 2017.
- [11] D. Chen, F. Liu, C. Feng, J. Shi, and X. Han, "Energy Efficiency Optimization Based Self-interference Cancellation in Massive MIMO Full-

- duplex System” IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Qingdao, pp. 1-6, 2017.
- [12] Y. Huang, S. He, J. Wang, and J. Zhu, “Spectral and Energy Efficiency Tradeoff for Massive MIMO”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no. 8, pp. 6991-7002, 2018.
- [13] Y. Xin, D. Wang, J. Li, H. Zhu, J. Wang and X. You, “Area Spectral Efficiency and Area Energy Efficiency of Massive MIMO Cellular Systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 5, pp. 3243-3254, 2016.
- [14] O. Amin, E. Bedeer, M. H. Ahmed and O. A. Dobre, “Energy Efficiency–Spectral Efficiency Tradeoff: A Multiobjective Optimization Approach”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 4, pp. 1975-1981, 2016.
- [15] L. Deng, Y. Rui, P. Cheng, J. Zhang, Q. T. Zhang and M. Li, “A Unified Energy Efficiency and Spectral Efficiency Tradeoff Metric in Wireless Networks”, IEEE Communications Letters, vol. 17, no. 1, pp. 55-58, 2013.
- [16] L. You, J. Xiong, A. Zappone, W. Wang and X. Gao, “Spectral Efficiency and Energy Efficiency Tradeoff in Massive MIMO Downlink Transmission With Statistical CSIT”, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 68, pp. 2645-2659, 2020.
- [17] O. Amin, E. Bedeer, M. H. Ahmed and O. A. Dobre, “Energy efficiency and spectral efficiency trade-off for OFDM systems with imperfect channel estimation”, IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 3553-3558, 2014.
- [18] S. M. Nimmagadda, “Optimal spectral and energy efficiency trade-off for massive MIMO technology: analysis on modified lion and grey wolf optimization”, Soft Comput 24, pp. 12523–12539, 2020.
- [19] K. E. Purushothaman, and V. Nagarajan, “Multiobjective optimization based on self -organizing Particle Swarm Optimization algorithm for massive MIMO 5G wireless network”, International Journal of Commun Systems, e4725, pp. 1-15, 2020.
- [20] S. Cetinkaya and H. Arslan, “A Distributed User-Cell Association for Spectral and Energy Efficiency Tradeoff in Massive MIMO UDHNs”, IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 1-6, 2019.
- [21] Z. Liu, W. Du and D. Sun, “Energy and Spectral Efficiency Tradeoff for Massive MIMO Systems With Transmit Antenna Selection”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, no. 5, pp. 4453-4457, 2017.
- [22] Y. Hei, C. Zhang, and W. Song, “Energy and spectral efficiency tradeoff in massive MIMO systems with multi-objective adaptive genetic algorithm”, Soft Comput 23, pp. 7163–7179, 2019.
- [23] T. Murata, and H. Ishibuchi, “MOGA: Multi-objective genetic algorithms”, Proc. of 1995 IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp. 289-294, 1995.
- [24] C. A. C. Coello, G. T. Pulido, and M. S. Lechuga, “Handling multiple objectives with particle swarm optimization”, in IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 8, no. 3, pp. 256-279, 2004.
- [25] W. Gong, and Z. Cai, “A multiobjective differential evolution algorithm for constrained optimization”, IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 181-188, 2008.



BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Ambulance Service For Hospital Selection: Optimization With Discrete-Event Simulation Application For Yozgat Province Of Turkey

Hastane Seçiminde Ambulans Hizmeti: Türkiye Yozgat İli Optimizasyon İle Kesikli-Olay Simülasyon Uygulaması

Yasemin Ayaz Atalan 

Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Yozgat,, Türkiye

yasemin.ayaz@bozok.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 24 March 2021

Accepted : 2 April 2021

Keywords:

City Hospital, University Hospital, Ambulance Service, Discrete-Event Simulation, Dispatching Time

ABSTRACT

This study aims to develop a new approach in the ambulance service to refer the patient not to the nearest hospital but to a suitable hospital that responds better to his/her illness. Due to the lack of staff and equipment in a hospital, patients are often very likely to be transferred to another hospital. A case study was performed with a discrete-event simulation method for an improved ambulance service flowchart in this research. The case study was conducted in Yozgat province of Turkey, including two hospitals (city and university), one emergency call center, and six ambulance stations. Each of them has one vehicle. The data used covers the one-year from January 2018 to January 2019. The method developed for this study resulted in a 21.14 % improvement in ambulance service. The most crucial point that was noteworthy among the findings was that referral of the patient to the most appropriate hospital, rather than the nearest hospital, was important in terms of both dispatching time and the life-threatening condition of the patient.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 24 Mart 2021

Kabul : 2 Nisan 2021

Anahtar Kelimeler:

Şehir Hastanesi, Üniversite Araştırma Hastanesi, Ambulans Servisi, Kesikli-olay Simülasyonu, Sevk Süresi

ÖZET

Bu çalışma, ambulans hizmetinde hastayı en yakın hastaneye değil, hastanın hastalığına daha iyi yanıt veren uygun bir hastaneye sevk etmek için yeni bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bir hastanede personel ve ekipman eksikliği nedeniyle, hastaların başka bir hastaneye nakledilme olasılığı çok yüksektir. Bu çalışmada geliştirilmiş bir ambulans hizmeti akış şeması için ayrık olay simülasyon yöntemiyle bir vaka çalışması gerçekleştirildi. Vaka çalışması, iki hastane (şehir ve üniversite), bir acil çağrı merkezi ve altı ambulans istasyonu sahip Yozgat ilinde gerçekleştirilmiştir. Her bir ambulans istasyonunun bir adet olmak üzere ambulans aracı bulunmaktadır. Kullanılan veriler Ocak 2018'den Ocak 2019'a kadar olan bir yılı kapsamaktadır. Bu çalışma için geliştirilen yöntem ambulans hizmetinde %21,14'lük bir iyileşme sağlanmıştır. Bulgular arasında dikkat çeken en önemli nokta, hastanın en yakın hastaneden ziyade en uygun hastaneye sevk edilmesinin hem sevk süresi hem de hastanın hayatı tehdit edici durumu açısından önemli olduğu bu çalışma ile tespit edilmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

The world-renowned ambulance service system is perceived as a healthcare unit that provides patients with medical assistance and the fastest access to the hospital. The ambulances must reach the patient locations (or emergency areas) and the hospitals in a short time [1]. Therefore, it is an action planned to be deployed where ambulance locations are likely to experience an emergency [2]. Sometimes ambulance providers are trying to run more ambulances than they can because they cannot provide services at a certain time. However, in such a case, health services will require more resources for ambulance service in terms of cost [3]. This study aimed to create a different ambulance service system by considering the available resources without any resource change.

This paper has introduced an effective solution to prevent the transfer of patients from one hospital to another hospital by changing the current ambulance service flow diagram [4]. The fact that the hospital has both insufficient human resources and equipment causes negative consequences for the patients. One of the most important of the negative sides is that the patients cannot be accepted in hospitals that cannot respond to the disease. Therefore, the patient is referred to another hospital. In the classic ambulance service diagram, the patient is assigned to the nearest hospital by the ambulance [5]–[7]. However, ambulance authorities do not consider the equipment or competence of the hospital. Because their first task is to bring the patient to the nearest hospital to eliminate the patient's life-threatening condition, sometimes such a principle works correctly. Still, today this principle needs to be reviewed by the authorities.

Many studies have proposed solutions for ambulances' locations, resources of healthcare, the number of hospitals, and so on [7]–[14]. These suggestions usually contain statistical solutions and abstract concepts [15]. For example, it has been planned to increase hospital capacity, a clear and straightforward solution for crowded locations. The effect of the results obtained in this study using the Nash equilibrium method is estimated to be very little or fewer [3]. Especially in studies conducted on ambulance locations, more concrete results have been obtained because of digital data inclusion [6], [16], [17]. Wu and Hwang determined that two ambulances were over-worked in the plot area where the study was carried out using the Tainan EMS system and emphasized that the ambulances' response times in emergencies [18]. With the identification of ambulance locations, each ambulance serves a specific area, but if more than one ambulance is needed in another region, ambulances are also notified in other locations.

In such studies, two types of approaches have been comprehensively discussed by researchers. The optimization method, which is the first approach, is preferred to solve problems by transferring real-life issues to a mathematical environment [8], [9], [19], [20]. As ambulance modelling studies are based on uncertainty, the use of stochastic, genetic and dynamic optimization models in ambulance location studies is widely used in the literature [21]–[23]. In one study, an optimization model has been developed, which minimizes ambulances' response time using the mixed genetic algorithm approach. The most suitable place and coverage areas for ambulances were determined in this research [17]. After the ambulances meet a request, the appropriate location is located in a different position or remains at the end of the request. Generally, ambulances are moved back to their former position for the next request [24], [25]. In another study for the ambulance location problem, the ambulances' response time to the demands was reduced by approximately 59 seconds using the approximate dynamic programming optimization method [16]. However, such studies do not consider the position of patients and the suitability of hospitals in the next activity.

The ambulance service system has a dynamic structure due to real-time situations [1], [16], [26]. In such structured systems, optimization methods give limited answers. Therefore, the best way for stochastic structured problems is discrete-event simulation methods [27]. This method is widely used in the literature as a second technique to solve ambulance service problems (real ambulance dispatch data) [6], [19], [28]. Some researches apply both methods (simulation-optimization) in terms of ambulance service. As in all studies, measurements of the maximum survival target and ambulances (location) of the ambulance providers for the patients were also considered in such studies [8]. A discrete-event simulation model was developed for this study. Ambulance service is embedded in a different method for the flow diagram into this model. The new flow diagram is as follows: providing an ambulance to the patient location by responding to the call from the intended patients as soon as possible, to transmit the patients' information to the surrounding hospitals, and finally to identify the hospital appropriate to the patient and to transfer the patient to the hospital. The patient must be transferred to a hospital that does not have the closest hospital but has sufficient personnel (physicians, nurses, technicians, etc.) [29] and equipment to respond to the complaints of the patients.

This study included a case study with actual ambulance dispatch data. We developed a discrete simulation program to expose the mathematical expressions of ambulance service times and locations in the study's methodology. We examined two options: 1) The nearest hospital- regardless of the disease of a patient and without the choice of the hospital, the patient to referral to the nearest hospital and then re-tour the patient from this hospital to another hospital (re-tour), 2) the most suitable hospital- adding a different step to the ambulance service flow diagram, not referring the patient to the nearest hospital, instead referring the patient to the most appropriate hospital to respond to his or her disease. All results are derived from the discrete-event simulation model, which we consider to be accurate and precise. In the following part of this study, the methodology and real-time data of the study were included in the case study.

2. METHODOLOGY

2.1. Environmental Overview of Yozgat Province

Yozgat is one of the oldest settlements in Central Anatolian Region of Turkey that ranks 16th in terms of land area with its 14 districts. Only 9% of the province area is covered with forests where a terrestrial and harsh climate is dominant. The summers are warm and dry and winters are rainy in Yozgat [30]. The settlement of the province is in a pit and is mostly surrounded by mountains negatively affecting the air circulation causes an increase in air pollution. As the use of fossil fuels rises with the cooling of the air, an escalation is observed in the SO_2 and PM_{10} concentrations in the atmosphere. Therefore, the topographic structure of the city and the preferences for fuel type reduce air quality which in turn have an adverse influence on healthcare [31].

2.2. Data of the Study

The city of Yozgat has a total of 2 hospitals which are named Yozgat City Hospital (called “city hospital” instead of “state hospital or public hospital”-These institutions are tendered by the Turkish government to the construction companies and are recognized as new hospitals by the build-operate-transfer formula) and University Hospital. There is only one emergency call center in this city. (The telephone code of this center is used as 112 instead of 911). This city also has six ambulance vehicle stations, and the total number of ambulances vehicles employed is 6 in the center of the town [32] (see Figure 1).



Figure 1. The map of the study area showing call center, ambulances, and hospitals locations

The population of this city is calculated as 90163 for 2018 [33]. Approximately 15027 people are serving an ambulance, considering the number of ambulances. The ambulance system helps a distance of about 13.87 km for the central district of Yozgat. The data of the emergency call center used the one-year cover period from January 2018 to January 2019. The emergency call center receives approximately 23 (mean) calls per day. The numbers of calls were showed normal distribution ($\mu_e = 23.058, \sigma_e = 2.335$). According to Figure 2, daily, at least 17 calls and up to 32 calls are received by the emergency call center.

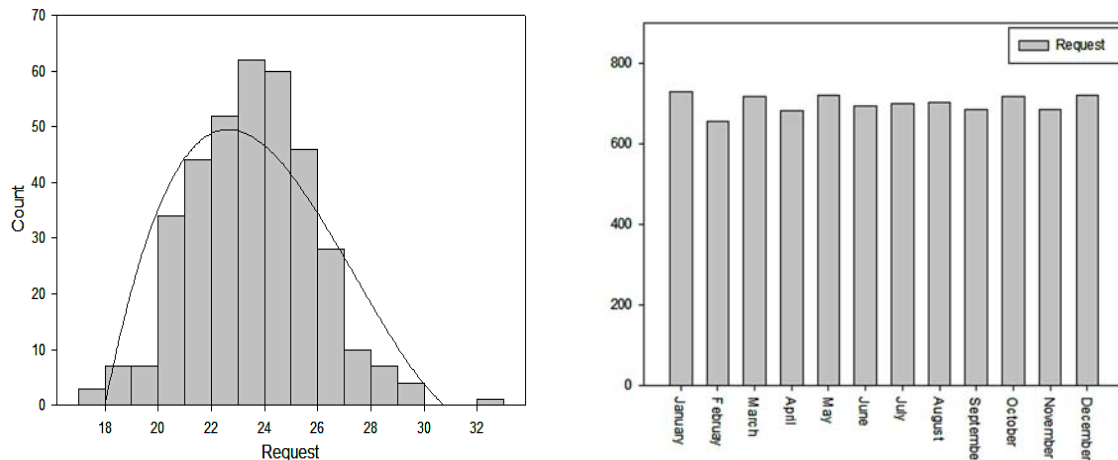


Figure 2. Histogram of requests per day and number of requests per month for the period of 2018-2019

We observed that the number of calls is mostly between 21 and 25 bands. The data-analyser tool analysed the gathered data and determined that the data had the characteristic of the logistic distribution. Higher P-value and lower Anderson-darling values designate a better fit of data (p-value and statistics value were calculated as 0.250 and 0.371, respectively). The characteristic of this distribution is used as a long-tailed distribution model than the normal distribution. This distribution is already used for modeling the distributions of the data with kurtosis. Besides, this distribution is a continuous distribution defined by position parameters. The function of this distribution has only one shape and is similar to the normal distribution characteristic. The number of incoming calls is calculated as 701 (mean) monthly and 8408 (total) on an annual basis for the period of 2018-2019. Although the number of calls showed a similarity in months, it was observed that the number of calls increased in the summer months.

The fluctuations in the number of emergency calls were in the winter months, according to the data. We have connected this situation to the annual average temperature (9.1°C) of Yozgat province [34]. This city's yearly average temperature is below the country's average annual temperature (13.1°C) [35]. It was observed that winter is intense in this city.

According to the data obtained in the emergency call center, approximately 72 % of the patients were referred to the city hospital, while 28 % of the patients were referred to the university hospital. Generally, while hospital selection is made according to the severity of the injuries of the patients, the university hospital does not examine patients excluding cardiac and brain disorders outside the working hours. The first treatment of such patients with normal sickness is carried out in city hospitals. If the patient's disease severity persists, the patient is referred to the nearest provinces. Such cases occur rarely. Five steps are applied in normal ambulance services. There is no step in informing the hospital and receiving feedback from the appropriate hospital in these steps. The statistical information for the periods required for these steps is given in Table 1.

Table 1. Statistical data for the duration of the ambulance service

Definitions	Mean	Standard Deviation	Variance	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Calls of Request	1.1342	0.0709	0.0050	1.0008	1.0872	1.1364	1.1919	1.2475	0.1047
Assign Ambulance	1.5785	0.2793	0.0780	1.0552	1.3053	1.6631	1.8280	1.9815	0.5227
Travel to Patient	8.5460	3.0370	9.2260	2.3010	6.7520	8.6270	11.301	12.779	4.5490
First Exam	3.0210	1.2170	1.4810	1.0850	1.9140	3.1480	4.1110	4.9110	2.1970
Travel to Hospital	10.057	3.7530	14.087	3.6310	6.9580	10.071	13.537	15.793	6.5780

Note: In statistics, data are divided into four equal parts to form quartiles. The reason for creating quartiles is to evaluate the propagation and tendency of a data set. Q₁(25% of the data set is less than or equal to this value), median (50% of the data set is less than or equal to this value), Q₃ (75% of the data set is less than or equal to this value), and IQR (The range between the first and third quartiles is considered (Q₃-Q₁)) represent the first, second and third quartile, and fourth quartile respectively. The unit of all numerical values is discussed in minutes.

The fact that sometimes in ambulance service is not clear and precise has caused the average values of the data used in this study. Since the city determined for this study is not busy in terms of traffic, traffic density is not considered. The time required for some steps in the ambulance service flow diagram: the average time to inform the emergency call center by the patient or patient relatives is 1.15 minutes, the time taken for the emergency call center to give the address of the patient to the ambulance stations is 1.60 minutes (the average time to inform ambulance stations by the call center is between 1.05-1.98 minutes), the time used for an ambulance to reach the patient location is minimum 2.30 minutes, maximum 12.779 minutes, the first intervention of the ambulance authorities and the departure time of the patient for the hospital takes 1.08 to 4.911 minutes, respectively. The time is required a maximum of 17.93 minutes and a minimum of 3.63 minutes for a patient to reach a hospital.

Based on real-life data sets of the ambulance service system in Turkey to test, the developed method of the discrete-event simulation model was used in this study. Five steps (calls of request, assign ambulance, travel to patients, the first exam by ambulance authorities, and travel to hospitals) were applied in standard ambulance service. There was no step in informing the hospital and receiving feedback from the appropriate hospital in these steps. This extra step emphasizes having six steps in the ambulance service. The ambulance service flow diagram, which was considered for this study, was expressed as follows: One or more patients request an ambulance call (Patients dial 112. This code is used for all emergency calls in Turkey). The call center informs the stations where ambulances are located. The distance of the ambulance stations to the patient's location is determined. An ambulance suitable for the patient's location is preferred. The necessary information of health staff who make the first examination of the patient enters the system and inform all the hospitals in that area (new step). Based on the feedback received from hospitals, the patient is moved to the hospital where both the near and the appropriate healthcare providers. Figure 3 shows the network relationship between the steps discussed in this article.

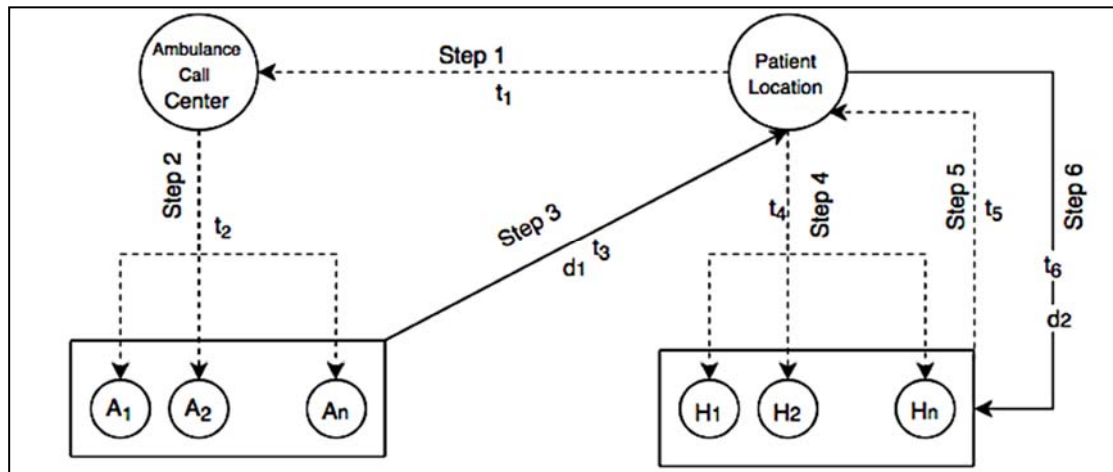


Figure 3. The network relation of the ambulance service system

Six major steps were identified for ambulance service as follows. These are;

- Step 1: The request of a new call for ambulance,
- Step 2: Identification of a suitable ambulance close to the patient,
- Step 3: Departing from the place where the ambulance is located,
- Step 4: Ambulance authorities examine the first intervention and diagnosis, and send information about the patient to the hospitals
- Step 5: Hospital(s) give feedback to the ambulance authorities by appropriate hospitals with the sufficient staff or equipment to respond to the patient's illness, and assign hospitals,
- Step 6: Ambulance departs for the appropriate hospital, and arrives at the hospital,

Some notations for expressions mathematical model are expressed as follows:

- The time of the patient talking to the emergency service center, t_1
- Time for emergency service center to inform ambulance stations, t_2
- Time for the assigned ambulance to reach patient location, t_3
- Time for the first examination and to inform the hospitals by staff, t_4
- Time for appropriate hospitals to provide feedback to ambulance authorities, t_5
- Time for dispatch of the patient to the appropriate hospital, t_6
- Terms expressing the vehicles of ambulances as A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 and, A_6
- Distances of ambulances to patient locations $\{d_{a1}, d_{a2}, d_{a3}, d_{a4}, d_{a5}, d_{a6}\}$
- Time for the any ambulance to reach patient location, $\{t_{a1}, t_{a2}, t_{a3}, t_{a4}, t_{a5}, t_{a6}\}$
- Distance of the appropriate ambulance near the patient location, d_1
- Distances of the nearest hospital, which is not the closest, to patient locations, d_2
- Terms expressing hospitals as H_c and H_u

- Distances of hospitals to patient locations, d_{hc}, d_{hu}
- Time for the any ambulance to reach hospital location, $\{t_{hc}, t_{hu}\}$
- The time required to transfer the patient from any hospital to a suitable hospital, t_r
- Distance traveled from any hospital to a suitable hospital, d_r

The network relation of the ambulance service system was examined from four different points. These are the definition of the steps, the locations where the service starts and ends, the times required for the steps, and the distances between the steps (see Table 2).

Table 2: Definition of time and distance for ambulance service

Steps	Definition	Starting Location	Ending Location	Time	Distance
1	Calls of Request	Patient	Call Center	t_1	-
2	Assign Ambulance	Call Center	Station	t_2	$d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{a6}$
3	Travel to Patient	Station	Patient	t_3	d_1
4	Exam, Inform Hospitals	Patient	Patient	t_4	d_{h1}, d_{h2}
5	Feedback, Assign Hospital	Patient	Hospital	t_5	-
6	Travel to Hospital	Patient	Hospital	t_6	d_2

2.3. Optimization Models

The first objective was to minimize the time between the call from the patient and the delivery of the patient to the hospital in the real system. The equation was formulated as:

$$\text{Min [Service Time]} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad (1)$$

The time required to transport the patient to the hospital was expressed as, t_6 . The following prerequisite was needed for the value of t_6 :

$$t_6 = t_{hc} + t_{hu}; \begin{cases} \text{if city hospital was assigned, then } t_{hu} = 0 \\ \text{if university hospital was assigned, then } t_{hc} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Patient calls do not affect our problem at certain intervals. Therefore, patient calls were determined not as a statistical distribution but as a certain time. The second objective was to minimize the ambulance close to the location of the patient. The formulation of the second objective function was expressed as:

$$d_1 = \text{Min} \{d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{a6}\} \quad (3)$$

The constraint to determine the ambulance close to the patient's location, where $(d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{a6})$ are binary. So;

$$\begin{aligned} d_{a1} &= (0,1) \begin{cases} 1, \text{ if the ambulance 1 is located at station} \\ 0, \text{ if not} \end{cases} \\ d_{a2} &= (0,1) \begin{cases} 1, \text{ if the ambulance 2 is located at station} \\ 0, \text{ if not} \end{cases} \\ &\dots \\ d_{a6} &= (0,1) \begin{cases} 1, \text{ if the ambulance 6 is located at station} \\ 0, \text{ if not} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

The third objective was to determine the hospital close to the patient's location, and the formulation was stated as below:

$$d_2 = \text{Min} (d_{hc}, d_{hu}) \quad (5)$$

The constraint to determine the ambulance close to the patient's location, where (d_{hc}, d_{hu}) are binary. So;

$$d_{hc} = (0,1); \begin{cases} 1, & \text{if city hospital was assigned and} \\ & \text{there are sufficient staff and equipment required} \\ 0, & \text{if the city hospital was assigned but} \\ & \text{if there are not sufficient staff and equipment required} \end{cases} \quad (6)$$

$$d_{hu} = (0,1); \begin{cases} 1, & \text{if the university hospital was assigned and} \\ & \text{there are sufficient staff and equipment required} \\ 0, & \text{if the university hospital was assigned but} \\ & \text{if there are not sufficient staff and equipment required} \end{cases}$$

Suppose a new patient is referred from one hospital to another hospital (city-university hospital or university-city hospital) in the worst-case scenario. In that case, several additions to the optimization model are required as below.

- The distance between the two hospitals was 12.4 km, and this distance lasted approximately 15.4 minutes (without traffic) in Yozgat. The time required for the ambulance service to be completed re-formulated as follows:

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_r \quad (7)$$

- The distance travelled during the ambulance service was re-expressed as below:

$$\text{Min} \{d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{a6}\} + \text{Min} (d_{hc}, d_{hu}) + d_r \quad (8)$$

Although an optimization model has been developed for the problems, discrete event simulation models were accepted to solve the issues with a stochastic structure (the uncertainty of the next situation). The fact that there were three different objective functions showed that this study had a stochastic structure. Therefore, the simulation technique was to use in order to overcome this problem.

2.4. Discrete-Event Simulation Models

The discrete-event simulation program was often used to get accurate results by deriving scenarios (which is a long time and costly to implement without the discrete event simulation technique). A computer discrete event simulation software with C++ programming language, three dimensional, and oriented objects was used in this study. In the discrete-event simulation program, each unit was taken as 1 km². Staff walking and vehicle speeds were defined in real-time throughout the run and updated each time dynamically. The speed of the ambulance vehicles and walking of the staff were considered as 50 km/h, and 60 m/min in the developed model for this study, respectively. The scheduling system was not used for the resources used in the model. The same amount of resource utilization was ensured, considering the 24-hour operating principle for the ambulance service system. The icons and resources used in the model perform the same activities as the real-life routine. Each process specified in the model was perceived as a series of resource activities in the ambulance service system.

3. CASE STUDY

There are two conditions for the referral of the patient to the hospital after the initial treatment. First of all, ambulance authorities provide information about the patient to hospitals instantly. The hospital, which will respond to the patient's disease, has a priority. The distance from the hospital to the patient constitutes the criteria for this study as the second case. If there are many hospitals in a city, it is a priority to choose the closest hospital to the patient from the hospitals to respond to the patient's disease. However, there are two hospitals in this city, which means that there are two options for transferring the patient. Patient locations were determined in six different districts in the central region of Yozgat. Six different situations have been considered, including the distance of these regions to each ambulance location. Six different conditions have been considered, including the distance of these regions to each ambulance location.

A discrete event simulation model has been developed for situations that belong to scenarios. The data was embedded by considering the patients' distance to ambulances and hospitals in the simulation model—the screen display of the simulation model, as shown in Figure 4. The simulation model was run separately for 36 conditions.

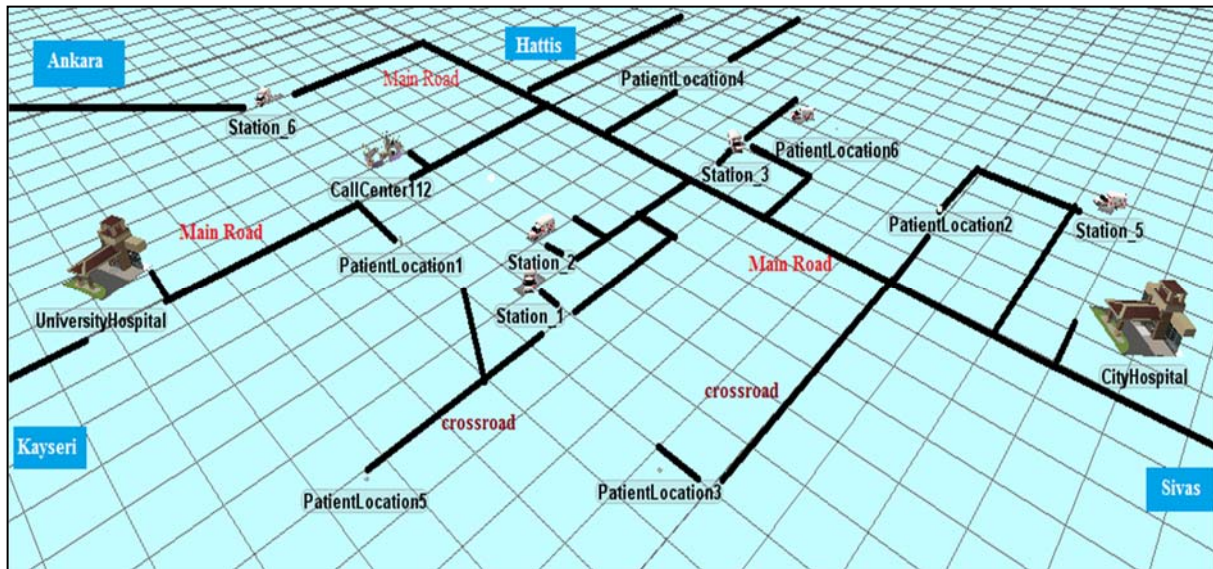


Figure 4. Screenshot of the developed simulation model

Thirty-six different scenarios were developed for the case study to establish ambulance service steps (the number of scenarios can be increased or decreased) (see **Table 3**). Different situations were considered for these scenarios. The origin of the scenarios was the distance of the patient locations to both the hospital and the ambulance stations. The conditions of the scenario were determined as the suitability (not close) of the hospital to respond to the patient's disease and the appropriateness of the ambulance near the patient location.

Table 3: Situations for scenarios derived for simulation

Patient Locations	A_1		A_2		A_3		A_4		A_5		A_6		H_c		H_u		Re-tour	
	d_{a1}	t_{a1}	d_{a2}	t_{a2}	d_{a3}	t_{a3}	d_{a4}	t_{a4}	d_{a5}	t_{a5}	d_{a6}	t_{a6}	d_{hc}	t_{hu}	d_{hu}	t_{hr}	d_r	t_r
Location 1	2.3	5	3.2	7	3.8	7	3.5	7	4.8	8	6.3	6	7.4	12	5.7	9	22.8	31
Location 2	3.4	8	3.4	8	2.4	6	1.9	5	0.1	1	10.4	13	2.6	5	10.4	16	18.8	26
Location 3	2.1	5	2.0	5	0.2	1	1.2	5	2.5	6	9.5	12	4.6	9	9.4	14	20.7	30
Location 4	2.3	8	2.5	9	3.4	10	2.2	5	3.7	12	8.2	13	6.4	12	8.2	15	22.2	34
Location 5	0.5	2	0.6	3	2.1	6	2.3	6	3.6	7	8.1	12	4.5	9	8.2	13	20.8	31
Location 6	2.0	6	2.1	6	1.5	6	0.22	1	19	5	9.0	11	4.4	9	9.0	13	20.4	30
Maximum	3.4	8	3.4	9	3.8	10	3.5	7	4.8	12	10.4	13	7.4	12	10.4	16	22.8	34
Minimum	0.5	2	0.6	3	0.2	2	0.22	1	0.052	2	6.3	6	2.6	5	5.7	9	18.8	26
Mean	2.1	6	2.3	6	2.2	6	1.89	5	2.759	7	8.58	11	5	9	8.48	13	21	30

Note: distance unit was defined as km; the time unit was defined as minutes.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The data analysis for the case study the data obtained in the standard case (statistical analysis and ambulance service flow diagram, including five steps) were discussed in

. In the first case (following the city hospital results), the referral of a patient to a hospital takes 21.99 minutes. The duration of referral of a patient to the university hospital (not the nearest hospital, but to the nearest hospital, which is available for adequate resources), lasts an average of 25.99 minutes. According to the normal ambulance service principle, the time to reach the city hospital was found to be shorter than that of a patient reach to the university hospital. The results obtained from 6 scenarios (S1, S7, S13, S19, S25, and S31) from 36 scenarios showed that the duration of reaching the university hospital was low; if the remaining scenarios are followed, the patient arrives at the city hospital at a short time.

With the new approach developed for this study, in the light of the data shown in

, we have proved that the appropriate hospital selection, the hospital is close but not suitable for the patient for the patient's disease, the choice of the hospital in the distance is correct. In

, it is understood that only scenario 2 and scenario 20 data are close to each other in terms of re-tour, but that a patient still needs a lot of time to be dispatched to the appropriate hospital. According to these scenarios, the most

critical reason for re-tour time is close to the developed model because the patient's position is very close to the hospital. In this figure, 3 different approaches are compared. According to all ambulance locations of a patient, the time required to reach the city hospital in 6 different steps is 25.86 minutes.

In contrast, the time required for the university hospital is 29.861 minutes. However, the time needed for a patient to be transferred to a nearby hospital and then to another hospital is 35.33 minutes. It was found that a 21.14 % improvement was achieved with the method developed for this study.

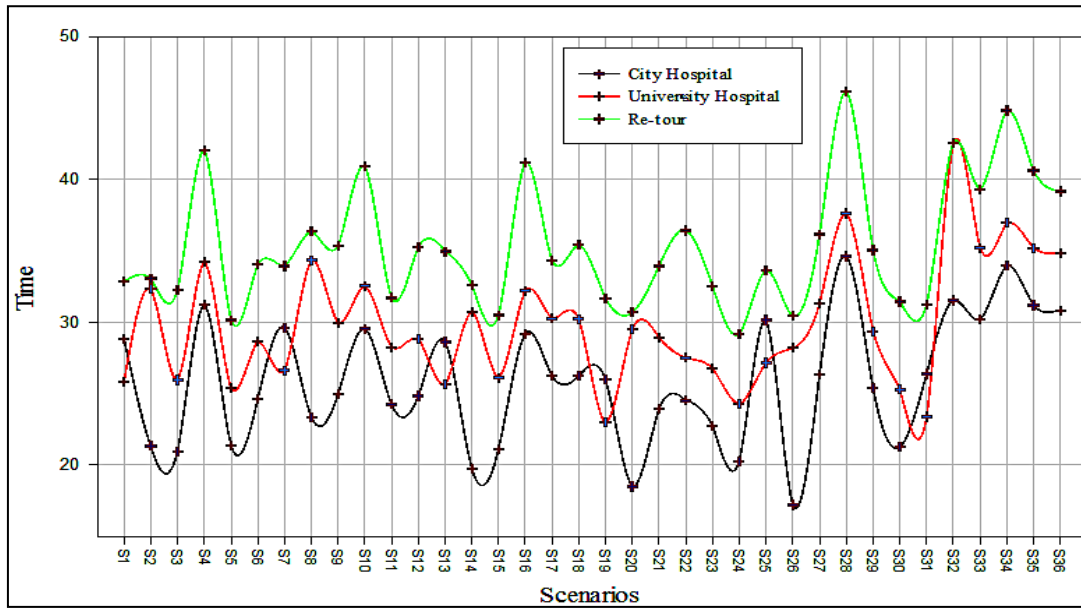


Figure 5. Comparing developed ambulance service system with Retour

This study also made an analysis considering the possibility of the worst scenario. In this scenario, when the ambulance arrives for the patient to the nearest hospital, and there are not enough resources and equipment, there is a calculation of the time that has arisen by going to another hospital. Another condition used in the worst case was that the ambulance stations are selected to be the farthest to the patient location. Since there are six different patient locations for the worst-case scenario, six different situations were questioned. Data for comparison of this situation were discussed in Figure 6.

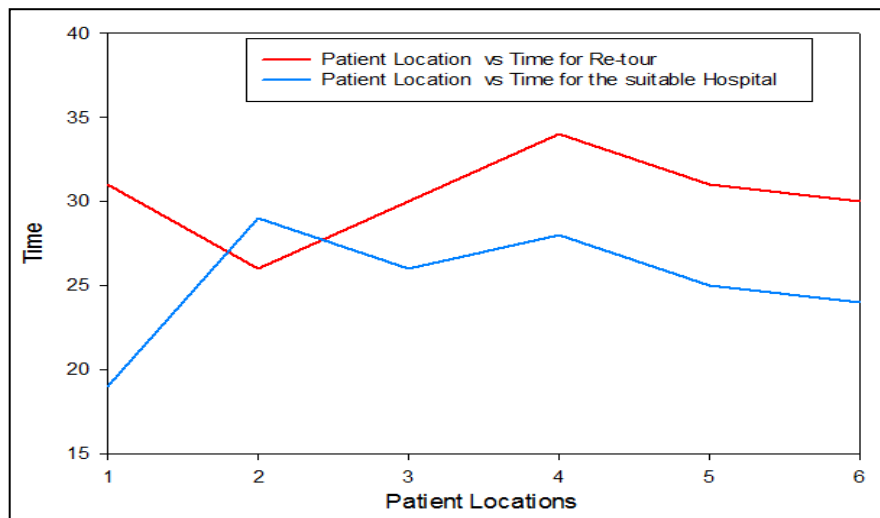


Figure 6. The comparison of the time between Re-tour and the Suitable Hospital

According to Figure 6, only the second patient's location gave the lowest hospitalization time in the case of six different patient locations. We have observed that the transport of the patient from one hospital to another hospital is at risk both in terms of time and the patient's life. The time required is 30.33 minutes for a patient to re-tour and the ambulances to reach the last hospital after contacting the patient location. The time required is 25.16 minutes for the patients to be dispatched to a proper hospital. Wei Lam et al. reduced the ambulance service time from 12.69 minutes to 7.08 minutes using a discrete simulation technique [36]. Ong et al. decreased the ambulance response time from 10.1 minutes to 7.1 minutes using the geospatial time analysis method [37]. As a result, considering the worst-case scenario (the most distance between the locations of ambulances and hospitals), we

observed that it is appropriate to move the patient to the most appropriate hospital, which is not the closest. In short, this study aimed to reduce the ambulance response time by proposing a new step to the ambulance service. It has been observed that the ambulance service has been out of the traditional, and a 21.14% improvement has been achieved with the new method.

5. CONCLUSIONS

A case study was performed with a discrete-event simulation method in this research. Data was collected for the ambulance service of the City of Yozgat, located in the center of Turkey's borders. The case study includes two hospitals, one center of the emergency call, and six emergency stations to find the ambulance vehicles. The data used covers a one-year period of 2018-2019. Thirty-six scenarios were considered, with the worst scenario for this study. In the results obtained for 36 scenarios, according to all ambulance regions of the patient, the average time required to reach the city hospital in 6 different steps was 25.86 minutes, and the average time required for the university hospital was calculated as 29.861 minutes. However, the average time required to transport a patient to a nearby hospital and then to another hospital is 35.33 minutes. Considering the worst scenario (the most distance between the ambulance and hospital locations), we found it appropriate to dispatch the patient to the most appropriate hospital. The time required was calculated as 25.167 minutes for patients to be dispatch to a suitable hospital. Thus, a 21.14% improvement was achieved with the help of the developed method in this study. The most critical point that is noteworthy among the findings was that referral of the patient to the most appropriate hospital, rather than the nearest hospital, is important both in terms of time and the life-threatening of the patient. This study was first conducted in a small city with a population of 100000. It was observed that the results obtained were positive. This study shows that it is more important to apply it in larger cities. However, the accuracy of the data to be collected in these cities and the correct development of the applied method is essential.

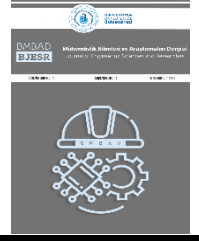
Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest.

KAYNAKÇA

- [1] T. Van Barneveld, C. Jagtenberg, S. Bhulai, and R. Van der Mei, "Real-time ambulance relocation: Assessing real-time redeployment strategies for ambulance relocation," *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 62, pp. 129–142, Jun. 2018.
- [2] M. Peyravi, S. Khodakarim, P. Örtengwall, and A. Khorram-Manesh, "Does temporary location of ambulances ('fluid deployment') affect response times and patient outcome?," *Int. J. Emerg. Med.*, vol. 8, no. 1, p. 37, Oct. 2015.
- [3] X. Fu, A. Presbitero, S. V. Kovalchuk, and V. V. Krzhizhanovskaya, "Coupling Game Theory and Discrete-Event Simulation for Model-Based Ambulance Dispatching," in *Procedia Computer Science*, Jan. 2018, vol. 136, pp. 398–407.
- [4] A. Atalan, "Türkiye Sağlık Ekonomisi için İstatistiksel Çok Amaçlı Optimizasyon Modelinin Uygulanması," *İşletme Ekon. ve Yönetim Araştırmaları Derg.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–51, 2018.
- [5] C.-H. Lin, C.-Y. Kao, and C.-Y. Huang, "Managing emergency department overcrowding via ambulance diversion: A discrete event simulation model," *J. Formos. Med. Assoc.*, vol. 114, no. 1, pp. 64–71, Jan. 2015.
- [6] R. McCormack and G. Coates, "A simulation model to enable the optimization of ambulance fleet allocation and base station location for increased patient survival," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 247, no. 1, pp. 294–309, Nov. 2015.
- [7] S. Nickel, M. Reuter-Oppermann, and F. Saldanha-da-Gama, "Ambulance location under stochastic demand: A sampling approach," *Oper. Res. Heal. Care*, vol. 8, pp. 24–32, Mar. 2016.
- [8] V. Bélanger, A. Ruiz, and P. Soriano, "Recent optimization models and trends in location, relocation, and dispatching of emergency medical vehicles," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 272, no. 1, pp. 1–23, Jan. 2019.
- [9] J. C. Dibene, Y. Maldonado, C. Vera, M. de Oliveira, L. Trujillo, and O. Schütze, "Optimizing the location of ambulances in Tijuana, Mexico," *Comput. Biol. Med.*, vol. 80, pp. 107–115, Jan. 2017.
- [10] L. Abdullah, C. W. R. Adawiyah, and C. W. Kamal, "A decision making method based on interval type-2 fuzzy sets: An approach for ambulance location preference," *Appl. Comput. Informatics*, vol. 14, no. 1, pp. 65–72, Jan. 2018.
- [11] M. A. Zaffar, H. K. Rajagopalan, C. Saydam, M. Mayorga, and E. Sharer, "Coverage, survivability or response time: A comparative study of performance statistics used in ambulance location models via simulation-optimization," *Oper. Res. Heal. Care*, vol. 11, pp. 1–12, Dec. 2016.
- [12] G. C. Alexander, L. P. Casalino, and D. O. Meltzer, "Patient-Physician Communication About Out-of-Pocket Costs," *JAMA*, vol. 290, no. 7, pp. 953–958, 2003.
- [13] D. C. Ferreira, R. C. Marques, and A. M. Nunes, "Pay for performance in health care: a new best practice tariff-based tool using a log-linear piecewise frontier function and a dual-primal approach for unique solutions," *Oper. Res.*, pp. 1–46, Jun. 2019.
- [14] B. Topal and H. Şahin, "Sağlık sektöründe

- müşteri memnuniyetinin ölçümü: Simav Devlet Hastanesi örneği,” *Int. J. Econ. Policy Emerg. Econ.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–30, 2017.
- [15] C. Örgen, B. Topal, and H. Şahin, “İşgörenlerin Demografik Özelliklerinin Örgütsel İklim Algısına Etkisinin İstatistik Analizi: Süreyya Paşa Göğüs Hastalıkları Hastanesi Örneği,” *Eur. J. Sci. Technol.*, vol. 19, pp. 165–175, Aug. 2020.
- [16] V. Schmid, “Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 219, no. 3, pp. 611–621, Jun. 2012.
- [17] A. P. Iannoni, R. Morabito, and C. Saydam, “An optimization approach for ambulance location and the districting of the response segments on highways,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 195, no. 2, pp. 528–542, Jun. 2009.
- [18] C.-H. Wu and K. P. Hwang, “Using a Discrete-event Simulation to Balance Ambulance Availability and Demand in Static Deployment Systems,” *Acad. Emerg. Med.*, vol. 16, no. 12, pp. 1359–1366, Dec. 2009.
- [19] H. Morohosi and T. Furuta, “Optimization model and simulation for improving ambulance service system,” 2013.
- [20] A. Atalan and C. C. Donmez, “DEVELOPING OPTIMIZATION MODELS TO EVALUATE HEALTHCARE SYSTEMS,” *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 853–873, 2020.
- [21] D. Bertsimas and Y. Ng, “Robust and Stochastic Formulations for Ambulance Deployment and Dispatch,” *Eur. J. Oper. Res.*, May 2019.
- [22] S. S. W. Lam, C. B. L. Ng, F. N. H. L. Nguyen, Y. Y. Ng, and M. E. H. Ong, “Simulation-based decision support framework for dynamic ambulance redeployment in Singapore,” *Int. J. Med. Inform.*, vol. 106, pp. 37–47, Oct. 2017.
- [23] M. Swalehe and S. G. Aktas, “Dynamic Ambulance Deployment to Reduce Ambulance Response Times Using Geographic Information Systems: A Case Study of Odunpazari District of Eskisehir Province, Turkey,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 36, pp. 199–206, Jan. 2016.
- [24] A. D. Hanchate, M. K. Paasche-Orlow, K. S. Dyer, W. E. Baker, C. Feng, and J. Feldman, “Geographic Variation in Use of Ambulance Transport to the Emergency Department,” *Ann. Emerg. Med.*, vol. 70, no. 4, pp. 533–543.e7, Oct. 2017.
- [25] S. Enayati, M. E. Mayorga, H. K. Rajagopalan, and C. Saydam, “Real-time ambulance redeployment approach to improve service coverage with fair and restricted workload for EMS providers,” *Omega*, vol. 79, pp. 67–80, Sep. 2018.
- [26] A. Atalan and C. Donmez, “Employment of Emergency Advanced Nurses of Turkey: A Discrete-Event Simulation Application,” *Processes*, vol. 7, no. 1, p. 48, Jan. 2019.
- [27] A. Shahabi, S. Raissi, K. Khalili-Damghani, and M. Rafei, “Designing a resilient skip-stop schedule in rapid rail transit using a simulation-based optimization methodology,” *Oper. Res.*, pp. 1–31, Oct. 2019.
- [28] C. Swoveland, D. Uyeno, I. Vertinsky, and R. Vickson, “A simulation-based methodology for optimization of ambulance service policies,” *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 697–703, Dec. 1973.
- [29] A. Atalan and C. C. Dönmez, “Optimizing experimental simulation design for the emergency departments,” *Brazilian J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 17, no. 4, pp. 1–13, 2020.[30] Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Yozgat İli,” *Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, 2021. <https://yozgat.csb.gov.tr/genel-bilgiler-i-2301>.
- [31] Yozgat Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü, “Yozgat İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu, 2017.
- [32] 112 Acil Çağrı Merkezi, “Yozgat 112 Acil Çağrı Merkezi Müdürlüğü,” 2020.
- [33] Turkish Statistical Institute, “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi,” 2020. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>.
- [34] State Turkish Meteorological Service, “Extreme Maximum, Minimum and Average Temperatures Measured in Long Period (°C),” 2019. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=YOZGAT>.
- [35] Turkish State Meteorological Service, “The average temperature between 1970 and 2016 in Turkey,” 2019. .
- [36] S. S. Wei Lam, Z. C. Zhang, H. C. Oh, Y. Y. Ng, W. Wah, and M. E. Hock Ong, “Reducing Ambulance Response Times Using Discrete Event Simulation,” *Prehospital Emerg. Care*, vol. 18, no. 2, pp. 207–216, Apr. 2014.
- [37] M. E. H. Ong *et al.*, “Reducing Ambulance Response Times Using Geospatial-Time Analysis of Ambulance Deployment,” *Acad. Emerg. Med.*, vol. 17, no. 9, pp. 951–957, Sep. 2010.



Determining Suitable Regions for Potential Offshore Wind Farms in Bandırma Bay using Multi-criteria-Decision-Making Method

Çok-kriterli Karar Verme Metodu Kullanarak Bandırma Körfezinde Uygun Deniz Üstü Rüzgar Enerji Santral Alanlarının Tespiti

^{1,2}Fatih KARİPOĞLU , ³Samet ÖZTÜRK , ²Mustafa Serdar GENÇ

^{1,2} İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 35430, Urla/İzmir

² Erciyes Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 38430, Kayseri, Turkey

³ Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Yıldırım/Bursa, Türkiye

²samet.ozturk@btu.edu.tr, ¹fatihkaripoglu@iyte.edu.tr

³musgenc@erciyes.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :20 March 2021

Accepted : 7 April 2021

Keywords:

Wind Energy, Offshore, Suitable Site Selection, Multi-criteria Method

ABSTRACT

Wind energy is an environmentally friendly, profitable, and renewable energy resource. Wind energy deployment is increasing in the last two decades. In this paper, Bandırma bay which has a potential for offshore wind deployment is studied to determine the most suitable area in it and eventually potential offshore power capacity of the location is estimated. This study combines applications of Geographical Information System and Multi-Criteria-Decision-Making Methodology to obtain fast results supported with visual documentation. In this scope, eight standard criteria such as wind speed, water depth, bird migration lines are applied and investigated in detail by using Geographical Information System. It is found that there is sufficient wind speed at the shallow level of the sea. Consequently, two locations are found to be suitable; one is on the northwest and the other one is on the north east of Bandırma, with capacities of 72 MW and 48 MW, respectively.

© 2020 Bandırma Onyediy Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 20 Mart 2021

Kabul : 7 Nisan 2021

Anahtar Kelimeler:

Rüzgar Enerjisi, Deniz Üstü, Uygun Alan Seçimi, Çok-kriterli Method

ÖZET

Rüzgar enerjisi çevre dostu, karlı ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi yayılımı son yirmi yılda artmaktadır. Bu çalışmada, deniz üstü rüzgar yayılımı potansiyeli olan Bandırma körfezi içindeki en uygun alanın belirlenmesi için çalışılmış ve sonuç olarak buradaki potansiyel deniz üstü güç kapasitesi tahmin edilmiştir. Bu çalışma, görsel ve hızlı analiz sonuçlarını elde etmek için Coğrafi Bilgi Sistemi ve Çok-Kriterli-Karar-Verme Metodolojisi metodlarını birlikte kullanmaktadır. Bu kapsamda rüzgar hızı, deniz derinliği, kuş göç hatları gibi sekiz standart kriter uygulanarak detaylı bir şekilde Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak incelenmektedir. Bandırma'nın deniz trafiği yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle uygun bölge seçiminde gemi rotaları önemli ölçüde rol oynarken, askeri bölgelere, haberleşme kablolarına ve turistik alanlara yakınlık uygun bölge seçiminde sonucu etkileyecek derecede değildir. Sonuç olarak, denizüstü rüzgar santrali kurulumu için iki konum uygun olarak bulunmuştur; biri kuzeybatıda, diğeri ise Bandırma körfezinin kuzey doğusunda, sırasıyla 72 MW ve 48 MW kapasitelidir.

© 2020 Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. INTRODUCTION

Energy is one of the fundamental necessities of the modern life. Because of the increase in world population and development of technological devices, energy consumption is rising constantly. In contrast to the increasing energy consumption, amount of fossil fuel reserves is decreasing. In addition, environmental pollution and greenhouse gas emissions are increasing. These concerns have led countries to search for solutions such as developing renewable energy systems [1]. To address abovementioned concerns, renewable energy sources gained more reputation and importance around the world. Wind, solar, biomass, hydropower, geothermal energy systems can be named as renewable energy sources. Among renewable energy sources, wind energy is one of the most preferable systems because of its high energy production level. Wind energy systems have some advantageous such as the highest energy production systems in per m², profitability and quick installation among other renewable energy systems. Because of these advantages, wind energy is the most deployed renewable energy system (excluding hydropower energy systems) in terms of installed power capacity globally [2].

Recently, countries which have seashores showed interest in the offshore wind farms. Turkey is surrounded by three different seas but there is not any offshore wind farm yet in the country where there is a great potential to be benefited. In the literature, there are several studies which estimated potential offshore wind energy on Turkish seashores. An offshore study on Aegean Sea, Bozcaada region was determined as a suitable region and 30 offshore wind turbines with 3 MW power were placed by using WindPro [1]. In another study which applies techno-economic analysis for Turkey offshore wind potential by applying multi-criteria site selection method, the most promising three locations were determined as Bozcaada, Gökçeada and Bandırma [3]. Although the placement wind turbine number and total capacity of Bandırma region were determined as 97 turbines and 349.2 MW, respectively, the ship route impact (from Bandırma to Bursa) was ignored in this study [3]. To determine Turkey's offshore wind potential, 10 different restrictions were applied on 10 regions and the Weibull distribution was conducted for technical wind speed analysis and ideal water depth was selected between 20-50 meters to install offshore wind turbines [2]. Finally, total offshore wind potential of Turkey was calculated in 9 GW by authorities [2]. In another study, technical, economic, and environmental comprehensive analysis was applied to determine offshore wind potential in Turkey considering 11 restrictions by using multi-criteria method [4]. Some studies found that Bandırma bay is one of the suitable offshore locations for wind energy [3, 4]. Also, some studies examined the potential of wind energy and economic value of wind energy power plants [5-9]. This study aims to find suitable locations for potential offshore wind farms on the Bandırma bay combining Multi-Criteria-Decision making method and GIS considering different criteria to provide information to the investors and policymakers about the potential locations of one of the new energy production systems in Turkey in the near future.

2. METHOD

In this study, the proposed diagram which explains the methodology is shown in Figure 1. The GIS and MCDM method was used the determination suitable site for wind farms [10]. It was handled under three main steps; (i) processing and data collection, (ii) determine restrictions and establish the MCDM method, (iii) evaluation of the impacts for this analysis. To obtain accurate results, updated and comprehensive data sources must be found and also received data must be edited to use in Geographical Information Systems. In this comprehensive study, a lot of data sources was used such as Global Wind Atlas, Emodnet, CLC 2000, Birdmap [11-14]. On the second step, technical and environmental impacts were determined according to current legislation and situation. In this scope, eight standard criteria such as wind speed, depth of the sea, bird migration lines, marine fish and mammals, closeness to military zones, the communication cables, touristic areas and ports and ship routes were applied. After technical and environmental analyses, suitable regions for offshore wind energy potential was determined.

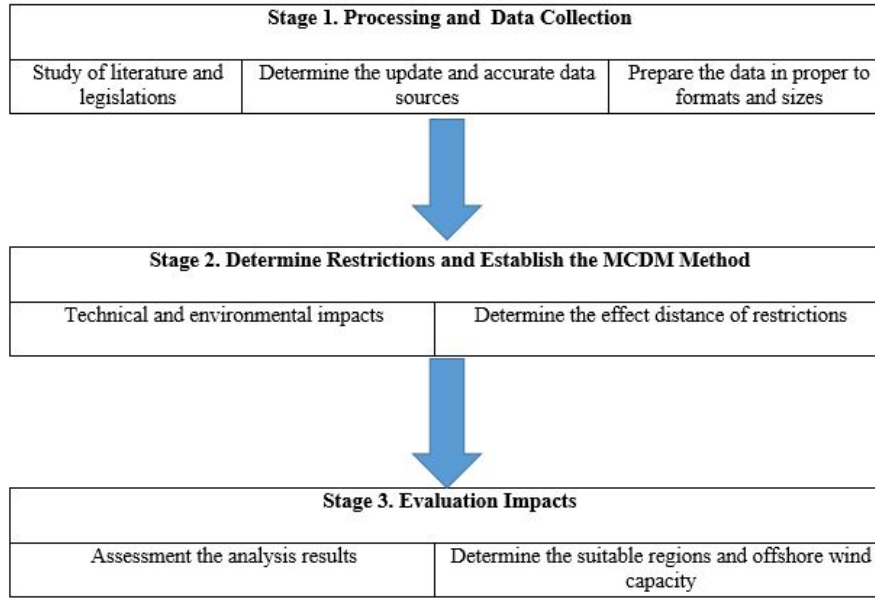


Figure 1. Roadmap of study

3. RESULTS

3.1. Study Area

This analysis was conducted for Bandırma bay, located northern shores of Balıkesir city. Bandırma is located at a latitude of 40.3° and a longitude of 27.9° . Because of its geographical position, Bandırma is an important commercial and port region. Also, it has some touristic regions for foreign and domestic holidaymakers. The study area is shown in Figure 2. with grids (10 km*10 km). Also, there is a tunnel effect in Marmara Sea. Therefore, the wind speed potential is high in the study area and it is worth to be investigated potentiality for offshore wind investments.

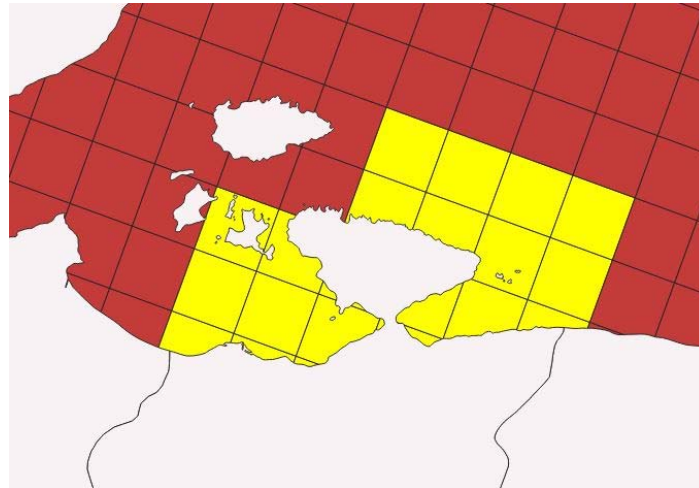


Figure 2. Study Area, Bandırma

3.2. Technical Assessments

To determine suitable sites for offshore wind farms, technical analyses are very important. technical assessments were handled with wind speed and water depth analysis. To consider any potentiality for wind farms, the minimum wind speed must be at least 3 m/s. In addition, to suggest economic efficiency for the wind farms, the minimum wind speed of the area must be around 7 m/s [15]. Due to lack of obstacles for disrupting the winds, more stable flow and high wind speed occur in the offshore wind farms [16]. Therefore, the wind speed potential of offshore wind farms is nearly %30 higher than onshore wind farms. In this study, the necessary data for the wind speed was received from Global Wind Atlas (GWA) at 100 m elevation. Afterwards, data sets proceed in Geographical Information System (GIS) and finally wind speed distribution map layer was obtained with three different color and shown as legend in Figure 3. The wind speed distribution map layer is shown in Figure 3. According to this

map layer there is not any region with low wind speed (less than 3 m/s). Also, the blue colored regions are suitable for the offshore wind farms economically (greater than 7 m/s).

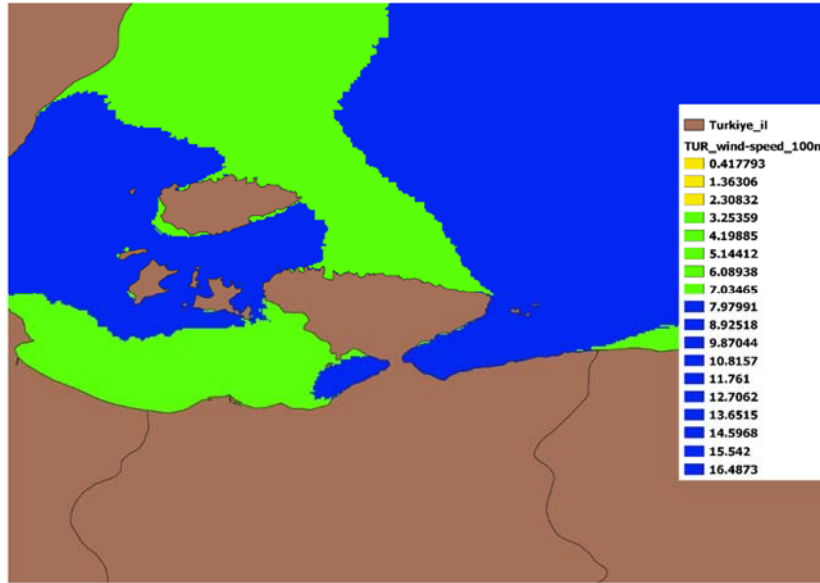


Figure 3. Wind speed distribution map layer in study area

Another important aspect in technical assessments is water depth. Building offshore wind turbines on to seabed process is very hard and laborious. Therefore, the suitable region's water depth must be selected carefully, and the analysis related to water depth must be done in details. In the literature, for offshore wind farms the most suitable regions are considered with water depth of between 20 and 50 meters [17]. With the development of foundation technologies of offshore wind turbines, suitable water depth may reach to 1000 meters. Thereby, offshore wind potential of countries may reach more five times [1]. In this study, maximum water depth for monopile offshore wind turbines was selected as 50 meters. Figure 4 shows that the water depth analysis which was conducted using GIS. Figure 4 shows that Bandırma bay has plentiful shallow area near the shore. Investors and energy planners to build offshore wind farms should consider environmental and social impacts of potential offshore wind farms in the area.

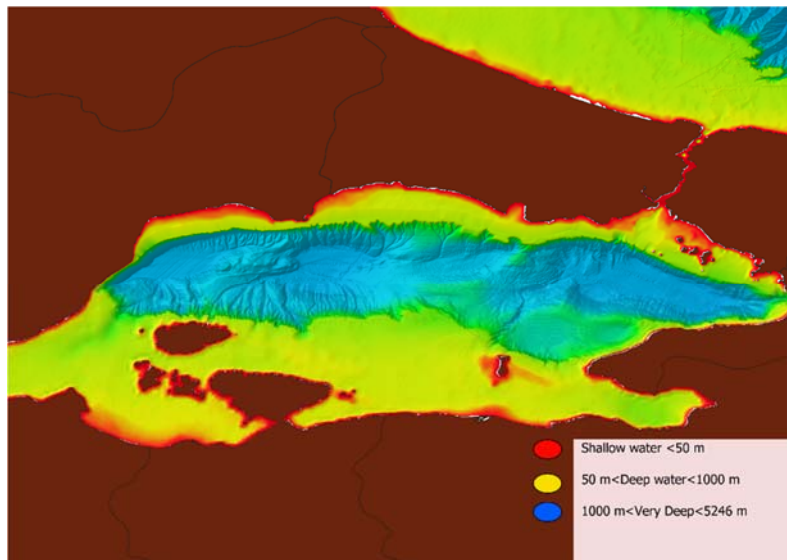


Figure 4. Water depth of Marmara Sea

After wind speed and water depth analyses, it must be determined the suitable regions in terms of technical impacts. Obtained Figure 3 and Figure 4 map layers superimposed by using GIS and shown in Figure 5 which shows technically suitable regions determined in the study area. Determined suitable region's wind speed is greater than 7 m/s and water depth is less than 50 meters. According to these restrictions, two technical suitable regions where are located on northeast and northwest of Bandırma bay.

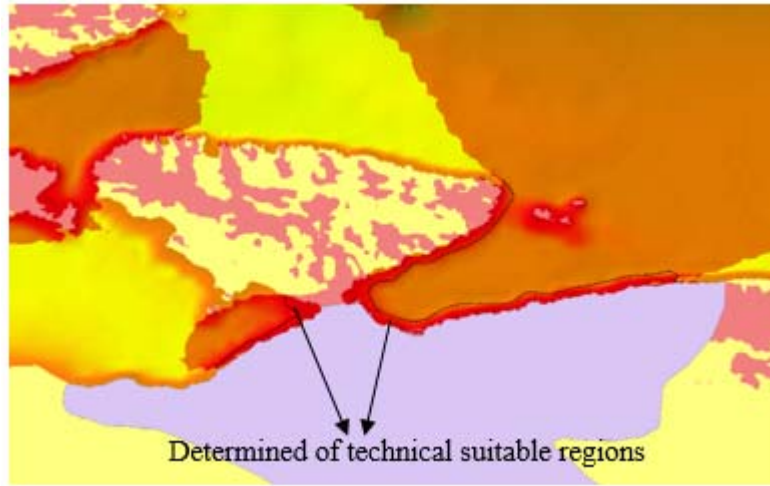


Figure 5. Technical suitable regions

3.3. Environmental Assessments

After technical analysis, environmental impacts and restrictions should be considered for offshore wind farms according to region's situations. Environmental assessments should be done in detail and up to date. Generally, environmental assessment studies have more restrictions than technical assessments studies. MCDM and GIS combination method is used to determine the suitable regions for energy power plants such as solar, wind, hydropower and so on [18,19]. In this study, environmental assessment step consisted of pipelines and telecommunication cables, marine fish and mammal's regions, famous tourism regions, main ports, ship routes and ship density, military regions and bird migration paths.

3.3.1. Military Regions

The use of military regions for different purposes are prohibited and dangerous, since the military forces use these regions for training, settlement, and other reasons. Estimated and considered locations of offshore wind farms in Turkey must be selected carefully, to not to encounter any disagreement. Therefore, offshore wind farms must be installed far away 5 kilometers from military regions due to potential impact on military operations [20]. The nearest military regions of the study area which is Erdek military region is shown in Figure 6 and its distance of suitable region was calculated as 5.8 kilometers. Therefore, there is no negative effect in terms of military region restriction.



Figure 6. Military regions near the study area

3.3.2. Pipelines and Underground Cables

Turkey is located between Europe and Asia. Therefore, Turkey has a critical position in terms of transportation of commercial loads, natural gas, petroleum, and passengers. This enables Turkey to acquire important advantages

such as natural gas and petrol transition. Petrol and petroleum derivate, which are produced in Iraq and Caspian regions, can be transported by the Baku-Tbilisi-Ceyhan and Iraq petrol pipelines to Turkey [21]. Two main ways of pipelines and telecommunication cables pass through the Marmara Sea. This map layer denoted in Figure 7. The nearest telecommunication cables are far away 20 km from study area. Therefore, it could be asserted that there is no threat in terms of installation of offshore wind farms on Bandırma bay.

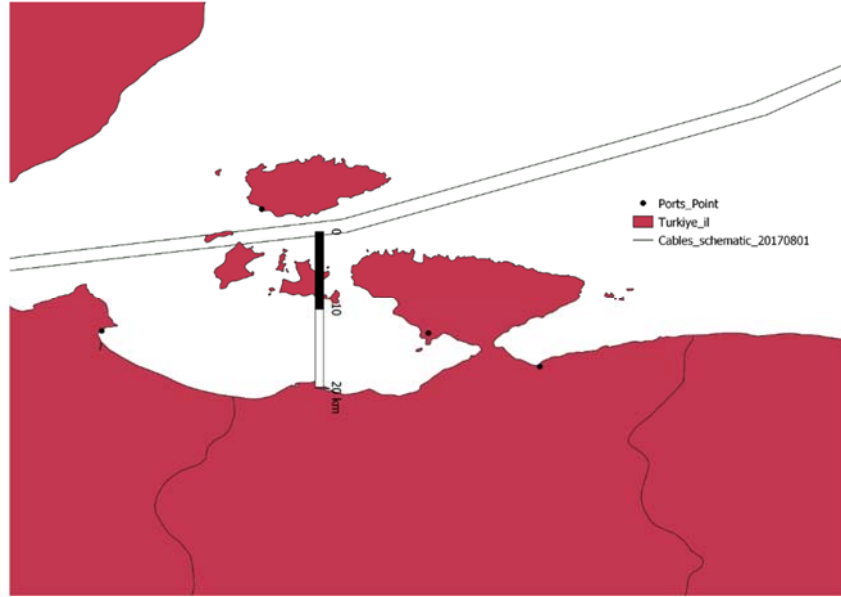


Figure 7. Pipelines and telecommunication cables routes near the Bandırma bay

3.3.3. Marine Fish and Mammals Regions

Fishery is very important income type for people who live in near the seas. Offshore wind farms may negatively affect fisheries because of its vibration. However, there is no vital effect on natural fish habitat because the monopile offshore wind turbines which are selected in this study do not create the vibration and noise which disturb marine fish [19]. The fishery zones were divided with lines to show marine mammals and fish regions in Figure 8.

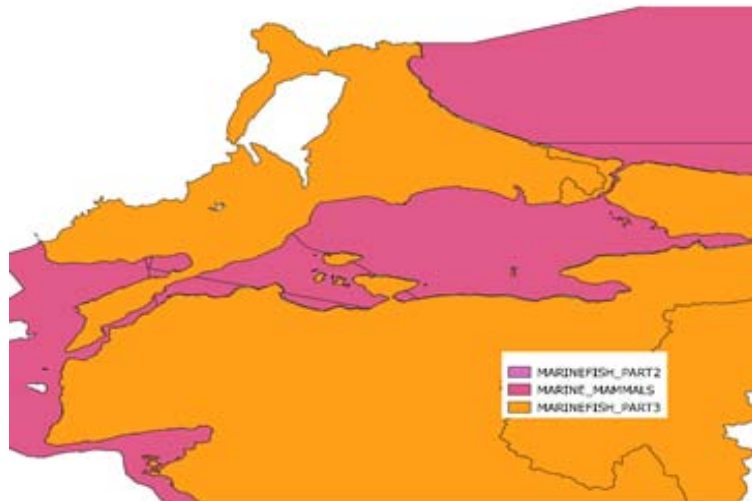


Figure 8. Fishery zones and mammal's regions

3.3.4. Famous Touristic Regions

Turkey has four seas which are suitable for swimming and tourism activities. Therefore, fifty million tourists come from different countries to Turkey touristic regions per year [22]. Therefore, suitable site selection of offshore wind farms considers potential negative effects on tourism. In this study, famous beaches and touristic areas nearby the Bandırma bay were determined. There were two famous touristic areas near the study area. However, determined suitable regions do not affect these famous touristic regions since suitable regions with high wind

speed and shallow water are far away from the touristic areas. Figure 9 illustrates these touristic areas with black lines.

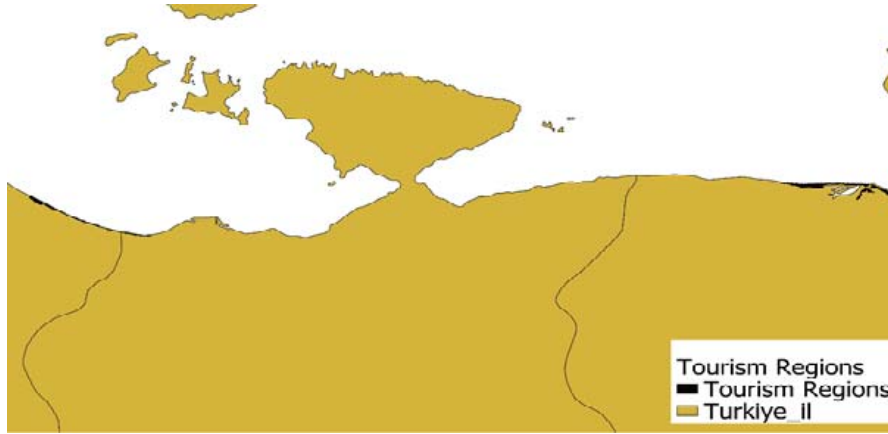


Figure 9. Famous touristic regions near the study area

3.3.5. Bird Migration Path

Wind turbines which are located on bird migration paths could kill the migratory birds. Therefore, wind turbines should be located 3 kilometers away from bird migration paths [23]. A layer to use in GIS for bird migration paths map was received from Birdmap which is shown in Figure 10.

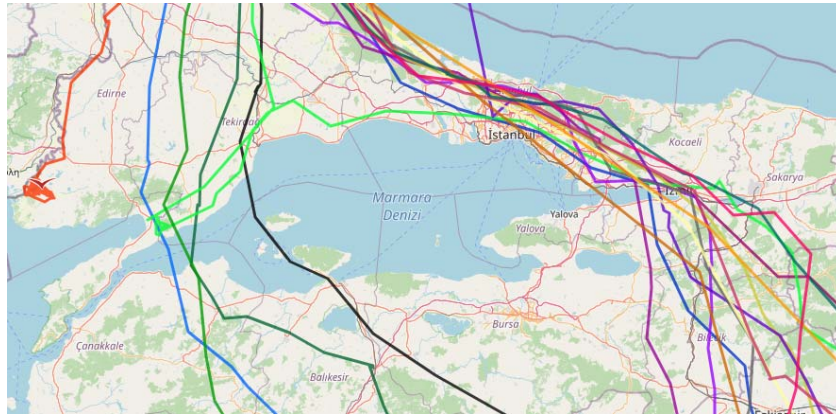


Figure 10. Bird migration paths

3.3.6. Main Ports, Ship Routes and Ship Density

The seas of Turkey are used by native or foreign people intensely for different purposes; among those the most important impacts are ship routes and ship density in study area due to having a vital port for commercial passenger traffic, namely Bandırma Port. The analysis of these restrictions was done in details and carefully. Offshore wind turbines might be dangerous and hazardous in stormy conditions. Therefore, suitable regions for offshore wind farms should be 3 kms far away from intensive ship routes and main ports [24]. Main ports and ship density map layer is shown in Figure 11. Green colored regions show the most used ways by sailors whereas other colors show the density of sea vehicles. The left side of the study area has lower density than the other sites. Also, near the shore of Bandırma port, there is a small tunnel as a suitable region.

Bandırma has 7 ship routes because of its location. Also, the Bandırma port is preferred for cargo, passenger, and other ship traffic processes. Generally, Bandırma-Bursa and Bandırma-İstanbul routes are very dense. In this region, there are four different ways which limit selecting more suitable regions for offshore wind farms. Additionally, according to analysis results, most of the restrictions are from ship routes for this study area. The ship routes map layer is shown in Figure 12.

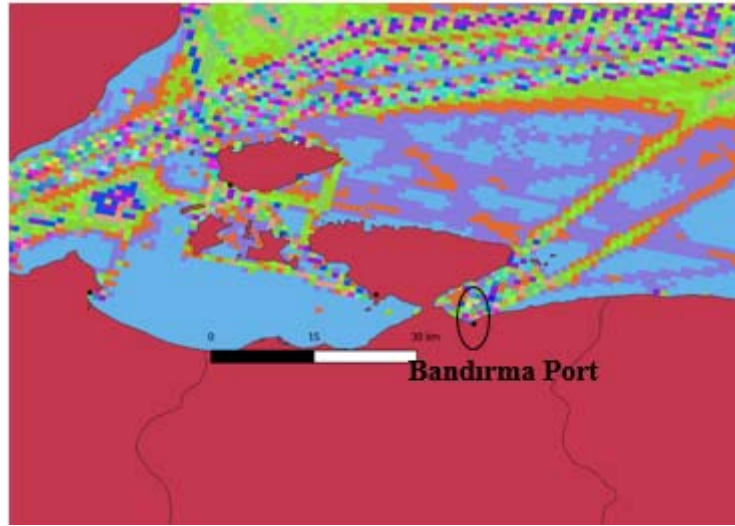


Figure 11. Bandırma port and ship density

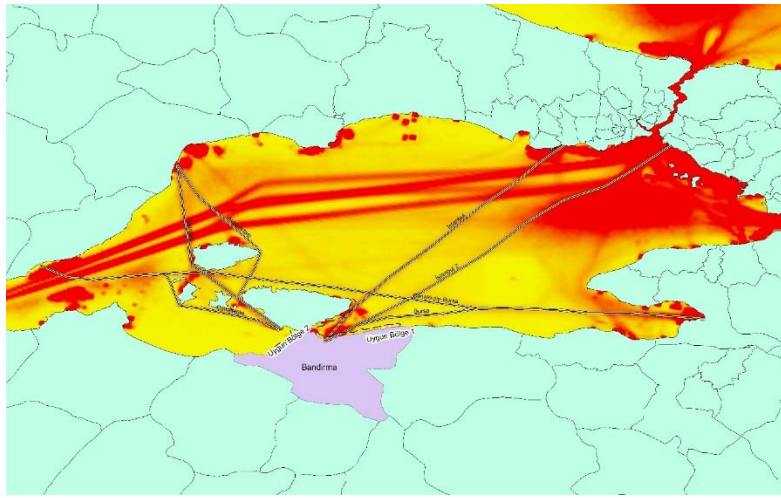


Figure 12. Ship routes map layer

3.4. Potential Capacity Assessment

This comprehensive analysis study aimed to develop a tool combining GIS and MCDM combination method to obtain results visually and in a short time. After technical analysis results, technical suitable region's map layer was denoted in Figure 5. Based on the determined technical suitable regions, environmental analysis was done by using GIS and illustrated Figures. 6-12. In this step, it was determined that the most impactful and important restrictions was the ship routes. To estimate the capacity of the determined suitable regions of offshore wind installations, Siemens Gamesa SG6-154 offshore wind turbines were selected and located on to the map (Figure 13). The first region's circumference and area are nearly 21 km and 10 km², respectively. The second region's circumference and area are 9 km and 5 km², respectively. These values are very important for offshore installations. The power of the selected wind turbine is 6 MW and rotor diameter (D) is 154 meters. Generally, energy planners and investors prefer this offshore wind turbine [25]. Micro sitting process is very important for economic and energy production analyses. Therefore, the distance of offshore wind turbines should be selected carefully. The most appropriate distance is selected as 4*D-7*D meters for vertical and horizontal distances, respectively. According to this information, 12 and 8 offshore wind turbines in region-1 and region-2, respectively by using WindSim. It is found that the total number of wind turbines is 20 and total capacity is 120 MW and the dominant wind flow is found to be from southwest to northeast. This capacity value is very important and vital to meet of region's electricity demand.

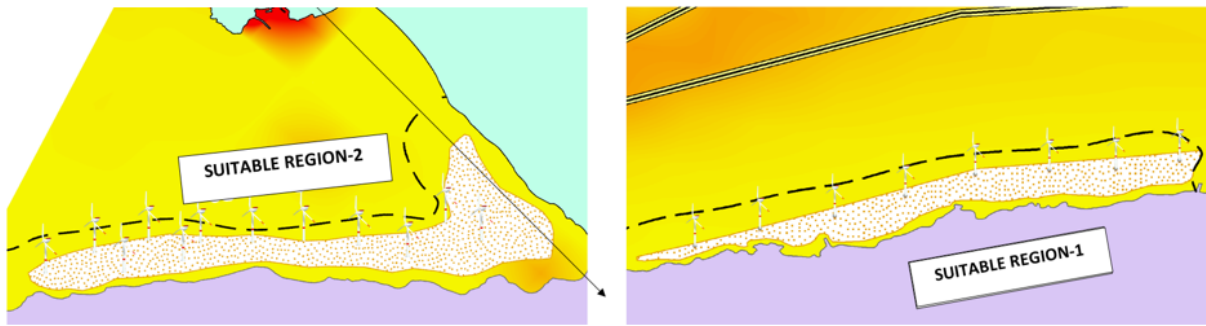


Figure 13. Suitable regions on the Bandırma Bay

4. CONCLUSIONS

This study investigated the potential of offshore wind farms on Bandırma bay considering different criteria and applying MCDM and GIS. Following conclusions are drawn from this study:

- Combination of GIS and MCDM enables creating a lot of map layers for analysis of suitability of study area under selected restrictions. Using obtained map layers, the most suitable regions are determined easily and could obtained the visual suitability map.
- Two locations on Bandırma Bay have been determined as potential locations for offshore wind farm installation with total capacity of 120 MW.
- With this comprehensive analysis study, investors, decision makers, authorities and energy planners can easily get information and this study can adopt easily to changing updates.

Moreover, Bandırma has a tunnel effect because of its location. Therefore, the offshore wind potential might be higher than calculated in this study. However, the study area has a lot environmental effect. Especially, ship routes affected large areas while determining suitable site selection. Also, one of bird migration paths prevented 3 more offshore wind turbines installation in suitable region-2 which was shown in Figure 13.

Statement of Conflict of Interest: Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions: The contribution of the authors is equal

REFERENCES

- [1] M. Satir, F. Murhpy, K. and McDonnel "Feasibility study on an offshore wind farm in Aegean Sea, Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 2552-2562, 2018.
- [2] C. Emeksiz, and B. Demirci "The determination of offshore wind energy potential of Turkey by using novelty hybrid site selection method", Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 36, 2019.
- [3] U. Cali, N. Erdogan, S. Kucuksari and M. Argin. "TECHNO-ECONOMIC analysis of high potential offshore wind farm locations in Turkey", Energy Strategy Reviews, vol. 22, pp. 325-336, 2018.
- [4] M. Argin, V. Yerci, N. Erdogan, S. Kucuksari, and U. Cali "Exploring the offshore wind energy potential of Turkey based on multi-criteria site selection", Energy Strategy Reviews, vol. 23, pp. 33-46, 2019.
- [5] M S. Genç, M. Gökçek "Evaluation of wind characteristics and energy potential in Kayseri, Turkey", Journal of Energy Engineering-ASCE, vol. 135(2), pp. 33-43, 2009.
- [6] M. Gökçek, M S. Genç "Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems (WECSs) in Central Turkey", Applied Energy, vol. 86(12), pp. 2731-2739, 2009.
- [7] M S. Genç "Economic viability of water pumping systems supplied by wind energy conversion and diesel generator systems in North Central Anatolia, Turkey", Journal of Energy Engineering, vol. 137(1), pp. 21-35, 2010.
- [8] M S. Genç, M. Çelik, İ. Karasu "A review on wind energy and wind-hydrogen production in Turkey: A case study of hydrogen production via electrolysis system supplied by wind energy conversion system in Central Anatolian Turkey", Renewable and sustainable energy reviews, vol. 16(9), pp. 6631-6646, 2012.
- [9] G. Genç, M. Çelik, M S. Genç "Cost analysis of wind-electrolyzer-fuel cell system for energy demand in Pınarbaşı-Kayseri", International journal of hydrogen energy, vol. 37(17), pp.12158-12166, 2012.

- [10] M S. Genç “Determination of the most appropriate site selection of wind power plants based Geographical Information System and Multi-Criteria Decision-Making approach in Develi, Turkey”, *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, vol. 30, pp. 97-114, 2021.
- [11] Global Wind Atlas Map (GWA), 2020. <https://globalwindatlas.info/>
- [12] Emodnet Human Activity, 2020. <https://emondet.eu/en/human-activities>
- [13] Copernicus Data Sources, CLC 2000. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine>
- [14] Birdmap, 2020. <https://birdmap.5dvision.ee/en>
- [15] M. Szurek, J. Blackhowski, A. Nowacha “GIS-based method for wind farm location multi-criteria analysis”, *Mining Science*, vol. 21, pp. 65-81, 2014.
- [16] M. Bilgili, A. Yasar, E. Simsek “Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart”. *Renewable and Sustainable Energy*, vol. 15, pp. 905-1005, 2011.
- [17] A. Arrambide, I. zubia, A. Madariaga. “Critical Review of offshore wind turbine energy production and site potential assessment”, *Electric Power Systems Research*, vol. 167, pp. 39-47, 2019.
- [18] H. E. Colak, T.Memisoglu, Y. Gercek. “Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AH: A case study of Malatya, Turkey”, *Renewable Energy*, vol. 149, pp.565-576, 2020.
- [19] F. Ferrari, G. Besio, F. Cassola, A. Mazzino. “Optimized wind and wave energy resource assessment and offshore exploitability in the Mediterranean Sea”. *Energy*, vol. 190, 2020.
- [20] M. Deveci, E. Ozcan, R. John. “Offshore wind farms; A fuzzy approach to site selection in a Blach Sea region”. *IEEE Conference*, College Station, TX, USA, 6-7 February 2020.
- [21] O. Akdag and C. Yeroğlu. “An evaluation of an offshore energy installation for the Black Sea region of Turkey”, *GG. Science and Technology*, pp. 531-544, 2020.
- [22] Turkey Tourism Statistics, 2020. <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-9851/turizm>
- [23] R. Zimmerling, C. Pomeroy, M.V. Entremont, C.M. Francis. “Canadian estimate of bird mortality due to collisions and direct habitat loss associated with wind turbine developments”. *Avian Conservation Ecology*, vol. 8:2, pp.10-22, 2013.
- [24] M. Mahdy, A. Bahaj. “Multicriteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt”. *Renewable Energy*, vol. 118, pp.278-289, 2018.
- [25] I. Arrambide, I. Zubia, A. Madariaga. “Critical review of offshore wind turbine energy production and site potential assessment”, *Electric Power Systems Research*, vol. 167, pp. 39-47, 2019.



Farklı Yöntemlerle Sentezlenmiş olan ZnO'nun Organik Güneş Hücrelerinde Verim Üzerine Etkisi

The Effect of ZnO Synthesized by Different Methods on Efficiency in Organic Solar Cells

¹Semih Yurtdaş , ²Mustafa Karaman , ³Cem Tozlu

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karaman, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya, Türkiye

³İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye

¹syurtdas@kmu.edu.tr, ²mkaraman@ktun.edu.tr ³tozlu.cem@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 18 March 2021

Accepted : 8 April 2021

Keywords:

Organic Solar Cell, Electron Transport Layer, ZnO

ABSTRACT

In this study, a solar cell with ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag structure was produced. Then, the effect of ZnO, which was synthesized with different methods, on device efficiency was investigated. As the synthesis method, sol-gel, nanocrystal and solution processes were used. First of all, XRD characterization has been made for each different synthesis method. Later, the devices were produced by coating with the obtained ZnO solutions. The efficiency of the devices was determined under 100 mw/cm² solar irradiance using Keithley 2400 sourcemeter. According to the obtained findings, the highest efficiency (2.90%) was achieved with ZnO synthesized by sol-gel method. In addition, the sol-gel method has extra advantages as it requires cheaper equipment and relatively harmless chemicals compared to other methods. As a result, it was determined that the most suitable synthesis method for ZnO to be used in organic solar cells is the sol-gel method.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 18 Mart 2021

Kabul : 8 Nisan 2021

Anahtar Kelimeler:

Organik Güneş Hücresi, Elektron Taşıyıcı Tabaka, ZnO

ÖZET

Bu çalışmada ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag yapısına sahip güneş hücresi üretilmiş olup farklı yöntemlerle sentezlenmiş olan ZnO'nun aygıt verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sentez yöntemi olarak, sol-jel, nanokristal ve çözelti prosesi kullanılmıştır. Öncelikle her bir farklı sentez yöntemi için XRD ile karakterizasyon yapılmıştır. Daha sonrasında ise elde edilen ZnO çözeltileri ile kaplamalar yapılarak aygıtlar üretilmiştir. Yapılan aygıtların verim değerleri, 100 mw/cm² güneş ışması altında Keithley 2400 kaynak ölçer cihazı yardımı ile belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre en yüksek verime (%2,90) sol-jel yöntemiyle sentezlenen ZnO ile ulaşılmıştır. Ayrıca sol-jel yönteminin, diğer yöntemlere göre daha ucuz ekipmanlara ve nispeten zararsız kimyasallara gereksinim duymasından dolayı ekstra avantajları vardır. Sonuç olarak organik güneş hücrelerinde kullanılacak olan ZnO için en uygun sentez yöntemi sol-jel yöntemi olduğu belirlenmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Fosil kaynakların azalması ve bununla beraber nüfus yoğunluğunun sürekli olarak artması nedenleri ile enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bunların yanında çevresel kaygılar da enerjinin temiz bir şekilde sağlanması konusundaki önemi arttırmaktadır. Bu ihtiyaçların sağlanması için yenilenebilir enerji kaynakları büyük öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji yeryüzünde sürekli olarak devam eden atmosferik olaylardan ve bu olaylara etkisi olan diğer etmenlerden elde edilen enerji çeşididir. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, jeotermal, gel-git, biyokütle ve hidrolik) doğada sürdürülebilir olarak bulunmaktadır [1-2].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin kullanımı ile elektrik elde etmede iki ana teknolojiye dayanılmaktadır. Bunlardan birincisi termal güneş santralleridir. Bu santrallerde uygun sistemler kullanılarak jeneratör vasıtası ile elektrik elde edilmektedir. İkinci yöntem ise güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik sistemlerin temelini ise güneş hücreleri oluşturmaktadır.

Üzerine düşen güneş ışınım enerjisini fotovoltaik etkiyle doğrudan elektrığe çeviren yarı iletken temelli aygıtlara güneş hücresi denir. Yarı iletken kavramı ise değerlik bandı ile iletim bandının birbirlerine göre konumları ile alakalıdır. Genel olarak yasak enerji aralığı (E_g) 0,5 ile 5 eV arasında olan malzemeler yarı iletken sınıfına girmektedir [3].

Organik güneş hücreleri, düşük maliyetleri, hafif olmaları, geniş alanlara uygulanabilmeleri, çözelti bazlı proseslere uygun olmaları ve mekanik esnekliklerinden dolayı büyük ilgi çekmektedir [4]. Organik güneş hücreleri temel olarak biri donör diğeri akseptör olan iki organik maddeden oluşur. Donör malzeme olarak sıklıkla konjuge polimerler, akseptör malzeme olarak ise fulleren türevleri tercih edilmektedir. Donör ve akseptör malzemelerinin bir araya gelmesi ile aktif tabaka oluşur [5-7]. Bir konjuge polimer olan poli(3-hekzil tiyofen) (P3HT), HOMO (işgal edilmiş en yüksek moleküler orbital enerji seviyesi)-LUMO (işgal edilmemiş en düşük moleküler orbital enerji seviyesi) seviyelerinin uyumu ve yüksek taşıyıcılığından dolayı yüksek akım yoğunluğu sağlar [8]. P3HT, polimer tasarımı için referans görevi gören en popüler donör materyaldir [9]. Fulleren türevleri, hızlı yük ayrımı, uzun eksiton difüzyonu, yeniden düzenlenme enerjilerinin küçüklüğü ve yüksek elektron afinitelerinden dolayı ideal birer akseptör malzemelerdir. Birçok türevi sentezlenmiş olmasına rağmen en popüler olanı yüksek çözünürlükteki fenil-C61-butirik asit metil esteridir (PC₆₁BM) [8,10].

Bir organik güneş hücresinin çalışma prensibinden kısaca bahsetmek gerekirse; aktif tabakada fotonun absorplanması ile bir elektron-boşluk çifti (eksiton) oluşur. Donör ve akseptör moleküllerin arayüzey yakınlığında oluşan eksitonlar ara yüzeyde, serbest elektron ve boşluk yük taşıyıcılarına ayrışarak, boşluk yük taşıyıcıları donör tipi katmana ve elektronlar da akseptör katmana transferleri gerçekleşir. Daha sonrasında ise ayrılan yük taşıyıcıları kontaklar üzerinden toplanır [11]. Eğer kontaklar ile aktif tabaka arasında hem akseptör hem de donör katmanların enerji band yapısına uygun yarı iletken malzemeler kullanılırsa daha verimli bir yük toplanması söz konusu olmaktadır. Çinko oksit (ZnO) önemi de bu noktada ortaya çıkar. ZnO, elektron taşıyıcı tabaka (ETT) olarak kullanılan en yaygın iki yarı iletken malzemeden biridir. Görünür bölgede yüksek oranda geçirgenliğe sahip olması, akseptör katman ve metal kontakla olan enerji band seviyelerinin uyumu iyi olması, ucuz ve kolay yöntemlerle sentezlenebilir olması ve toksik olmaması ZnO'ı ideal bir elektron taşıyıcı tabaka yapar [12].

Konu ile ilgili ZnO kullanımının ve sentez yönteminin etkisinin incelendiği çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir. Yang ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları bir çalışmada ZnO'nun kullanılmadığı PSiF-DBT (poli [2,7-(9,9-dioktil-dibenzosilol)-alt-4,7-bis(tiofen-2-il)benzo-2,1,3-tiadiazol]):PC₆₁BM aktif tabakalı bir polimer güneş hücresinde %1,67 verime ulaşabilmişlerken ZnO kullanılmasıyla %3,8 değerine ulaşabilmişlerdir [13]. Ntwaeaborwa ve arkadaşları (2012), P3HT:PC₆₁BM aktif tabakalı bir polimer güneş hücresinde ZnO'nun varlığının etkisini incelemişlerdir. ZnO olmadan %1,64 verime ulaşılmışken, ZnO varlığında %1,83 değerine ulaştıklarını rapor etmişlerdir [14]. Park ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, ZnO, kuantum nokta güneş hücresinde ETT olarak kullanılmış ve ZnO sentez yönteminin etkisini incelenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışması sonunda ZnO'nun sol-jel yöntemi ile sentezlendiği aygıtta %3,93 verime ulaşılırken nanokristal yöntemi ile sentezlenen aygıtta ancak %1,63 verime ulaşılabildiği rapor edilmiştir [15].

Bu çalışmada ise ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO₃/Ag yapısına sahip organik güneş hücresi üretilmiş olup üç farklı yöntemle (sol-jel, nanokristal ve çözelti prosesi) sentezlenmiş olan ZnO'nun aygıt verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan materyaller ve metotlar bu bölümde açıklanmıştır.

2.1. Materyal

Kullanılan kimyasallar hiçbir saflaştırma işlemine tabi tutulmamıştır. Güneş hücresinde alttaş olarak kullanılan indiyum katkılı kalay oksit (ITO) kaplı camlar (15Ω/kare) Kintech firmasından, temizlik için kullanılan aseton

(%99,5) ve izopropil alkol (%99,5) Tekkim firmasından alınmıştır. Sol-jel yönteminde kullanılan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%98-101) ve 2-Metoksietanol Alfa Aesar, etanolamin (%99,5) ise Aldrich firmasından temin edilmiştir. Çözelti prosesinde kullanılan ZnO (%99) Sigma-Aldrich, NH_4OH (%25) ise Merck firmasından alınmıştır. Nanokristal yönteminde ise ZnO kaynağı olarak yine $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%98-101) (Alfa Aesar) kullanılmış olup metanol (% 100) VWR, KOH (C Pure) ise Tekkim firmasından sağlanmıştır. Yapılan güneş hücresinin aktif tabakasını oluşturan poli(3-heksiltiofen-2,5-diil) (P3HT) (%93) ve (6,6)-fenil C61 bütirik asit metil ester (PCBM) (%99,5) Lum-Tech.firmasından alınmıştır. Güneş hücresinin boşluk taşıyıcı tabakasını oluşturan MoO_3 (%99,8) Sigma-Aldrich, üst kontağı olan Ag (%99,9) ise Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir.

2.2. Metot

Cam temizliği, ZnO sentez metotları, aygıt yapımı ve karakterizasyon işlemleri bu bölümde açıklanmıştır.

2.2.1. Cam temizliği

ITO'ların temizliği Taşaltın ve Karaca'nın önerdiği yöntemin biraz değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir [16]. Bu yöntemi kısaca anlatmak gerekirse ITO'lar öncelikle deterjanlı su ile temizlenir ve saf su ile durulanır. Ardından ultrasonik banyoda 20'er dakika sırasıyla aseton ve izopropanolde tutulur. Azot gazı ile kurutulan ITO'lar son olarak UV ozon temizleyicide 20 dk tutulduktan sonra kaplamaya hazır hale gelir.

2.2.2. Sol-jel metodu

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO için Liang ve arkadaşlarının (2012) önerdikleri yöntem kullanılmıştır [17]. Öncelikle çinko asetat dihidrat, 2-metoksi etanol içerisine eklenir ve sıcaklık ile beraber karıştırma uygulanır. Bir süre sonra mono etanol amin (MEA) eklenir. MEA ve çinko asetat dihidrat molar oranlarının 1:1 olmasına dikkat edilir. 60 °C sıcaklıkta 2 sa karıştırıldıktan sonra reaksiyon sonlandırılır ve 1 gün yaşlanmaya bırakılır. Yaşlandırma sonrası 0,1 M derişiminde hazırlanan çözelti kaplama yapmak için hazır hale gelir.

2.2.3. Nanokristal metodu

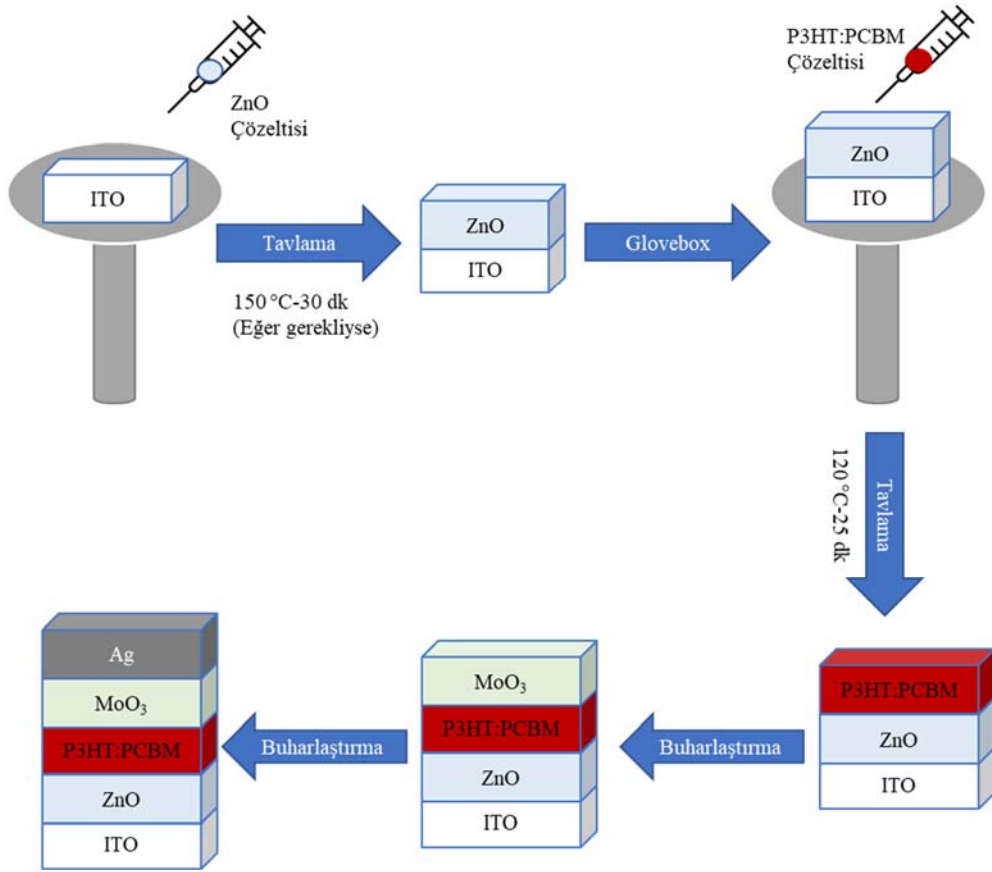
ZnO nanokristalleri Pacholski ve arkadaşlarının 2002 yılında önerdikleri yöntemle göre sentezlenmiştir [18]. Özetle, 0,01 M $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 125 mL metanol içerisinde kuvvetli karıştırma altında 60 °C sıcaklıkta çözülür. Ardından 65 mL metanolde hazırlanmış 0,03 M KOH çözeltisi damla damla eklenir. Çözelti 60 °C sıcaklıkta 2 sa daha karıştırılır. Reaksiyon sonunda çözelti soğumaya bırakıldı ve soğuduktan sonra 2 kez metanol ile yıkanır. Elde edilen ZnO nanokristalleri kurutulduktan sonra metanol içerisinde 15 mg/mL konsantrasyonda hazırlanarak kaplama için hazır hale getirilir.

2.2.4. Çözelti prosesi metodu

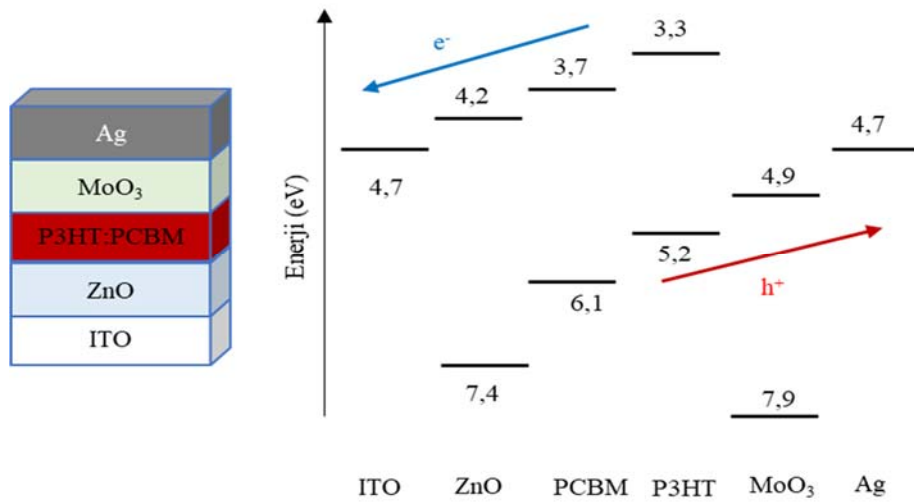
Çözelti prosesi metodunda, Lin ve arkadaşlarının 2014 yılında önerdikleri reçete biraz değiştirilerek uygulanmıştır [19]. Ticari olarak satın alınmış olan ZnO , NH_4OH içerisinde 0,05 M konsantrasyonunda 1 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırılarak hazırlanmıştır.

2.2.5. Aygıt yapımı

Temizlenen ITO üzerine, hazırlanan çözeltiler 2000 rpm hızında 30 sn süresince döner kaplama sistemi yardımı ile ayrı ayrı kaplanarak ETT'lar oluşturulmuştur. Nanokristal yöntemi ile hazırlanan ETT, herhangi bir tavlama işlemine tabi tutulmazken diğer yöntemlerle hazırlanan ETT'lar 150 °C sıcaklıkta 30 dk boyunca tavlannmıştır. Elde edilen üç farklı ETT üzerine soğurucu aktif yarı iletken katmanların ve elektrotların büyütölme yöntemleri aynıdır. Klorobenzen içerisinde 1:1 oranında hazırlanmış P3HT:PCBM döner kaplama ile 1250 rpm'de 40 saniye boyunca kaplanmıştır. Daha sonra 120 °C sıcaklıkta 25 dk süresince inert atmosfer sağlayan eldivenli kabin (glovebox) içerisinde tavlannmıştır. En sonunda ise fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile boşluk taşıyıcı tabaka olarak 8 nm kalınlığında MoO_3 ve üst kontak olarak 60 nm kalınlığında Ag kaplanmıştır. Aygıt yapım sürecinin şematik gösterimi şekil 1'de verilmiştir. Yapılan aygıtın içeriğinde kullanılan materyallerinin seçiminde enerji seviyeleri dikkate alınmıştır. Bu enerji seviyelerinin şematik gösterimi şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Aygıt yapım süreci



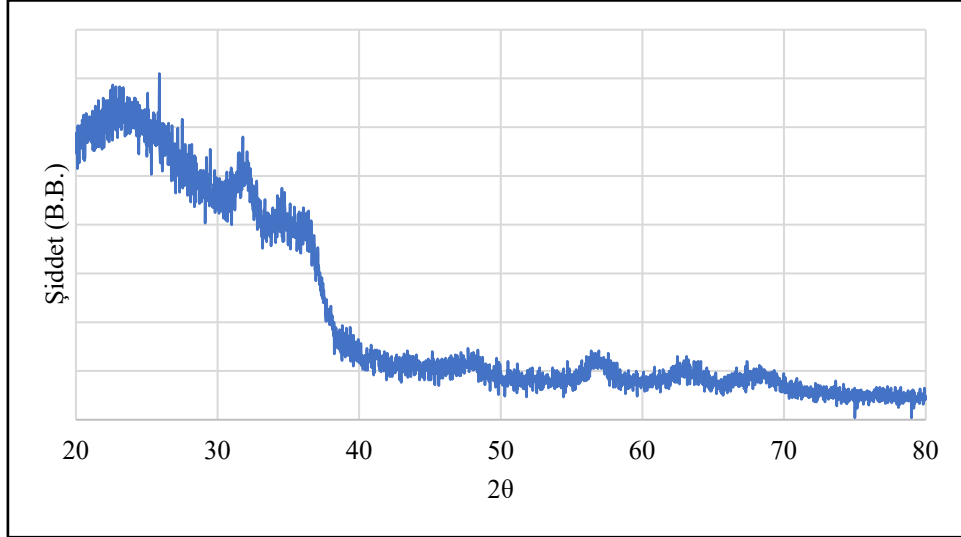
Şekil 2. ITO/ZnO/P3HT:PCBM/MoO3/Ag yapısındaki aygıtın enerji seviyeleri [20,21]

2.2.6. Karakterizasyon

Sentezlenen ZnO'ler XRD (Bruker D8 Advance ve Rigaku Ultima-IV) ile karakterize edilmiştir. XRD çekimlerinde nanokristal yöntemi ile sentezlenen ZnO'in toz halinde ölçümü yapılmıştır. Sol-jel yönteminde ise ince film halindeki ZnO'in XRD analizi gerçekleştirilmiştir. İnce film ölçümünde 0,2° grazing açısı kullanılmıştır. Çözelti prosesi ile sentezlenen ZnO ise damla metodu ile kalın bir film oluşturularak karakterize edilmiştir. Ayrıca sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO'in UV-Vis spektrofotometre (Hach DR5000) analizi ile geçirgenliği belirlenmiştir. Hazırlanan aygıtların elektriksel parametreleri güneş simülatörü (OAİ Trisol) ve akım-gerilim kaynak ölçer cihazı (Keithley 2400) yardımı ile belirlenmiştir.

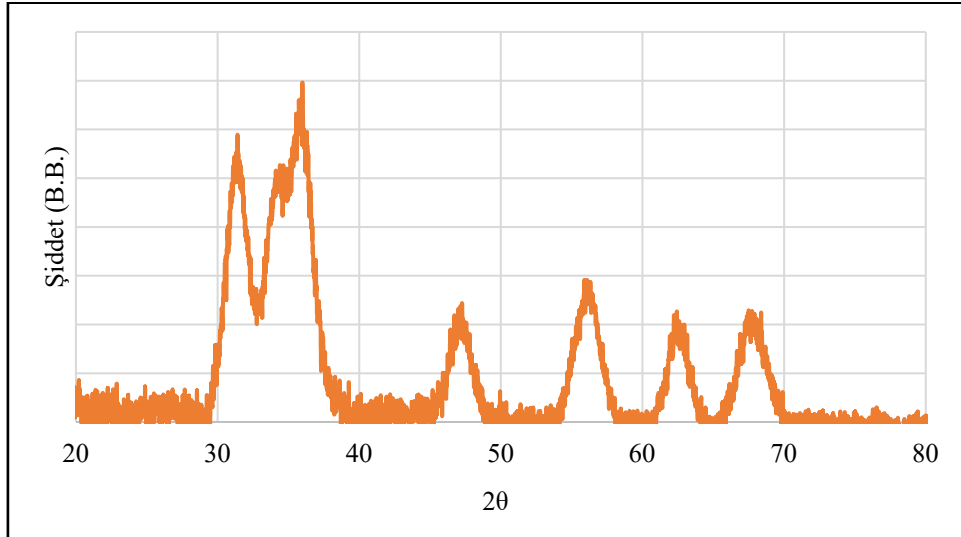
3. BULGULAR

Sentezlenen ZnO'lerin arzu edilen kristal yapıya ulaşp ulaşmadığı X-ışını difraktometresi (XRD) yardımı ile belirlenmiştir. X ışını kaynağı olarak Cu kullanılmış olup dalga boyu (Cu-K α) 0,154 nm'dir. XRD desenlerinde bulunan y eksenini genel olarak piklerin şiddetini ifade etmektedir ve birimi yoktur. B.B. ifadesi boyutsuz birim anlamına gelmektedir. x eksenini ise 2θ ile ifade edilir. 2θ , analiz esnasında X ışını kaynağından gelen ışının doğrultusu ile dedektör arasındaki açıdır. Tüm şekillerdeki desenler 00-36-1451 PDF kart numarasına sahip ZnO ile iyi bir şekilde uyumaktadır. Sonuçlar şekil 3-5 arasında verilmiştir.



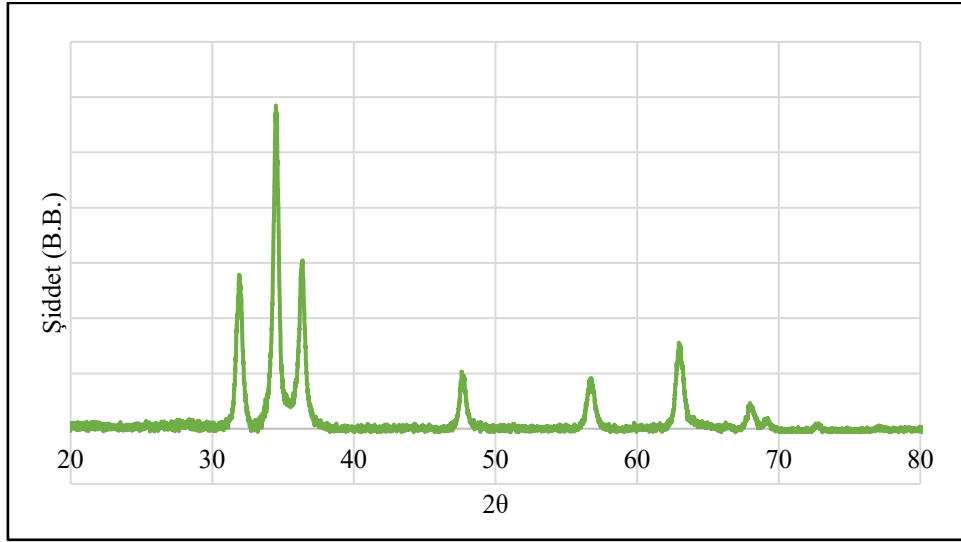
Şekil 3. Sol-jel metodu ile sentezlenen ZnO ince filminin XRD deseni

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO ince filminin XRD ölçümü ince film tekniği ile alınmıştır. 20 ile 30 dereceleri arasında gözükten geniş ve şiddetli pik ZnO altında bulunan camdan kaynaklanmıştır. O pikin haricindeki diğer pikler karakteristik ZnO pikleridir.



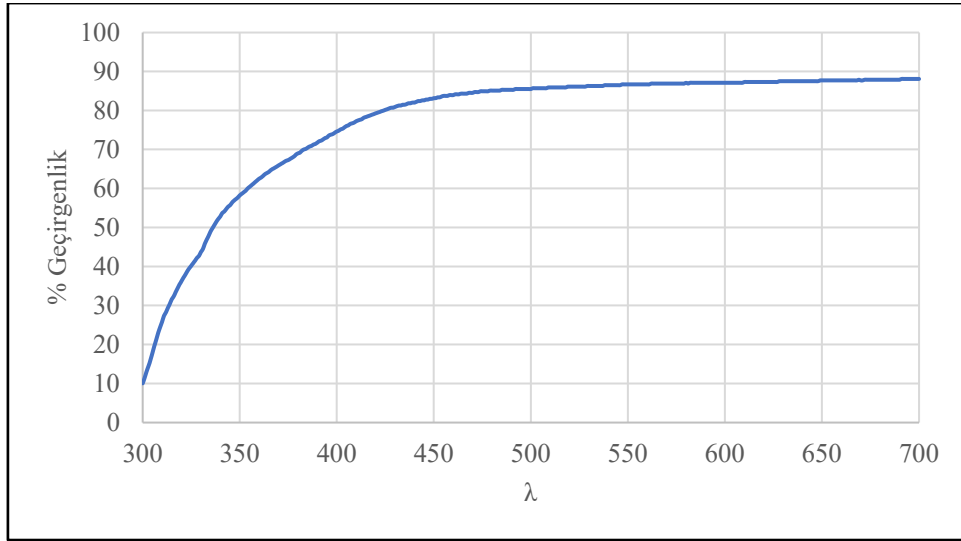
Şekil 4. Nanokristal metodu ile sentezlenen ZnO tozunun XRD deseni

Şekil 4'te görüldüğü üzere elde edilen kırınım deseninde ZnO'nin yedi tane ana piki oluşmuştur.



Şekil 5. Çözelti prosesi metodu ile sentezlenen ZnO kalın filminin XRD deseni

Şekil 5'te verilen kırınım deseninde, damla yöntemi ile oluşturulan ZnO kalın filminin piklerinin diğer numunelerde de olduğu gibi 00-36-1451 PDF kart numarasına sahip ZnO ile iyi bir şekilde örtüştüğü açık bir şekilde görülmektedir.

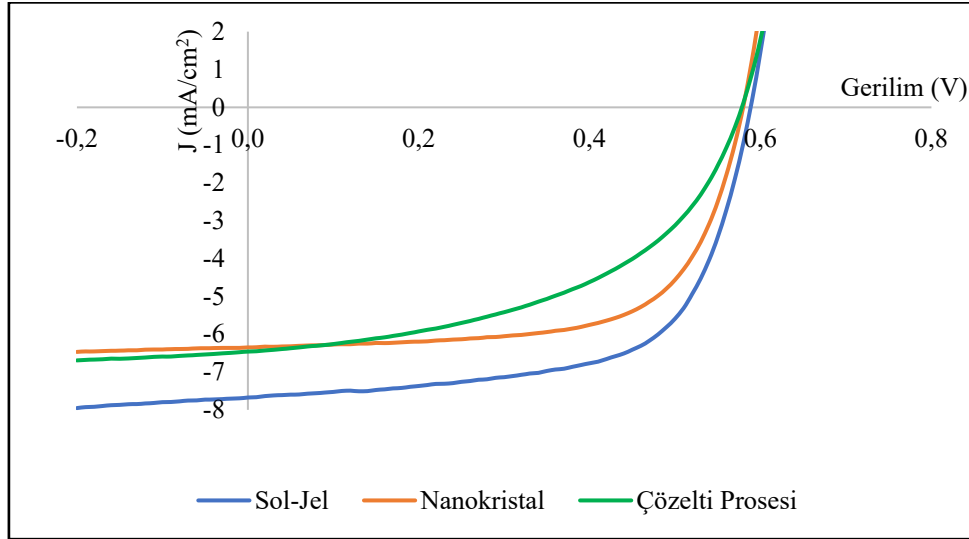


Şekil 6. Sol-jel metodu ile sentezlenen ZnO'nin geçirgenlik-dalgaboyu grafiği

Elde edilen kırınım desenlerine göre tüm yöntemlerle başarılı bir şekilde ZnO oluşturulabildiği tespit edilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatıldığı gibi aygıtlar yapılmıştır. Yapılan aygıtların elektriksel parametreleri tablo 1'de ve akım yoğunluğu-gerilim grafikleri şekil 7'de verilmiştir. Ölçümler 100 mW/cm^2 , A.M 1,5 G ve oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. En yüksek akım yoğunluğuna $7,68 \text{ mA/cm}^2$ değeri ile sol-jel yönteminde ulaşılmış olup nanokristal metodundan da farkı bu noktada ortaya çıkmaktadır. Sol-jel yönteminde elde edilen çözelti tamamen renksiz ve geçirgen iken nanokristal yöntemle elde edilen beyaz renkteki ZnO, dispers edildiğinde dahi tamamen renksiz olmamaktadır. Bu durum da aktif tabakaya ulaşan ışınım miktarını azaltmakta ve dolayısıyla aygıtlar daha düşük akım yoğunluğuna sahip olmaktadır. Sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO'nin UV-Vis ölçümü de yüksek oranda geçirgenliği desteklemektedir (Şekil 6). Çözelti prosesi ile elde edilen ZnO yapısının ise diğerlerine göre daha bazik olduğu bu durumun da ETT ile aktif tabaka ara yüzeyinde olumsuz bir etki yarattığı ve dolum faktöründeki (FF) düşüklüğün sebebinin de bu olduğu düşünülmektedir. Çünkü FF, aygıtın kalitesi yani tabakaların homojenliği ve birbiri ile uyumunun bir göstergesidir. Sonuç olarak en yüksek aygıt verimine 2,90 değeri ile sol-jel yönteminde ulaşılmıştır.

Tablo 1. Aygıtların elektriksel parametreleri

Sentez metodu	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (mV)	FF (%)	η (%)
Sol-jel	7,68	590	64,1	2,90
Nanokristal	6,35	580	65,9	2,65
Çözelti prosesi	6,46	580	49,4	1,85

**Şekil 7.** Aygıtların akım yoğunluğu-gerilim grafikleri

4. SONUÇ

Organik güneş hücrelerini oluşturan tüm katmanlar, verimli bir aygıt için hayati öneme sahiptir. ZnO de sahip olduğu optiksel ve elektriksel özelliklerden dolayı iyi bir elektron taşıyıcı ve aynı zamanda boşluk engelleyici tabakadır. Dolayısıyla ZnO sentezi yapmak oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında, yapılan sentezler ile aygıt yapımına geçilmeden önce istenilen kristal yapı elde edilip edilmediğini belirlemek için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Kırınım desenlerine göre tüm metodlar ile başarılı bir ZnO oluşturulabildiği belirlenmiştir. Daha sonrasında yapılan aygıtların elektriksel parametreleri incelenmiş ve en yüksek güç dönüşüm verimine sol-jel yöntemi ile sentezlenen ZnO'ın kullanıldığı aygıtta ulaşıldığı belirlenmiştir. Ayrıca tablo 2'de bu yöntemlerin birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Sonuç olarak bizim tespitlerimize göre organik güneş hücrelerinde kullanılacak olan ZnO için en uygun sentez yöntemi sol-jel yöntemidir.

Tablo 2. Yöntemlerin birbirleri ile karşılaştırılması

Sentez metodu	Avantajlar	Dezavantajlar
Sol-jel	-Yüksek verim sağlaması -Yüksek stabiliteye sahip olması -Nispeten düşük tavlama sıcaklığına uygun olması	
Nanokristal	-Tavlama prosesine ihtiyaç duymaması	-Stabil olmaması -Santrifüj ve ultrasonkiatör gibi ekstra ekipmanlara ihtiyaç duyması
Çözelti prosesi	-Oldukça kolay sentezlenebilmesi -Reaksiyon sırasında sıcaklığa ihtiyaç duymaması	-Düşük verim sağlaması -NH ₄ OH gibi toksik kimyasallar kullanılması

Yazar Katkıları

Semih Yurtdaş: Araştırma, taslak yazma, düzenleme ve kontrol etme; Mustafa Karaman: Danışmanlık, kontrol etme; Cem Tozlu: Danışmanlık, kavramlaştırma, düzenleme, kontrol etme.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

- [1] A. L.R Jackson, "Renewable energy vs. biodiversity: Policy conflicts and the future of nature conversation" *Global Environmental Change*, vol. 21, no. 4, pp. 1195-1208, October, 2011.
- [2] M. S. Özdemir, A. Dalcı and C. Ocak, "Akarsu Tipi Hidroelektrik Santraller ve Bu Santrallerde Kullanılan Türbin-Generatörler", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol.2, no.2, pp. 69-75, October, 2020.
- [3] M. Yılmazlar, "Yarı İletkenler, Yarı İletken Teknolojileri ve Kullanım Alanları", *Bilimin Teknolojideki Uygulamaları*, 1th ed. Ankara, Turkey: Pegem Akademi, 2020, ch. 2, pp. 19.
- [4] Y. He, Z. Li, J. Li, X. Zhang, C. Liu, H. Li, L. Shen, W. Guo, S. Ruan, "The role of Au nanorods highly efficient inverted low band gap polymer solar cells," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 105, no. 223305, pp. 1-5, December, 2014.
- [5] M. Shirvani, and L. Naji, "Interface engineering of electrochemically deposited ZnO nanorods as electron transport layer in polymer solar cells using organic dyes", *Materials Chemistry and Physics*, vol. 259, no. 124064, pp. 1-13, February, 2021.
- [6] P. Mahendia, G. Chauhan, H. Wadhwa, G. Kandhol, S. Mahendia, R. Srivastava, O. P. Sinha, T. D. Clemons, S. Kumar, "Study of induced structural, optical and electrochemical properties of Poly(3-hexylthiophene) (P3HT), [6,6]-phenyl-C61-butyric-acid-methyl-ester (PCBM) and their blend as an effect of graphene doping", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 148, no. 109644, pp. 1-9, January, 2021.
- [7] F. C. Hsu, Y. A. Lin, C. P. Li, "Stable polymer solar cells using conjugated polymer as solvent barrier for organic electron transport layer", *Organic Electronics*, vol. 89, no. 106008, pp. 1-6, February, 2021.
- [8] M. E. Ragoussi, and T. Torres, "New generation solar cells: concepts, trends and perspectives", *Chemical Communications*, vol. 51, no.19, pp. 3957-397, January, 2015.
- [9] G. Li, R. Zhu, Y. Yang, "Polymer solar cells", *Nature Photonics*, vol. 6, pp. 153-161, February, 2012.
- [10] J. L. Delgado, P. A. Bouit, S. Filippone, M. A. Herranz, N. Martin, "Organic photovoltaics: a chemical approach", *Chemical Communications*, vol. 46, no. 27, pp. 4853-4865, May, 2010.
- [11] P. Heremans, D. Cheyns, B. P. Rand, "Strategies for Increasing the Efficiency of Heterojunction Organic Solar Cells: Material Selection and Device Architecture", *Accounts of Chemical Research*, vol. 42, no. 11, pp. 1740-1747, September, 2009.
- [12] J. Huang, Z. Yin, and Q. Zheng, "Applications of ZnO in Organic and Hybrid Solar Cells", *Energy and Environ. Sci.*, vol. 4, pp. 3861-3877, July, 2011.
- [13] T. Yang, W. Cai, D. Qin, E. Wang, L. Lan, X. Gong, J. Peng, Y. Cao, "Solution-Processed Zinc Oxide Thin Film as a Buffer Layer for Polymer Solar Cells with an Inverted Device Structure", *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 114, no. 14, pp. 6849-6853, March, 2010.
- [14] O. M. Ntwacaborwa, R. Zhou, L. Qian, S. S. Pitale, J. Xue, H. C. Swart, P. H. Holloway, "Post-fabrication annealing effects on the performance of P3HT:PCBM solar cells with/without ZnO nanoparticles", *Physica B*, vol. 407, no. 10, pp. 1631-1633, May, 2012.
- [15] H. Y. Park, I. Ryu, J. Kim, S. Jeong, S. Yim, Y. S. Jang, "PbS Quantum Dot Solar Cells Integrated with Sol-Gel-Derived ZnO as an n-Type Charge-Selective Layer", *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 118, no. 31, pp. 17374-17382, July, 2014.
- [16] N. Taştun, B. Karaca, "SPDA:Ag Nanotel Ağ Elektrotlu Organik Güneş Hücresi", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 24-34, October, 2019.
- [17] Z. Liang, Q. Zhang, O. Wiranwetchayan, J. Xi, Z. Yang, K. Park, C. Li, G. Cao, "Effects of the Morphology of a ZnO Buffer Layer on the Photovoltaic Performance of Inverted Polymer Solar Cells", *Adv. Funct. Mater.*, vol. 22, no. 10, pp. 2194-2201, March, 2012.
- [18] C. Pacholski, A. Kornowski, H. Weller, "Self-Assembly of ZnO: From Nanodots to Nanorods", *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 41, no. 7, pp. 1188-1191, January, 2002.
- [19] Z. Lin, J. Chang, C. Jiang, J. Zhang, J. Wub, C. Zhu, "Enhanced inverted organic solar cell performance by post-treatments of solution-processed ZnO buffer layers", *RSC Adv.*, vol. 4, no. 13, pp. 6646-6651, January, 2014.
- [20] A. Mutlu, M. Can, C. Tozlu, "Performance improvement of organic solar cell via incorporation of donor type self-assembled interfacial monolayer", *Thin Solid Films*, vol. 685, pp. 88-96, September, 2019.
- [21] Y. Bai, C. Zhao, Q. Guo, J. Zhang, S. Hu, J. Liu, T. Hayat, A. Alsaedi, Z. Tan, "Enhancing the electron blocking ability of n-type MoO₃ by doping with p-type NiOx for efficient nonfullerene polymer solar cells", *Organic Electronics*, vol. 68, pp. 168-175, May, 2019.



Ekmeklik Buğday Islah Programlarında Gluten Kalitesinin Değerlendirilmesi Evaluation of Bread Wheat Quality in Bread Wheat Breeding Programs

¹Yaşar KARADUMAN , ²Arzu AKIN , ²Emel YILMAZ , ²Seda DOĞAN , ²Savaş BELEN

¹Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

²Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tepebaşı, Eskişehir, Türkiye

¹yasark.karaduman@ogu.edu.tr, ²arzu.akin@tarimorman.gov.tr

²emel.yilmaz@tarimorman.gov.tr, ²seda.dogan@tarimormangov.tr

²savas.belen@tarimorman.gov.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 26 March 2021

Accepted : 14 April 2021

Keywords:

Gluten Quality Bread
Wheat, Wheat Breeding
Program, Wheat
Technological Quality

ABSTRACT

In this study, tests conducted to determine gluten quality in different bread wheat breeding stages were evaluated. As a result of the study, in the Preliminary Yield Trial, the lines 35, 144, 270, 22, 96, 210, 254, and 280 having with strong gluten quality were found good potential for bread-making in rainfed, and the lines 110, 113, 197, 205, 216, 217, 226 and 232 having low gluten quality had biscuit-making potential in irrigated condition. The gluten quality parameters of the lines recommended for bread-making quality in the Yield Trial were higher than those recommended for biscuit products. In the Region Yield Trial, the lines 1, 8, 7 and 19 had high bread-making quality potential. Among the locations where the Regional Yield Trials were conducted, Eskişehir was evaluated as high, Afyon as good, Hamidiye and Uşak as medium, and Kütahya as low gluten quality. From pre-registration adaptation trials, the lines 7 and 11 in rainfed and the lines 5 and 8 in irrigated have been highly promising with high bread-making quality potentials.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science.
Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 26 Mart 2021

Kabul : 14 Nisan 2021

Anahtar Kelimeler:

Gluten Kalitesi, Ekmeklik
Buğday, Buğday Islah
Programı, Buğdayın
Teknolojik Kalitesi

ÖZET

Bu çalışmada farklı ekmeklik buğday ıslah kademelerinde gluten kalitesinin belirlenmesi için yapılan testlemeler değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Kuruda Ön Verim Denemesinde 35, 144, 270, 22, 96, 210, 254 ve 280 no'lu hatlar güçlü gluten kalitesi ile ekmeklik; Suluda Ön Verim Denemesinde ise 110, 113, 197, 205, 216, 217, 226 ve 232 no'lu hatlar zayıf gluten kalitesi ile bisküvilik kalite potansiyeline sahip bulunmuştur. Verim Denemesinde ekmek-yapım kalitesi için önerilen hatların gluten kalite parametreleri bisküvilik için önerilenlerden daha yüksektir. Bölge Verim Denemesinde 1, 8, 7 ve 19 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım kalite potansiyeline sahiptirler. Bölge Verim Denemelerinin yürütüldüğü lokasyonlardan Eskişehir yüksek, Afyon iyi, Hamidiye ve Uşak orta ve Kütahya düşük gluten kalite özelliklerinde bulunmuştur. Tescil öncesi adaptasyon denemelerinden kuruda 7 ve 11 no'lu hatlar ve suluda 5 ve 8 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım kalite potansiyelleri ile oldukça ümitvardır.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi.
Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Buğday dünyada olduğu gibi ülkemizde de ekiliş ve üretim bakımından ilk sırada yer alan önemli bir kültür bitkisi [1]. Dünyadaki önemli bitkisel protein kaynağı olması yanında ihtiyaç duyulan kalorisinin %20'sini de buğday ve ürünleri karşılar [2, 3]. Buğday ve ürünlerini kullanan unlu mamuller sektörünün en önemli hammaddesi olan unun istenilen standart ve miktarda temin edilebilmesi için teknolojik kalitesi hedef ürün gruplarına uygun yani "kaliteli" buğday çeşitlerinin geliştirilmesi ve üretiminin yaygınlaşması gerekmektedir [4, 5]. Bu nedenle günümüzde değişen tüketici tercihleri ile gelişmiş buğday ürünleri sanayimizin kaliteli hammadde ihtiyacının sürdürülebilir şekilde karşılayabilmek ıslah programlarının en temel amaçlarından birisi olmuştur [6]. Buğdayda teknolojik kalite yönünden yapılan değerlendirmeler ıslah programlarının her kademesinde yapılmakta; kademelerdeki materyalin sayısı ve miktarına göre analizler değişmektedir. Özellikle erken generasyon materyalinde az miktarda örnek ile çalışıldığından seçilecek test sonucu genetik potansiyeli ve ileriki generasyonlarda da benzer özellikleri ortaya koyması gerekmektedir. Kalite değerlendirmesi yapılırken analiz sonuçlarının denemede yer alan standart çeşitlerle mukayese edilmekte, çeşit ve çevre etkileşimleri dikkate alınmakta, ileri kademelerde bulgular bir veya iki lokasyona göre değerlendirilerek genetik potansiyel doğru olarak belirlenebilmektedir. Genotipin kalitesi iyi veya düşük kaliteli tanımlamasından ziyade çeşit veya çeşit adayının hangi buğday sınıfından olduğu veya hangi son ürün için potansiyelinin uygun olduğu değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Buğdayın teknolojik kalite kriterlerinden tane protein oranı ve gluten miktarı genotipik faktörlerin yanı sıra gübreleme ve ön bitki, toprak özellikleri ve iklim koşulları gibi çevresel faktörlerden daha çok etkilenirken [7] gluten kalitesi daha çok genetik olarak kontrol edilmekte [8, 9] lakin çevresel koşullarında etkisi olmaktadır [10]. Buğdayın gluten kalitesi bir ürüne uygunluğu belirleyen temel faktör olduğundan ıslah programlarında öncelikle ortaya koyulması gereken bir özelliktir. Gluten kalitesini gösteren buğday proteinlerinin (gluten) vizko-elastik ve kohezif dengesinin her son ürün için optimum düzeyde olması gerekmektedir [11]. Gluten kalitesinin ortaya koyulmasında ekmeklik buğday ıslah programlarında erken generasyonda ucuz, hızlı ve kalıtsal potansiyele bağlı olan testler tercih edilmelidir. Gluten kalitesinin değerlendirilmesinde sodyum dodesil sülfat (SDS) sedimentasyon analizleri halihazırda ülkemizde bir çok araştırma kuruluşu tarafından kullanılmaktadır. SDS Sedimentasyon testi genotiplerin gluten kalitesi hakkında genel değerlendirme yapma imkanı vermektedir [12]. Ekmek-yapım kalitesi yüksek buğday genotiplerinin sedimentasyon değerleri yüksektir [1]. Son yıllarda kullanılmaya başlanan GlutoPik cihazı ise gluten agregasyon özelliklerinin (reolojisinin) değerlendirilmesinde avantajlara sahip olmaktadır [13, 14]. Öncelikle cihazda çok az örnek miktarı (3-10 g) kullanılmaktadır. Hızlı bir şekilde gluten kalitesi ayırt edilebilmekte hatta bunun için tam tane unu (kıрма) kullanılabilir [13, 15-18]. Bu durum ıslah programları ve unlu mamuller sektörü açısından oldukça değerlidir. Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde GlutoPik cihazı ile yapılan ön çalışmalarda ekmek sektörünün istediği unların maksimum tork ve yüksekliğinin yüksek ve pik zamanının orta-uzun olması gerektiği ortaya konulmuştur [19]. Ayrıca Yüksek molekül ağırlıklı (YMA) glutenin alt üniteleri çevre koşullarından etkilenmeden doğrudan buğday ve gluten kalitesi hakkında bilgi verebilen genotipik özelliklerdir [20, 21]. Özellikle az tanenin olduğu ıslahın erken kademelerinde GKTAEM'de YMA glutenin alt ünitelerinin belirlenmesi ıslah çalışmalarına entegre edilmeye başlamıştır. Melezlemelerde istenilen alt üniteleri hatlarda toplayabilmek için YMA glutenin üniteleri ebeveyn seçiminde önemli bir kriter durumundadır. Her bir alt ünite için SDS sedimentasyon hacmine göre belirlenmiş bir kalite skoru önerilmiştir [8]. Buna göre, farklı lokuslarda yer alan 1, 17+18 ve 5+10 YMA glutenin alt üniteleri ekmeklik kalite bakımından en yüksek skorlara sahiptir. Buğday ıslah programlarında *Glu-1A(2*)*, *Glu1B(7+9)* ve *Glu1D(5+10)* hedeflenmektedir [7].

Bu çalışmada, GKTAEM ekmeklik buğday ıslah programına ait materyal üzerinden farklı ıslah kademelerinde kuru ve sululu koşullarda gluten kalitesinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Çalışmada, ön Verim, Verim, Bölge Verim ve Tescil Öncesi Adaptasyon denemelerinden toplam 878 adet materyal ekmeklik ve bisküvilik kalite bakımından değerlendirilmiş ve öne çıkan hatlar standartlar ile birlikte kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada değerlendirmeler GKTAEM ekmeklik buğday ıslah programındaki 2019-2020 üretim yılına ait 878 adet ekmeklik buğday materyali üzerinden yapılmıştır. Islah kademelerine göre Ön Verim Denemesinde (ÖVD) suluda 300 ve kuruda 300 olmak üzere 600 adet; Verim Denemesi (VD)'nde iki lokasyondan 162 adet; Bölge Verim Denemesi (BVD)'nde 4 lokasyondan 96 adet; kuru ve suluda adaptasyon denemesinden 20 adet olmak üzere toplam 878 adet materyal değerlendirilmiştir. Örnekler Buhler Labofix90 Dokaj Cihazında temizlenerek analize uygun hale getirilmiştir. Tane ağırlığı (mg), sertliği (HI değeri), çap (mm) ve rutubet miktarı Tek Tane Karakterizasyon Sistemi (Single Kernel Characterization System) SKCS 4100 cihazı (Perten Instruments, Springfield, IL) ile belirlenmiştir. ÖVD örneklerinde tane ağırlığı [22]'ye göre yapılmıştır. Tane ağırlığı (mg), sertliği, çap ve rutubet miktarı AACC method 55-31.01 [23] göre ortaya koyulmuştur. Hektolitre ağırlığı (kg) 1 L hacimli Chopin Nülemalitre cihazı kullanılarak belirlenmiş değerler 100 L (hektolitre)'ye çevrilmiştir. Tam Tane Unu (kıрма) Perten 3100 değirmeni ile 0,5 mm partikül iriliğinde elde edilmiştir. Tam tane unu örneklerinde protein oranı, yaş gluten miktarı ve farinograf su absorpsiyon değerleri NearFOSS NIRS 6500 spektroskopi cihazı ile belirlenmiştir. Cihazın kalibrasyonu için tam tane unu protein miktarı Dumas yakma yöntemiyle (AACC Metot

46-30.01) çalışan azot (N) analizatörü (LECO FP628) ile ölçülen azot değerlerinin 5.7 faktörü ile çarpılması ile hesaplanmıştır. Yaş gluten miktarı ve farinograf su absorpsiyon değerleri ise AACC Metot 38-12.02 ve Metot 54-21.01'e göre belirlenmiştir [23]. CIMMYT ve Makro SDS sedimentasyon değerleri (C-SDS ve M-SDS) [24, 25] verilen metodlarla göre tam tane unundan belirlenmiştir. Bundan farklı olarak tüpler elle çalkalama yerine ICC Standart No:116/1 [26]'de olduğu gibi mekanik olarak çalkalanmıştır. Sedimentasyon değeri tane protein oranına bölünerek SI değerleri hesaplanmıştır [12]. GlutoPik Özellikleri Analizi (gluten kalitesi) Brabender GlutoPik Cihazında yapılmıştır (Brabender GmbH and Co KG, Duisburg, Germany). Analizde 8,5 g kırma ve 9,5 g 0,5 M CaCl_2 kullanılmış; analiz 34 °C sabit sıcaklık ve 900 rpm sabit karıştırma hızında 3 dakikada tamamlanmıştır [17]. Yüksek Molekül Ağırlıklı (YMA) gluteninleri analiz etmek için tarafından modifiye edilen bir sodyum dodesil sülfat poliakrilamid jel elektroforezi (SDS-PAGE) yöntemi kullanılmıştır [27]. Tüm analizler 2 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür.

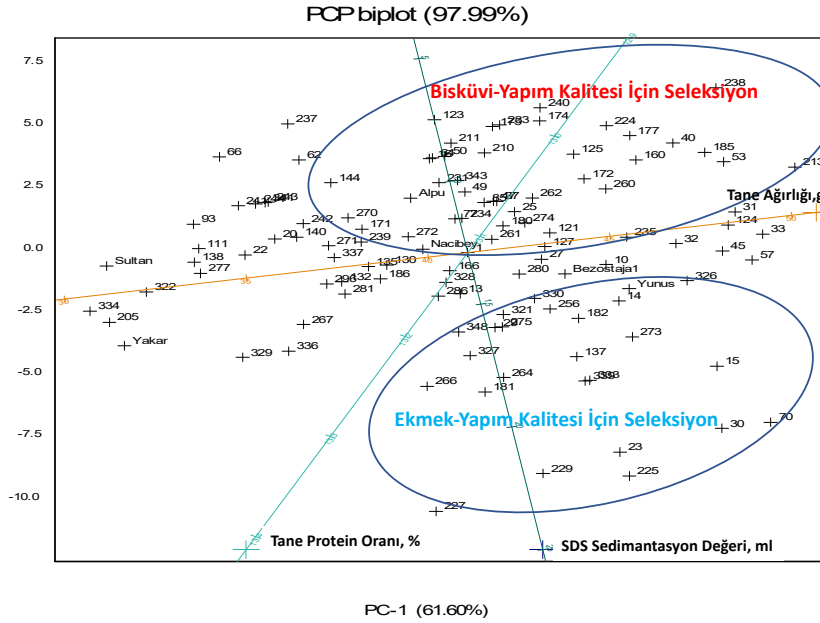
İstatistik analizler için JMP 13.0.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA) yazılım programı kullanılmıştır. Verim ve bölge verim denemeleri örnekleri lokasyon birleştirilerek değerlendirilmiştir. Tek yönlü ANOVA'nın ardından, önemli bulunan ortalamalar Student's testi ile ($p < 0.05$) karşılaştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Erken ıslah kademelerinde (Gözlem Bahçesi, GB ve Ön Verim Denemesi, ÖVD) materyalin sayısı fazla, miktar olarak az ve analizlerin tamamlanarak değerlendirilip ıslah programı tarafından seleksiyonu sonrası, özellikle kışlık buğday ekim alanları için, değerlendirme zamanı kısıtlı olduğundan gluten kalitesinin (strength) belirlenmesi ve seleksiyonda kullanılması küçük-ölçekli testler ile yapılmaktadır. Bu kademelerde özellikle doğrudan tam tane unundan (kırma) değerlendirme yapılması önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle tam tane unu C-SDS ve M-SDS değerleri ileri kademede gluten kalitesinin son ürün kalitesi için daha kapsamlı testler ile testlenmesi öncesinde hatların potansiyellerin tahminlenmesinde etkili testler olarak görülmektedir. Sedimentasyon değerleri ile birlikte yüksek tane protein oranı (>12.0) ekmek yapımında yüksek hacim için istenirken; bisküvi gibi yumuşak buğday ürünlerinde yayılma ve gevrek tekstür ile ağızda dağılma için her ürün grubuna göre değişmekle birlikte düşük tane protein oranı (<10.0) ve kek ürünlerinde ise yüksek şeker ve yağ ortamında kabarma için orta düzeyde tane protein oranı ($9-11$) gerekli olmaktadır. Sedimentasyon değerlerinin tane protein oranına bölünmesi ile sedimentasyon indeks (SI) değeri bulunmakta; standart protein oranı ile yüksek SI değeri veren hatların ekmek yapımı için gluten kalitesi yüksek olarak değerlendirilmektedir. Bu temel parametrelere göre ekmeklik buğday ıslah programlarında son ürün kalitesinin değerlendirilmesi özellikle sektör tarafından kullanılan veya talep edilen standart çeşitlere göre yapılmaktadır (Şekil 1).

Çalışmada Kuruda Ön Verim Denemesi (KÖVD)'nde 300 adet genotip değerlendirilmiş ve 83 hat yüksek ekmeklik kalitesi ile programa önerilmiş ve 72 adet hat üst kademeye seçilmiştir. Seçilen hatların kalite özelliklerine bakıldığında sedimentasyon değeri, protein oranı ve SI değeri ortalamaları deneme ortalaması civarında olmuştur. Seleksiyonda tane verimi de önemli bir parametre olduğundan seçilenlerin tane ağırlığında deneme ortalamasının üzerinde olması bu parametrenin tane verimi ile yakın ilişkisini göstermektedir. Değerlendirmelerimiz sonucunda KÖVD'nde ekmek-yapım kalitesi bakımından önerilen 83 adet hattın ise SDS sedimentasyon değeri, tane protein miktarı ve SI değeri ortalamasının yüksek olması dikkat çekmiştir. KÖVD'nden önerilen hatların diğer parametreleri yanında tane ağırlığı ortalamasının deneme ortalamasının üzerinde olması programlarda yüksek tane fiziksel özellikleri ile gluten kalitesinin birlikte arttırılabileceğini göstermiştir. Tüm ıslah kademelerinde denemelerde hedef son ürün için kalite standartları kullanılmaktadır. Bezostajal bu amaçla GKTAEM ve ülkemizde diğer buğday ıslah programında uzun yıllardır kullanılan ekmek-yapım kalitesi stabil olarak yüksek olan bir çeşittir. Gözlem bahçesi ve ön verim denemelerinde tarlada bloklarda tekrarlanan bu çeşide göre kıyaslama ekmek-yapım kalite potansiyelinin ortaya koyulmasında çok önemli olmaktadır. Çalışmamızda Bezostajal'ın SDS sedimentasyon ve SI değerleri Müfitbey ve Nacibey çeşitlerinden daha iyidir. Önerilen hatların gluten kalitesi ile ilişkili değerleri Bezostajal'den çok daha yüksek veya yakın olabilmektedir. Çalışmada KÖVD'nde özellikle 35, 144, 270, 22, 96, 210, 254 ve 280 no'lu hatların tane ağırlığı ile birlikte gluten kalite değerlerinin iyi olması dikkat çekmiştir (Tablo 1).

Yumuşak buğday ürünleri gibi hedef ürün gruplarına göre zayıf gluten kalitesinde hatların seleksiyonunun gerektiği durumlarda yumuşak ve orta-yumuşak tane yapısı, düşük SDS sedimentasyon değeri, tane protein oranı ve SI değeri; yüksek un verimi için yüksek tane ağırlığı aranmaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada Suluda Ön Verim Denemesi (SÖVD)'nde 300 adet genotip değerlendirilmiş ve 17 hat yüksek bisküvilik kalitesi ile üst kademeye seçilmiştir (Tablo 2). Bu hatların öncelikle NIRS cihazı ile elde edilen tane sertlik değerlerine bakıldığında yumuşak veya orta-yumuşak tane yapısında oldukları; beklendiği gibi tane ağırlığı hariç diğer tüm parametrelerinin deneme ortalamasının altında olduğu görülmektedir. Standartlardan Alpu, Nacibey ve Yunus sert tane yapısında olup denemede ekmeklik kalite olarak kullanılan standartlardır. Nacibey ve Yunus çeşitlerinin Alpu'ya göre gluten kalite özellikleri daha iyidir. Denemede Çetinel çeşidi bisküvilik kalitesi iyi olan sektöründe kullandığı yumuşak tane yapısında ve gluten kalitesi zayıf olan bir çeşittir. Çalışmada, bisküvilik standart olan Çetinel çeşidinin SDS sedimentasyon değeri, tane protein oranı ve SI değeri düşüktür. Bisküvilik üst kademeye seçilen hatlar içerisinde 110, 113, 197, 205, 216, 217, 226 ve 232 no'lu hatlar Çetinel çeşidine yakın hatta altında düşük sedimentasyon ve SI değerleri ile bisküvilik bakımından yüksek potansiyele sahip olarak değerlendirilebilirler.



Şekil 1. Erken generasyonda tane ağırlığı, SDS sedimentasyon değeri ve tane protein oranı yönünden örnek değerlendirmeye ait biplot grafiği

Verim denemesi kademesinde materyal sayısı 100 civarında olmaktadır. Genellikle de en az 2 lokasyonda denemeler kurulmakta ve materyal miktarı birkaç kg olabilmektedir. Dolayısıyla hacim ağırlığının yanısıra tek tane karakterizasyon sistemi (SKCS) ile tane fiziksel özellikleri daha kapsamlı belirlenebilmektedir. Bu aşamadan sonra sedimentasyon testleri olarak daha çok numune ile çalışan, 100 ml'lik test tüpleri kullanılan, daha fazla çözelti gerektiren, bir günde daha az örnek çalışılabilen makro-SDS (MSDS) veya Zeleny sedimentasyon değeri testleri uygulanabilmektedir. Diğer hamur reolojik özelliklerinin yanısıra GlutoPik cihazı ile gluten reolojik özellikleri ortaya koyulabilmektedir. Cihazda gluten kalitesinin değerlendirilmesi için gluten oluşumu süresi (PMT), başlangıç (AM), maksimum (BEM) ve zayıflama anındaki (PM) gluten güçleri (tork) ve toplam agregasyon (oluşum) alanı (AGGEN) parametreleri elde edilmektedir. Ekmek-yapım kalitesi yüksek genotiplerin PMT değeri hariç diğer parametrelerinin standartların üzerinde; bisküvilik kalitesi yüksek olanların ise düşük olması istenmektedir. PMT değeri konusunda çalışmalar devam etmekte olup; gluten kalitesi güçlü olup ekmek-yapımı için tercih edilen hatların PMT değerinin uzun olduğu belirlendiği gibi, hızlı gluten oluşumu ile daha kısa sürede pik noktaya (BEM) ulaştığını ifade eden araştırmalarda bulunmaktadır. Bu çalışmada Kuruda Verim Denemesi'nde (KVD) Eskişehir ve Hamidiye lokasyonlarından 81 adet olmak üzere standartlarla birlikte toplam 162 adet genotipin kalite özellikleri 2 lokasyona göre değerlendirilmiştir (Tablo 3). GlutoPik PM değeri dışında diğer parametreler bakımından genotipler arasında istatistiki olarak farklılık önemli olmuştur. Bu farklılık tane protein oranında $p < 0.05$ düzeyinde iken; diğer parametreler için $p < 0.01$ düzeyindedir. 11, 15, 16, 17, 18, 20, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 40, 41, 42, 47, 50, 52, 53, 54, 55, 65, 72, 75, 76, 77 ve 78 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım kalitesi ve 14, 21, 44, 60, 62 ve 73 no'lu hatlar yüksek bisküvilik kalite ile ıslah programına önerilmiştir. Ekmek-yapım kalitesi için önerilenlerin MSDS, AM, PM ve AGGEN değerleri ortalaması sırasıyla 53,1 ml; 29,0 GPU; 33,1 GPU; ve 1233,2 cm^2 olur iken; bisküvilik için önerilenlerin 33,1 ml; 18,4 GPU; 26,3 GPU ve 979,4 cm^2 ; ekmeklik kalite standardı Bezostajal'ın 49,5 ml; 26,5 GPU; 31,0 GPU ve 1196,3 cm^2 ; bisküvilik kalite standardı Bayraktar'ın 30,0 ml; 22,0 GPU; 29,0 GPU ve 1121,2 cm^2 dir. ES-26'da bisküvilik olarak seleksiyonda bir kalite standardı olarak kullanılabilir. Standartlara göre değerlendirme yapıldığında özellikle 11, 18, 20, 27, 28, 32, 41, 47, 50, 53, 54, 65, 72, 76 ve 78 yüksek gluten kalitesi değerleri ile dikkat çekmişlerdir. Bisküvilik olarak önerilen hatlar içerisinde 60 no'lu hat hariç genel olarak gluten kalite değerleri standartlar gibi hatta daha düşük elde edilmiştir. Standartlar içerisinde Reis çeşidinde ekmek-yapım kalitesi yüksek bulunmuştur.

Tablo 1. Kuruda Ön Verim Denemesi (KÖVD)'nde ekmek-yapım kalitesi iyi olup önerilen bazı hatların ve standartların teknolojik kalite özellikleri

Genotip	1000 Tane ağırlığı g	SDS Sedimentasyon Değeri ml	Tane Protein Oranı %	SI Değeri	Farinograf Su Absorpsiyon Değeri %	Yaş Gluten Miktarı %	Sertlik Değeri (HI)
35	43,2	13,0	13,9	0,93	64,5	31,1	69,2
144	44,3	13,0	14,5	0,90	65,0	33,4	62,8
270	45,1	12,5	14,2	0,88	64,2	32,1	61,7
279	39,8	12,5	13,7	0,91	63,1	29,5	61,7
22	46,4	12,0	13,1	0,92	64,0	28,7	65,9
93	40,9	12,0	14,1	0,85	65,3	31,9	66,3
96	49,7	12,0	14,0	0,86	65,9	31,1	62,3
207	41,2	12,0	13,3	0,90	62,9	28,6	63,8
210	44,1	12,0	14,3	0,84	61,4	31,9	51,8
254	45,1	12,0	14,6	0,82	64,0	32,2	64,5
269	41,0	12,0	14,2	0,84	62,7	31,3	60,7
280	43,3	12,0	14,4	0,83	64,8	31,4	74,3
55	39,5	11,5	15,1	0,76	62,5	34,5	60,1
147	39,2	11,5	13,9	0,83	62,9	31,0	61,1
246	42,4	11,5	14,2	0,81	63,3	31,0	50,8
73	43,1	11,0	13,7	0,81	63,3	30,6	64,0
74	44,2	11,0	13,4	0,82	63,9	29,0	60,6
77	45,6	11,0	13,8	0,79	64,6	31,0	72,1
86	41,3	11,0	14,9	0,74	64,9	34,0	75,0
95	45,2	11,0	14,7	0,75	65,6	31,3	84,4
203	40,5	11,0	13,7	0,80	63,3	29,1	53,4
245	46,9	11,0	13,9	0,79	64,6	31,3	68,6
262	40,3	11,0	13,1	0,84	62,5	27,8	60,9
265	48,9	11,0	13,6	0,81	63,6	29,1	63,0
276	42,3	11,0	14,5	0,76	63,0	32,1	53,8
291	50,9	11,0	15,3	0,72	65,3	31,4	61,0
Deneme ortalaması (n:300)	42,6	9,0	13,9	0,64	63,7	30,3	60,0
Seçilen ortalaması (n:72)	43,3	9,0	14,0	0,64	64,6	30,6	63,1
Önerilen ortalaması (n:83)	43,5	10,5	14,2	0,74	64,9	31,2	65,8
ES26	36,9	7,3	14,4	0,51	60,1	30,7	22,5
Bezostaja1	43,6	8,9	13,5	0,66	63,7	29,3	62,4
Nacibey	43,5	8,7	13,7	0,63	66,0	28,7	80,2
Müfitbey	45,2	8,4	13,6	0,62	66,6	27,8	89,1

Tablo 2. Suluda Ön Verim Denemesi (SÖVD)'nde bisküvi-yapım kalitesi iyi olup önerilen bazı hatların ve standartların teknolojik kalite özellikleri

Genotip	1000 Tane ağırlığı g	SDS Sedimentasyon Değeri ml	Tane Protein Oranı %	SI Değeri	Farinograf Su Absorpsiyon Değeri %	Yaş Gluten Miktarı %	Sertlik Değeri (HI)
71	38,9	7,0	13,7	0,51	62,7	28,5	39,3
73	37,0	6,5	13,2	0,49	59,3	28,8	37,3
110	40,7	5,0	13,2	0,38	60,4	28,6	32,9
112	31,4	6,5	12,6	0,52	61,1	27,0	47,4
113	36,4	5,5	12,6	0,44	59,8	27,3	39,6
197	37,8	5,0	12,6	0,40	59,6	26,7	47,1
205	39,5	5,5	11,8	0,47	56,7	24,3	32,2
216	48,8	5,0	11,7	0,43	61,6	23,6	46,0
217	34,5	5,5	10,6	0,52	60,2	20,5	44,3
219	38,8	6,5	11,2	0,58	60,7	22,3	41,2
226	36,1	5,0	10,2	0,49	58,0	20,0	40,5
229	38,2	6,5	10,4	0,63	59,6	20,5	45,8
232	46,6	5,0	11,1	0,45	60,8	22,3	47,7
291	43,0	7,0	13,1	0,54	60,4	28,8	33,1
294	32,6	6,0	12,9	0,47	62,2	24,6	44,3
295	39,5	7,0	11,6	0,60	60,6	24,4	41,4
298	38,1	6,0	11,6	0,52	62,3	23,2	47,8
Ortalama (n:300)	38,5	7,7	12,6	0,62	63,2	26,3	65,4
Bisküvilik seçilenler ortalaması (n:17)	38,7	5,9	12,0	0,50	60,4	24,8	41,6
Alpu	34,4	6,6	12,6	0,52	63,5	26,1	72,1
Çetinel	32,1	5,4	12,3	0,44	60,6	26,1	46,6
Nacibey	40,2	8,1	12,2	0,66	63,7	25,5	71,7
Yunus	44,5	8,8	11,8	0,74	63,2	24,5	69,7

Bölge Verim Denemesinde daha az sayıda materyal bulunmakla birlikte oldukça fazla lokasyonda denemeler yürütülmektedir. Böylelikle erken kademede daha küçük-ölçekli testlerle potansiyeli olduğu için seçilen hatlar standartlarla birlikte çok farklı çevrede denenerek çevrenin gluten kalitesi üzerine etkisi yansıtılmakta genotiplerin gluten kalitesi çok daha doğru bir şekilde ortaya koyulabilmektedir. Çalışmada Bölge Verim Denemesi-kırmızı (BVD-K) denemesi materyali 4 lokasyonda değerlendirilmiş ve tüm lokasyonların ortalamasına göre yapılan değerlendirmeye göre genotiplerin bazı kalite özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. GlutoPik AM değeri dışında diğer parametreler bakımından genotipler arasında istatistiki olarak farklılık önemli olmuştur. Yüksek ekmeklik kalite standardı olan Reis ve Bezostajal'ın MSDS değerleri ortalama 52,5 ml ve 51,8 ml'dir. 1, 8, 17 ve 18 no'lu hatların MSDS değeri bu çeşitlerin üzerinde olurken; 7, 19 ve 16 nolu hatların ise yakındır. 1 ve 8 no'lu hatların GlutoPik AGGEN ve PM değerleri de yüksektir. 17 ve 18 no'lu hatların GlutoPik değerlerinin düşük olması gluten reolojik özelliklerinin yeterli olmadığını göstermiştir. 8 no'lu hattın tane ağırlığı bir miktar düşük olsa da tane çapı 2,75 mm ile daha iyidir. 16 no'lu hattında AGGEN değeri düşüktür. 16 no'lu hattın özellikle zayıf gluten kalitesi ile ilişkili 2+12 YMA glutenin altbirimini taşıdığı görülmektedir. Sonuçta 1, 8, 7 ve 19 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım kalite potansiyeline sahiptirler. Bu hatların 5+10 YMA glutenin altbirimini taşımaları dikkat çekmiştir. Moleküler düzeyde düşük molekül ağırlıklı (DMA) gluteninlerin belirlenmesi de gerekse ve daha çok erken kademelerde hızlı seleksiyon için kullanılsalarda YMA glutenin altbirimleri ileri kademede de seleksiyonda kara vermede önemli olabilmektedir. Ayrıca, YMA glutenin altbirimlerinin analizinde özellikle tek başaktan çalışılması karışıklığın önlenmesi bakımından önemli görülmüştür.

Tablo 3. Kuruda Verim Denemesi (KVD)'nde ekmek-yapım ve bisküvi-yapım kalitesi iyi olup önerilen hatların ve standartların teknolojik kalite özellikleri

Genotip	HL kg	HI	MSDS ml	TA g	TÇAP mm	PROT %	PMT s	BEM GPU	AM GPU	PM GPU	AGGEN cm ²
Bezostajal	83,7	66,7	49,5	40,4	2,86	13,7	37,0	51,0	26,5	31,0	1196,3
ES26	79,1	31,4	34,0	34,6	2,76	14,8	35,0	47,0	23,5	29,5	1092,5
Sönmez	83,2	70,1	42,5	39,6	2,88	13,5	30,0	59,0	20,0	34,0	1165,7
Müfitbey	82,2	87,2	44,5	43,0	3,11	13,8	41,5	37,0	19,5	25,5	835,3
Nacibey	82,6	71,4	46,0	39,8	2,85	13,9	35,0	50,5	22,5	32,0	1144,1
Karahan	82,9	40,4	39,5	39,8	2,86	14,2	53,5	46,0	23,0	28,0	1128,1
KateA	81,1	73,7	42,0	35,4	2,73	13,3	24,5	50,0	35,0	32,0	1138,9
Bayraktar	80,7	43,8	30,0	38,9	2,84	14,4	55,0	44,5	22,0	29,0	1121,2
Reis	80,7	60,8	55,0	42,3	2,99	13,7	39,5	52,0	21,5	34,5	1179,8
11	83,5	68,6	59,0	37,1	2,87	14,0	53,5	54,5	27,5	33,0	1296,9
15	83,8	69,1	41,0	41,1	2,93	13,4	48,5	41,5	32,0	25,0	1089,6
16	83,0	75,8	47,5	41,5	2,97	13,8	46,5	47,5	27,0	30,5	1190,5
17	82,1	75,2	53,0	40,8	2,99	14,5	36,5	62,0	25,5	36,0	1385,2
18	82,3	76,3	58,0	37,8	2,90	15,6	40,5	53,5	28,0	32,0	1342,8
20	80,9	67,1	59,5	40,9	2,96	15,1	39,5	56,5	41,5	32,0	1354,5
24	83,4	76,3	51,5	36,6	2,90	14,3	43,5	50,5	28,5	33,5	1243,6
25	83,3	72,2	49,0	41,8	2,96	14,2	34,0	50,0	22,0	36,0	1079,9
26	81,2	65,8	52,5	37,7	2,74	13,5	33,0	51,0	25,5	34,5	1190,4
27	80,5	65,4	55,0	42,2	2,93	14,2	48,0	51,0	41,0	32,5	1241,3
28	81,6	59,1	57,5	42,4	2,93	14,4	51,0	51,0	33,0	27,0	1260,6
29	83,0	75,1	47,5	40,1	2,93	13,7	42,5	46,0	26,5	30,0	1111,3
30	82,9	74,8	48,0	40,2	2,92	14,0	36,0	54,0	24,5	31,5	1151,2
32	81,4	69,5	62,0	41,1	2,93	14,1	65,0	50,5	30,5	29,0	1176,7
40	83,3	74,9	50,0	42,7	2,99	13,4	56,5	43,5	29,0	26,0	1103,6
41	81,5	62,2	54,0	38,9	2,80	14,5	43,5	60,0	33,5	37,0	1433,4
42	82,3	66,6	50,0	38,8	2,89	14,2	37,0	45,5	21,5	35,5	1085,8
47	81,9	58,6	56,5	41,9	2,91	14,5	39,0	58,0	29,5	33,0	1352,1
50	82,2	62,5	58,5	37,7	2,83	15,3	45,5	54,5	36,0	37,5	1325,5
52	82,8	64,6	48,0	38,7	2,85	14,0	37,5	54,5	24,5	36,0	1326,7
53	83,5	65,3	52,0	39,3	2,96	14,1	35,5	54,0	20,0	41,0	1200,4
54	82,8	60,6	52,5	40,7	2,94	14,1	48,5	47,0	29,0	30,5	1219,4
55	83,4	71,7	49,0	38,6	2,89	14,8	45,0	55,0	30,0	34,0	1289,9
65	81,6	70,6	59,5	39,4	2,84	13,9	61,0	46,5	26,5	30,0	1193,2
72	81,3	72,5	54,0	39,9	2,91	14,7	34,0	62,0	26,0	41,0	1372,2
76	83,2	69,0	55,0	38,8	2,82	14,4	42,0	34,5	34,5	36,5	1148,7
77	82,4	63,3	47,5	38,3	2,79	14,2	45,5	44,0	35,5	33,0	1137,7
78	80,8	59,2	58,0	41,3	2,91	16,0	57,0	51,0	24,5	33,5	1221,9
Ekmeklik önerilen ort	82,4	68,3	53,1	39,9	2,90	14,3	44,5	51,1	29,0	33,1	1233,2
14	81,9	37,7	32,5	37,4	2,82	14,2	63,5	36,5	20,5	20,5	923,1
21	82,3	37,7	33,0	36,7	2,80	14,3	37,5	43,0	21,5	31,0	1083,4
44	81,7	38,9	24,0	37,3	2,70	14,1	45,5	37,0	15,0	21,0	863,8
60	82,1	23,3	40,5	42,4	2,94	14,5	45,5	50,5	22,0	34,0	1199,4
62	82,6	26,0	33,5	36,7	2,71	13,8	48,5	31,5	14,0	25,0	810,8
73	80,9	36,5	35,0	38,1	2,87	14,5	48,0	42,0	17,5	26,0	995,8
Bisküvilik önerilen ort	81,9	33,4	33,1	38,1	2,81	14,2	48,1	40,1	18,4	26,3	979,4
DK (%)	0,98	7,96	10,47	5,31	2,28	4,73	27,46	16,15	23,34	16,81	11,62
A.Ö.F. (0.05)	1,6**	10,0**	9,7**	4,1**	0,13**	1,4*	24,3*	15,8*	12,9**	ö.d.	269,2**

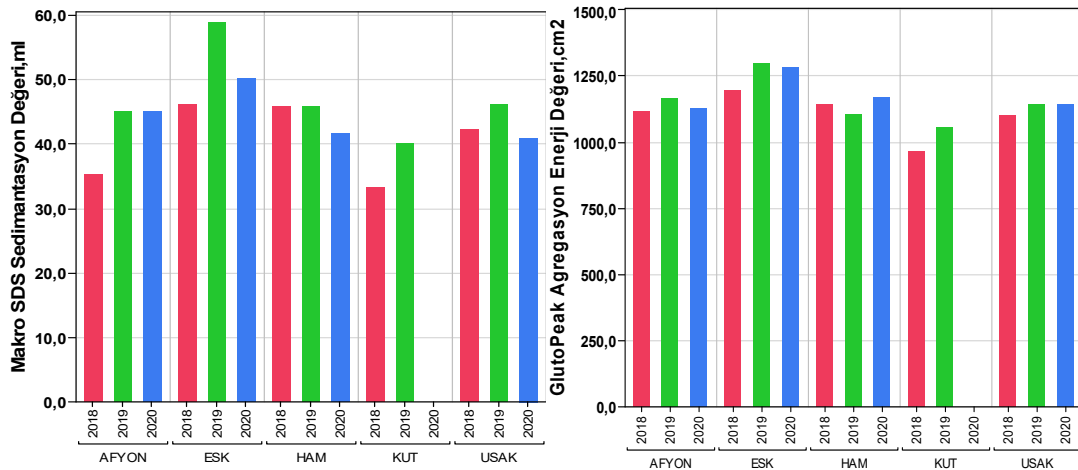
* 2 lokasyon ortalamasına göre, HL:Hektolitre ağırlığı, MSDS:Makro SDS sedimantasyon değeri, TA:Tane ağırlığı, TÇAP:Tane çapı, HI:SKCS sertlik değeri, PMT:GlutoPik maximum zaman, BEM:GlutoPik maximum tork, AM:GlutoPik tork BEM'tan 15 s önceki, PM:GlutoPik tork BEM'tan 15 s sonraki, AGGEN:GlutoPik agregasyon enerji değeri, PROT:Tane Protein oranı, DK:Değişim katsayısı, A.Ö.F.: Asgari Önemli Farklılık, ort:ortalama

İleri kademelerde lokasyonlara gidildiğinden lokasyonların uzun yıllar kalite parametrelerinde değişimin izlenmesi bölgelerin iklim, toprak ve özellikle çiftçilerin uyguladıkları yetiştirme tekniği uygulamalarının etkisinin görülmesi bakımından oldukça önemlidir. Çok lokasyona göre yapılan değerlendirmelerin genotiplerin teknolojik kalite değişimlerinin çok daha doğru değerlendirilebilmesi bakımından büyük önemi bulunmaktadır. Çalışmamızda bölge verim denemesinde denemelerin kurulduğu lokasyonların 3 yıllık değerlendirilmesi yapılmıştır. Lokasyonlara gluten kalitesi potansiyeli bakımından bakıldığı zaman Eskişehir lokasyonu yüksek, Afyon lokasyonu iyi, Hamidiye ve Uşak lokasyonları orta; Kütahya lokasyonu düşük olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2).

Tablo 4. Bölge Verim Denemesi (BVD)'nde hatların ve standartların teknolojik kalite özellikleri

Gen	HL kg	HI	MSDS ml	TA g	TÇAP mm	PROT %	PMT s	BEM GPU	AM GPU	PM GPU	AGGEN cm ²	Glu A1	Glu B1	Glu D1
1	80,3	67,0	54,5	37,3	2,85	14,9	43,5	60,0	29,3	34,0	1442,6	1	7+9	5+10
2	81,5	64,6	38,5	36,6	2,81	14,4	42,5	50,3	30,5	27,8	1195,9	2*	17+18	5+10
3	80,3	69,0	39,3	34,4	2,73	13,8	39,0	46,8	24,8	27,0	1094,6	1	17+18	5+10
4	81,3	68,9	45,8	34,3	2,81	14,5	31,8	57,5	21,3	31,8	1280,0	2*	17+18	5+10
Bez	81,6	63,4	51,8	36,4	2,80	15,0	35,0	57,3	24,5	37,5	1342,4	2*	7+9	5+10
6	80,6	71,3	38,3	34,7	2,78	14,6	30,8	43,8	21,5	33,3	1122,6	2*	7+8	5+10
7	83,6	73,5	50,3	35,8	2,84	15,3	32,0	64,3	24,0	37,5	1428,6	2*	7+8	5+10
8	82,0	75,1	54,0	32,6	2,75	15,3	57,8	55,3	27,5	34,8	1354,2	2*	7+8	5+10
9	81,6	78,1	45,0	38,1	2,89	14,4	39,8	51,0	24,3	33,0	1151,0	2*	7+8	2+12
Sön	82,0	71,0	37,3	36,7	2,82	13,5	36,3	49,3	27,8	30,5	1164,7	2*	7+8	5+10
11	82,0	68,8	34,3	39,1	2,84	13,5	40,8	38,0	23,8	21,5	919,1	2*	17+18	5+10
12	79,8	61,6	36,3	46,6	3,08	14,1	24,3	53,0	15,3	35,3	1167,0	1	7+9	5+10
13	81,8	73,1	45,0	38,2	2,86	14,0	38,8	49,5	28,0	31,5	1163,1	2*	7+9	2+12
14	81,7	77,5	44,8	37,6	2,89	14,8	42,3	48,3	29,5	31,5	1163,0	2*	7+8	5+10
Reis	80,5	64,8	52,5	37,2	2,84	14,0	46,5	52,5	27,0	36,5	1224,7	2*	7+8	5+10
16	81,1	75,0	47,5	38,0	2,92	14,4	35,0	51,0	24,0	29,3	1087,0	2*	7+8	2+12
17	80,6	74,4	54,0	36,6	2,82	14,9	58,3	39,5	18,8	26,5	866,3	1	17+18	5+10
18	80,7	69,1	54,0	37,7	2,89	14,0	53,3	43,3	24,0	28,0	994,6	2*	7+8	5+10
19	80,2	66,4	47,8	36,1	2,80	14,5	34,0	63,8	26,3	34,3	1392,0	1	7+9	5+10
KateA	79,7	71,1	38,3	32,0	2,65	14,5	24,3	63,0	28,3	37,0	1369,0	1	17+18	5+10
21	81,4	69,4	39,3	36,5	2,80	13,6	55,3	45,3	25,0	25,8	1075,2	1	7+8	5+10
22	81,6	66,6	39,3	33,6	2,75	14,0	30,3	54,5	19,8	31,5	1225,5	2*	7+8	5+10
23	80,5	81,0	44,8	35,3	2,73	13,8	46,0	45,5	26,0	32,5	1130,4	1	7+8	5+10
24	81,4	62,7	36,8	40,7	2,92	14,2	29,7	43,7	11,7	27,3	934,4	2*	7+8	5+10
Ort	81,2	70,1	44,5	36,8	2,83	14,3	39,5	51,2	24,4	31,5	1181,2			
DK (%)	1,32	8,40	9,15	5,37	2,41	4,33	20,45	13,58	9,85	15,36	10,22			
A.Ö.F. (0.05)	1,5**	8,3**	5,7**	2,8**	0,10**	0,88**	11,4**	9,8**	ö.d.	6,81**	170,5**			

*4 lokasyon ortalamasına göre, Gen:Genotip, Bez: Bezostajal, Sön:Sönmez, HL:Hektolitre ağırlığı, MSDS:Makro SDS sedimantasyon değeri, TA:Tane ağırlığı, TÇAP:Tane çapı, HI:SKCS sertlik değeri, PMT:GlutoPik maximum zaman, BEM:GlutoPik maximum tork, AM:GlutoPik tork BEM'tan 15 s önceki, PM:GlutoPik tork BEM'tan 15 s sonraki, AGGEN:GlutoPik agregasyon enerji değeri, PROT:Tane protein oranı, DK:Değişim Katsayısı, A.Ö.F.:Asgari Önemli Farklılık, Ort:ortalama



Şekil 2. Bölge Verim Denemesi (BVD)'nde lokasyonların Makro SDS sedimantasyon değeri ve GlutoPik agregasyon enerji değeri bakımından 3 yıllık değerlendirmesi

Çalışmada Çeşit Adaptasyon Verim Denemesi-kuruda (ÇAVD-KE) 4 lokasyonda 12 adet ve suluda (ÇAVD-SE) 2 lokasyonda 8 adet genotip değerlendirilmiştir. ÇAVD-KE denemesinde GlutoPik BEM, PM ve AGGEN değerleri dışında diğer parametreler bakımından genotipler arasında istatistiki olarak farklılıklar önemli olmuştur ($p<0.01$). ÇAVD-SE denemesinde ise sadece HI ve TA değerleri arasındaki farklılıklar önemlidir. ÇAVD-KE denemesinde 8 ve 10 no'lu hatlar yumuşak tane yapısındadır. Bu denenemede standartların MSDS değeri ortalamaları 50,0 ml civarında yüksektir. Özellikle Reis ve Konya çeşitlerinin tane ağırlıkları da iyi durumdadır. Özellikle Reis ve Tosunbey çeşitlerinin GlutoPik'ten elde edilen en önemli parametrelerden olan AM ve AGGEN değerleri yüksektir. Konya çeşidinin AM değeri iyi iken AGGEN değeri orta düzeydedir. Reis ve Tosunbey çeşitleri ile kıyaslandığında çeşit adaylarından ÇAVD-KE denemesinde 7 ve 11 no'lu hatlar yüksek ekmeklik potansiyelleri ile önerilmiştir. 7 no'lu hattın MSDS değeri ve 11 nolu hattın AM ve AGGEN değerleri denemede en yüksektir. Önerilen bu iki hattın YMA glutenin alt birimleri kombinasyonu 2*, 17+18 ve 5+10 şeklinde olması yüksek ekmeklik kalite için ıslah programları için hedef altbirimleri göstermiştir. 8 no'lu hat ise yumuşak tane yapısı; düşük MSDS, AM ve AGGEN değerleri ile yumuşak buğday ürünleri için önerilebilir. Bu hat Glu-D1'de 2+12 altbirimini taşımaktadır. ÇAVD-SE denemesinde hatların tamamı sert tane yapısındadır. Standartlardan daha iyi tane fiziksel özelliklerine sahiptirler. Standartlardan Yunus ortalama 50,5 ml MSDS değerine sahip olur iken AM ve AGGEN değerleri düşüktür. Yunus çeşidi Glu-A1'de null alleli taşımakta bu da gluten kalitesini (strength) zayıflatmaktadır. ÇAVD-SE denemesinde 5 ve 8 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım kalite potansiyelleri ile çeşit adayı olarak belirlenmişlerdir. Yalnız 5 no'lu hattın Glu-D1'de 2+12 altbirimini taşımasına rağmen iyi kalite özellikleri çok daha doğru bir değerlendirme için özellikle erken generasyonda DMA glutenin kompozisyonlarının mutlakla belirlenmesinin gerektiğine yorumlanmıştır.

Tablo 5. Çeşit adaptasyon verim denemelerinde (kuru ve sulu) genotiplerin bazı teknolojik kalite özellikleri

Gen	Deneme Adı	HL kg	HI	MSDS ml	TA g	TÇAP mm	PROT %	PMT s	BEM GPU	AM GPU	PM GPU	AGGEN cm ²	Glu A1	Glu B1	Glu D1
1	ÇAVD-KE	81,0	63,2	38,5	37,2	2,80	13,4	39,0	42,8	22,3	29,5	1004,2	1	17+18	2+12
2	ÇAVD-KE	80,2	56,3	41,8	38,7	2,83	14,3	35,8	47,3	18,3	29,8	1051,7	2*	17+18	2+12
3	Reis	80,1	65,4	50,8	38,0	2,87	13,6	46,5	47,3	29,8	28,3	1179,7	2*	7+8	5+10
4	ÇAVD-KE	81,3	73,7	44,8	36,6	2,83	13,6	52,3	42,8	24,5	29,0	1038,5	2*	17+18	2+12
5	ÇAVD-KE	83,1	68,4	42,0	38,3	2,87	13,5	38,5	45,3	26,8	29,5	1125,9	1	7+9	5+10
6	Tosunbey	80,5	75,3	50,3	33,3	2,75	14,4	44,3	50,3	27,5	31,0	1176,2	1	17+18	5+10
7	ÇAVD-KE	81,4	67,8	51,3	37,6	2,75	13,7	51,8	45,5	30,3	29,0	1154,9	2*	17+18	5+10
8	ÇAVD-KE	79,1	27,3	32,5	33,3	2,70	13,9	68,8	38,8	19,0	26,8	947,6	2*	17+18	2+12
9	Yunus	80,6	74,3	48,3	36,4	2,80	14,1	44,8	45,0	26,5	29,8	1038,2	null	7+8	5+10
10	ÇAVD-KE	79,7	32,6	39,0	34,3	2,65	13,7	68,3	38,8	20,3	29,3	958,0	1	7	5+10
11	ÇAVD-KE	80,3	77,7	49,5	32,8	2,79	15,1	32,5	49,5	35,0	30,5	1209,7	2*	17+18	5+10
12	Konya	81,1	90,9	47,5	37,1	2,92	14,4	83,3	39,5	31,8	33,8	1030,2	2*	7	5+10
Ort		80,7	64,4	44,7	36,1	2,80	14,0	50,5	44,4	26,0	29,7	1076,2			
DK(%)		1,24	13,1	9,65	6,08	3,25	3,14	28,4	16,4	21,7	14,6	13,94			
A.Ö.F. (0.05)		1,4**	12,1**	6,2**	3,2**	0,13**	0,6**	2,6**	ö.d.	8,1**	ö.d.	ö.d.			
1	ÇAVD-SE	81,1	62,7	40,0	40,5	2,92	13,0	36,0	45,5	30,0	29,5	1117,3	1	7	2+12
2	ÇAVD-SE	78,4	59,9	45,0	39,2	2,80	13,2	57,0	35,0	26,0	26,5	909,6	2*	7+9	5+10
3	Nacibey	79,3	66,3	36,0	36,1	2,78	13,0	41,0	31,5	21,0	22,0	797,3	2*	17+18	2+12
4	ÇAVD-SE	79,9	67,4	46,0	38,0	2,81	13,9	40,0	40,5	25,0	30,0	962,7	null	7+8	5+10
5	ÇAVD-SE	78,1	58,3	49,5	44,0	3,02	13,7	29,5	42,5	27,0	29,0	1112,8	2*	7+9	2+12
6	Yunus	78,8	68,0	50,5	39,9	2,92	13,8	51,5	40,5	20,5	26,5	932,3	null	7+8	5+10
7	ÇAVD-SE	80,8	66,2	42,0	41,2	2,92	12,8	51,5	27,5	21,0	24,0	733,6	null	6+8	5+10
8	ÇAVD-SE	78,9	64,3	49,0	39,7	2,91	14,0	52,0	53,0	23,0	32,0	1180,8	2*	7+8	5+10
ORT		79,4	64,1	44,8	39,8	2,88	13,4	44,8	39,5	24,2	27,4	968,3			
DK (%)		1,64	4,15	10,17	4,32	2,25	4,22	35,73	33,33	38,22	17,2	19,4			
A.Ö.F. (0.05)		ö.d.	6,30*	ö.d.	9,6*	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.	ö.d.			

Gen:Genotip, Ort:ortalama, HL:Hektolitre ağırlığı, MSDS:Makro SDS sedimentasyon değeri, TA:Tane ağırlığı, TÇAP:Tane çapı, HI: SKCS sertlik değeri, PMT:GlutoPik maksimum zaman, BEM:GlutoPik maksimum tork, AM:GlutoPik tork BEM'tan 15 s önceki, PM:GlutoPik tork BEM'tan 15 s sonraki, AGGEN:GlutoPik agregasyon enerjisi değeri, PROT:Tane protein oranı, DK:Değişim Katsayısı, A.Ö.F.:Asgari Önemli Farklılık, Ort:ortalama

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (GKTAEM) ekmeklik buğday ıslah programı 2019-2020 üretim yılına ait materyal kullanılarak farklı ıslah kademelerinde kuru ve sulu koşullarda gluten kalitesinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, KÖVD'nde 35, 144, 270, 22, 96, 210, 254 ve 280 no'lu hatlar iyi tane fiziksel özellikleri ile birlikte ekmeklik için istenilen güçlü gluten kalite değerlerine ve SÖVD'nde ise 110, 113, 197, 205, 216, 217, 226 ve 232 no'lu hatlar zayıf gluten kalitesi ile iyi bisküvilik kalite potansiyeline sahip bulunmuşlardır. KVD'nde ekmek-yapım kalitesi için önerilenlerin MSDS, AM, PM ve AGGEN değerleri bisküvilik için önerilenlerden daha yüksektir. Bölge verim denemesinde 1, 8, 7 ve 19 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım kalite potansiyeline sahiptirler. Bu hatların 5+10 YMA glutenin altbirimini taşımaları dikkat çekmiştir. Bölge verim denemelerinin yürütüldüğü lokasyonlar değerlendirildiğinde Eskişehir lokasyonu yüksek, Afyon lokasyonu iyi, Hamidiye ve Uşak lokasyonları orta; Kütahya lokasyonu düşük gluten kalite özellikleri vermiştir. Tescil denemeleri öncesindeki son aşama olan ÇAVD-KE denemesinde 7 ve 11 no'lu hatlar ve ÇAVD-SE denemesinde 5 ve 8 no'lu hatlar yüksek ekmek-yapım

kalite potansiyelleri ile çeşit adayları olarak belirlenmişlerdir. ÇAVD-KE denemesinde 8 no'lu hat ise yumuşak tane yapısı ve zayıf gluten kalitesi ile yumuşak buğday ürünleri için tercih edilebilir. Teknolojik kalite özellikleri belirlenen ve ileri ıslah kademelerine seçilen bu genotiplerden hedef ürün grupları için yeni çeşitler geliştirilebilecektir. Çalışma ayrıca ekmeklik buğday ıslah programlarına teknolojik kalite yönünden seleksiyonda değerlendirme için bakış açısı getirmesi nedeniyle de katkılar sağlayacaktır.

Yazar Katkıları

Yaşar KARADUMAN makalenin yazımı, düzenlenmesi, laboratuvar analizleri ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde; Arzu AKIN, Seda DOĞAN ve Emel YILMAZ laboratuvar analizlerinin yapılmasında; Savaş BELEN materyalin tarla denemelerinde ve ıslah programları için analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] S. Aydoğan, M. Şahin, A. G. Akçacık, A., B. Demir, T. Yıldırım, S. Hamzaoglu. "Yağışa dayalı koşullarda bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.) verim ve bazı kalite özelliklerinin değerlendirilmesi", KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, vol. 23, no. 3, pp. 713-721, 2020.
- [2] M. Olgun, Y. Karaduman, N. G. A. Arpacioğlu, M. Ardiç, O. Koyuncu, O. Sezer, Z. B. Başçıftı, Z. Ş. Tunca, S. Belen, D. Aydın, D. Katar. "Ekmeklik buğday çeşitlerindeki RGB, HSV ve Lab renk değerleri ile nitrojen dozları ve kalite parametreleri arasındaki ilişki", Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, vol. 11, no.2, pp. 46-51, 2018.
- [3] Z. Maryami, A. B. Huertas-Garcia, M. R. Azimi, N. Hernandez-Espinosa, T. Payne, F. Cervantes, V. Govindan, M. I. Ibbas, C. Guzman. "Variability for glutenins, gluten quality, iron, zinc and phytic acid in a set of one hundred and fifty-eight common wheat landraces from Iran", *Agronomy*, vol. 10, no.11, pp. 1797, <https://doi.org/10.3390/agronomy10111797>, 2020.
- [4] Y. Karaduman, S. Belen, M. Olgun, M. Ceyhan, Y. Kartal, K. Özkan. "Ülkesel ekmeklik buğday alım bareminde ekmeklik buğday çeşitlerinin ayrımı: yapay zeka destekli örüntü tanıma uygulamalarının kullanılabilirliği", *Research Journal of Biology Sciences Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, E-ISSN: 1308-0261, vol. 13, no. 2, pp. 45-59, 2020a
- [5] H. Gül, B. Kara, S. Acun, A. Öztürk, S. Türk Aslan. "Türkiye'nin Göller Bölgesi'nde yetiştirilen buğday çeşitlerinin bazı kalite özellikleri", *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 586-595, doi: 10.30910/turkjans.663641, 2020.
- [6] Y. Karaduman. "Ekmeklik buğday ıslah programları için teknolojik kalitenin değerlendirilmesinde CIMMYT modeli", *Türkiye 13. Ulusal I. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi*, pp. 33-38, 2019.
- [7] W. Bushuk. "Wheat Breeding For End-Product Use", *Euphytica*, vol. 100, pp. 137-145, 1998.
- [8] P. I. Payne, M. A. Nightingale, A. F. Krattiger, L. M. Holt. "The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 40, pp. 51-65, <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740400108>, 1987.
- [9] A. Troccoli, G. M. Borrelli, P. DeVita, C. Fares, N. DiFonzo. 2000. "Durum wheat quality: A multidisciplinary concept", *Journal of Cereal Science*, vol. 32, pp. 99-113, 2000.
- [10] N., Hernandez-Espinosa, S. Mondal, E. Autrique, H. G. Santoyo, J. Crossa, J. H., Espino, C. Guzman. Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germ-plasm under drought and heat stress, *Field Crops Research*, vol. 215, pp. 104-112, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.003>, 2018.
- [11] W. S. Veraverbeke, J. A. Delcour. 2002. "Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 42, pp. 179-208, 2002.
- [12] C. Guzman, K. Ammar, V. Govindan, R. Singh. "Genetic improvement of wheat grain quality at CIMMYT", *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 265-272. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019260>, 2019.
- [13] Y. Karaduman, O. Önder, A. Sayaslan, N. Aydın. "Utilization of GlutoPeak tester on whole wheat flour for gluten quality assessment", *Quality Assurance & Safety of Crops & Foods*, vol. 11, no. 3, pp. 295-304. <https://doi.org/10.3920/QAS2018.1319>, 2019.
- [14] Ç. M. Güçbilmez, M. Şahin, A. G. Akçacık, S. Aydoğan, B. Demir, S. Hamzaoglu, S. Gür, E. Yakışır. "Evaluation of GlutoPeak test for prediction of bread wheat flour quality, rheological properties and baking performance", *Journal of Cereal Science*, vol. 90, pp. 102827. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102827>, 2019.
- [15] G. K. Chandi, K. Seetharaman. 2012. "Optimization of gluten peak tester: A statistical approach", *Journal of Food Quality*, vol. 35, pp. 69-75, 2012.
- [16] J. Wang, G. G. Hou, T. Liu, N. Wang, J. E. Bock. "GlutoPeak method improvement for aggregation measurement of whole wheat flour", *LWT-Food Science and Technology*, vol. 90, pp. 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.059>, 2018.
- [17] Y. Karaduman, A. Sayaslan, A. Akın. "GlutoPik parameters of whole wheat flours for gluten quality evaluation in soft wheat breeding programs", *Journal*

- of Cereal Science, vol. 95, no. 103031, pp. 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103031>, 2020b
- [18] G. Çeliker, H. Dizlek. "Glutopik analizinin aynı kategoride yer alan ekmeklik buğday çeşitlerinin (*Triticum aestivum* L.) sınıflandırma ve değerlendirmesinde kullanılabilirliğinin belirlenmesi", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 20, pp. 409-424, 2020.
- [19] Y. Karaduman, A. Akın, S. Türkölmez, Z. Ş. Tunca. "Ekmeklik buğday ıslah programlarında gluten kalitesinin değerlendirilmesi için GlutoPik parametrelerinin kullanılabilirliğinin araştırılması", Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, vol. 24, no. 1, pp. 65-74, 2015.
- [20] P. Kolster, C. F., Krechting, W. M. J. Van Gelder. "Quantification of individual high molecular weight subunits of wheat glutenin using SDS-PAGE and scanning densitometry", Journal of Cereal Science, vol. 15, pp. 49-62, 1992.
- [21] P. K. W., N. E., Pogna, F. Mellini, W. Bushuk. 1989. "Glu-1 allele compositions of the wheat cultivars registered in Canada", Journal of Genetic & Breeding, vol. 43, no. 1, pp. 53-59, 1989.
- [22] H. Özkaya, B. Özkaya. "Tahıl ve Ürünleri Analiz Yöntemleri", Ankara. Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Gıda Teknolojisi Yayınları, No. 30, Ankara, 2005.
- [23] AACCI. "AACC Method 54-21.01, 46-30.01, 38-12.02", Approved Methods of American Association of Cereal Chemists, 2010.
- [24] P. C. Williams, F. J. El-Haramein, H. Nakkaoul, S. Rihawi. "Crop Quality Evaluation Chemistry and Technology", International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Syria, pp. 13-16, 1986.
- [25] R. J. Pena, A. Amaya, S. Rajaram, A. Mujeeb-Kazi. "Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats", Journal of Cereal Science, vol. 12, pp. 105-112, 1990.
- [26] ICC. "Standard Methods of Analysis", Vienna, Austria, ICC International, 2011.
- [27] M. Koyuncu. "Screening of Local Durum Wheat Varieties in Terms of Important Parameters Affecting the Quality of Pasta", The University of Gaziosmanpaşa, Department of Food Engineering, Tokat, 2009.