



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

***CANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY
JOURNAL OF ADVANCED
RESEARCH IN NATURAL AND
APPLIED SCIENCES***



ISSN 2757-5195

**Journal of Advanced Research in Natural
and Applied Sciences**

e-ISSN: 2757-5195

**Volume 8 / Issue 1
Sayı 8 / Cilt 1**

2022 Mart/March

Yayıncı/Publisher: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Rektör /Rector: Prof. Dr. Sedat MURAT

Dergi Editör Kurulu/Editorial Board

Doç.Dr. Filiz UĞUR NİGİZ (Editor-in-Chief)

Dr. Öğretim Üyesi Ayça AYDOĞDU

Dr. Tuğba GÜNGÖR

Doç.Dr. Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Doç.Dr. Necati KAYA

Dr. Öğretim Üyesi Gülçin ÖZCAN ATEŞ

Dr. Öğretim Üyesi Şebnem ÖNDER

Dr. Öğretim Üyesi Doğukan TAŞER

Sekreteryası/Secretary

Arş. Gör. Sinem ALTINIŞIK

Önsöz:

Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi Fen, Mühendislik, Doğa ve Temel bilimler alanlarında daha önce yayımlanmamış orijinal araştırma makalesi, derleme yazılar, teknik not türünde araştırmaları yayımlayan ulusal ve uluslararası indekslerde taranan, hakemli ve bilimsel bir dergidir. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi Mart, Haziran, Eylül, Aralık olmak üzere yılda dört sayı yayımlanacaktır. Tr-Dizin’de taranan Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences Dergisi’nin 8.cilt 1.sayısında 12 adet araştırma makalesi yayına kabul edilmiştir.

	<ul style="list-style-type: none"> • TÜBİTAK TR DİZİN tarafından taranmaktadır • Indexed by TR-DİZİN Database.
	<ul style="list-style-type: none"> • TÜBİTAK-ULAKBİM DergiPark Akademik tarafından yayımlanmaktadır. • Published by TÜBİTAK-ULAKBİM Turkish Journal Park Academic Database.
	<ul style="list-style-type: none"> • CROSSREF® Veri Tabanı Tarafından Taranmakta ve Makaleler DOI numarası ile yayımlanmaktadır. • Indexed by CROSSREF® Database and Articles are published with DOI number.
	<ul style="list-style-type: none"> • Google Scholar'da ve SOBIAD'da taranmaktadır • Indexed by Google Scholar and SOBIAD Database.

İletişim Adresi / Publisher Address: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Terzioğlu Yerleşkesi Çanakkale (Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Binası)

Tel: 0286 218 05 23, Belgegeçer / Fax: 0286 218 05 24

E-posta / E-mail: jarnas.journal@gmail.com

Dergi Web Sayfası / Journal Home Page:

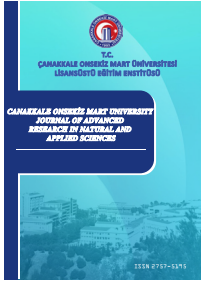
<http://jarna.dergi.comu.edu.tr/>

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

Printing and Graphics Department

PUNTO
AJANS

Adres / Address: Siyavuşpaşa Mh. Mustafa Kemal Paşa Cd. Oğuzhan Sk. No. 6 D. 4 Bahçelievler/İstanbul
Web: www.puntoajans.com



Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences

Mart (March) 2022 / Cilt (Volume) 8 / Sayı (Issue) 1 / e-ISSN 2757-5195

Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences

CONTENTS / İÇİNDEKİLER
(2022, 8:1)

No	Articles & Authors / Makaleler & Yazarlar	Pages / Sayfa No
1	Molibden Uygulamasının Sakız Fasulyesinin (<i>Cyamopsis tetragonoloba</i> L.) Farklı Organlarında Bazı Besin Elementleri Miktarına Etkisi Nuray Mücellâ Müftüoğlu*, Yakup Çıkılı, Cafer Türkmen, Mevlüt Akçura Research/Araştırma	1-7
2	Classification of Invoice Images By Using Convolutional Neural Networks Ömer Arslan*, Sait Ali Uymaz Research/Araştırma	8-25
3	Ülkemiz Lettuce Mosaic Virus İzolatının Tüm Genom Analizi Aysun Helvacı, Savaş Korkmaz* Research/Araştırma	26-34
4	Developing Financial Forecast Modeling With Deep Learning On Silver/Ounce Parity Adem Üntez*, Mümtaz İpek Research/Araştırma	35-44
5	A Stable and High Accurate Numerical Simulator for Convection-Diffusion Equation Osman Ünal* Research/Araştırma	45-53
6	Determination of Appropriate Thresholding Method in Segmentation Stage in Detecting Breast Cancer Cells Cihat Ediz Akbaba, Adem Polat* Research/Araştırma	54-62
7	Calculation Of Gruneisen Parameter, Compressibility, And Bulk Modulus as Functions Of Pressure In $(C_6H_5CH_2NH_3)_2PBI_4$ Arzu Kurt* Research/Araştırma	63-75



Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences

Mart (March) 2022 / Cilt (Volume) 8 / Sayı (Issue) 1 / e-ISSN 2757-5195

8	Growth and Feeding Ecology of Dnieper chub <i>Petroleuciscus borysthenicus</i> (Kessler, 1859) in Şahinkaya Reservoir, an Artificial Water Body of an Island Ecosystem (Gökçeada, Turkey) Sevan Ağdamar*, Gülşah Saç Research/Araştırma	76-85
9	Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Süreç Bazlı Hata Türleri Analizi Pelin Poyraz, Fuat Şimşir* Research/Araştırma	86-104
10	Farklı Olgunluklarda Tüketilen Sakız Enginarının (<i>Cynara Scolymus L.</i>) Biyoaktif Bileşenlerinin İncelenmesi Seda Kayahan*, Didem Saloğlu Research/Araştırma	105-113
11	Türetim ile Z_2s+uZ_2s Halkası Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar Basri Çalışkan* Research/Araştırma	114-123
12	Uzaktan Eğitim ile Örgün Eğitimin Karbon Ayak İzine Etkilerinin Karşılaştırılması Gül Nihal Güğül*, Nihal Kılınç Research/Araştırma	124-131



Molibden Uygulamasının Sakız Fasulyesinin (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) Farklı Organlarında Bazı Besin Elementleri Miktarına Etkisi

Nuray Mücellâ Müftüoğlu^{1*}, Yakup Çıkkılı¹, Cafer Türkmen¹, Mevlüt Akçura²

¹Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

²Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 08.04.2021
Kabul: 12.10.2021
Yayın: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Sakız fasulyesi bitkisine farklı dozlarda uygulanan molibdenin yeşil bitkide, yeşil baklada ve tohumdaki toplam azot, demir, bakır, çinko, mangan ve molibden elementleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bitki materyali olarak sakız fasulyesi, uygulama materyali olarak molibden elementinin 5 farklı dozu (0, 50, 100, 150, 200 µgMo/kg) kullanılmıştır. Yeşil bitki, yeşil bakla ve tohumda en yüksek toplam azot miktarı 100 µgMo/kg uygulamasında tespit edilmiştir. En yüksek toplam demir miktarı bitki ve baklada kontrolde, tohumda ise 200 µgMo/kg uygulamasında elde edilmiştir. En yüksek toplam bakır miktarı bitkide 200 µgMo/kg uygulamasında, baklada kontrolde, tohumda ise 50 µgMo/kg uygulamasında tespit edilmiştir. En yüksek toplam çinko miktarı bitkide ve baklada 50 µgMo/kg uygulamasında, tohumda ise tanıkta saptanmıştır. En yüksek toplam mangan miktarı bitkide ve baklada 150 µgMo/kg uygulamasında, tohumda ise tanıkta elde edilmiştir. En yüksek toplam molibden miktarı bitkide ve baklada 150 µgMo/kg uygulamasında, tohumda ise 200 µgMo/kg uygulamasında tespit edilmiştir. Toplam azot miktarları arasında bitki ve bakla değerlerinde istatistiksel olarak %1, toplam demir miktarları arasında tohumda istatistiki anlamda %5, toplam bakır miktarları arasında istatistiki anlamda baklada %5, toplam molibden miktarları arasında istatistiki anlamda bitkide, baklada ve tohumda %1 önem düzeyinde fark elde edilmiştir. Toplam mangan ve toplam çinko miktarları arasında istatistiki anlamda bir fark tespit edilmemiştir.

Anahtar Kelimeler – Azot, *Cyamopsis tetragonoloba*, mikro element, molibden, sakız fasulye

The Effect of Molybdenum Application on Some Nutrient Elements Amount in Different Organs of Gum Bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)

¹Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

²Department of Fields Crops, Faculty of Agriculture, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 08.04.2021
Accepted: 12.10.2021
Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – Molybdenum applied in different doses to the gum bean plant, it was aimed to determine the effect on total nitrogen, iron, copper, zinc, manganese, molybdenum in green plant, green pod and seed. Gum bean was used as plant and 5 different doses of molybdenum element (0, 50, 100, 150, 200 µgMo/kg) were used as application material. The highest amount of total nitrogen was detected in 100 µgMo/kg application in plant, pod and seed. The highest total iron amount was determined in control in plant and pod, and in 200 µgMo/kg application in seed. The highest total copper was obtained in the application of 200 µgMo/kg in plant, in the control in pod, and in the application of 50 µgMo/kg in seed. The highest amount of total zinc was detected in 50 µgMo/kg application in plant and pod and in control in seed. The highest total manganese was determined in the application of 150 µgMo/kg in plant and pod, in the control in seed. The highest amount of total molybdenum was obtained in 150 µgMo/kg application in plant and pod and in 200 µgMo/kg application in seed. A statistically significant difference of 1% was found between the total nitrogen in plant and pod, 5% was found between the total irons in seed, 5% was found between the total copper in pod, 1% was found between the total molybdenum in plant, pod and seed. A statistically significant difference of was not found between the total zinc and total manganese amounts.

Keywords – *Cyamopsis tetragonoloba*, gum bean, microelement, molybdenum, nitrogen

¹ mucella@comu.edu.tr

² yakupcikili@gmail.com

³ turkmen@comu.edu.tr

⁴ makcura@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Atmosferdeki azotun toprağa kazandırılmasında en önemli rolü, baklagiller ile ortak yaşamları sayesinde azot bağlama yeteneğinde olan bakteriler oynamaktadır. Baklagiller; ortak yaşam sonucu bağlanmış oldukları azotu vejetasyonu süresince yaşamsal olayları için kullanmakta ve vejetasyonu sona erdiğinde bulunduğu ortama azot sağlamaktadır. Sakız fasulyesi (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) bitkisi *Fabaceae* familyasında yer alan baklagil bitkisi olup, bitkiden elde edilen “guar gum” maddesi yiyeceklerde doğal katılaştırıcı olarak kullanılmak için ithal edilmektedir.

[Khan ve Hedge \(1989\)](#) tarafından molibden uygulamasının nodülasyonu ve bitki büyümesini artırmada etkili olduğu bildirilmektedir. [Mut ve Gülümser \(2001\)](#) tarafından yapılan bir çalışmada, nohutta bakteri aşılması ile çinko ve molibdenin birlikte uygulanmasının tanedeki P, Zn, Mn ve Fe seviyeleri üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir.

[Benek \(2005\)](#) tarafından fasulyede yapılan bir çalışmada, molibden gübre dozları arttıkça bitki boyu, bitkide tane verimi, bitkide tane sayısı, baklada tane sayısı, yüz tane ağırlığı, tane verimi, biyolojik verim, hasat indeksi, kök kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, bitkide nodul sayısı, bitkide dal sayısı ve protein oranında artış olduğu belirtilmektedir. Molibden elementinin azot fiksasyonu üzerinde etkisini araştırılması amacı ile [Akkuş ve Müftüoğlu \(2010\)](#) tarafından nohut, [Vuralın ve Müftüoğlu \(2012\)](#) tarafından bakla bitkisinde yapılan iki ayrı çalışmada en fazla azot kazancının 0,15 ppm Mo uygulamasında gerçekleştiği bildirilmektedir. [Gök \(1993\)](#); [Haktanır ve Arcak \(1997\)](#); [Durrant \(2001\)](#) tarafından demir ve molibden besin elementlerinin topraktaki miktarı ve bitki tarafından alınımının baklagillerde simbiyotik azot fiksasyonunu doğrudan etkilediği bildirilmektedir.

Bu deneme; canlıların beslenmesinde önemli yeri olan protein kaynaklarından biri olmasının yanı sıra yetiştiriciliğinin ülkemiz için uygun olması, kullanım alanının özellikle gıda sektöründe çok geniş olması, ithal edilmesi, molibden ve azot ilişkisi üzerinde çok az çalışma bulunması nedeni ile sakız fasulyesi bitkisinde farklı dozlarda uygulanan molibden elementinin yeşil bitkide, yeşil baklada ve tohumdaki toplam azot (N), toplam demir (Fe), toplam bakır (Cu), toplam çinko (Zn), toplam mangan (Mn) ve toplam molibden (Mo) elementlerinin miktarları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

Çanakale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ), Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü tarafından yürütülmekte olan 1170068 No’lu TÜBİTAK 1001 projesindeki genotipler arasından seçilmiş ve ülkemiz için yeni bir bitki olan tane tipi 12 nolu sakız fasulyesi genotipi denemede bitki materyali olarak kullanılmıştır.

Deneme alanı olarak ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği seçilerek ekim yapılmadan önce parselasyon işlemi yapılmış ve her parselden alınan toprak örneklerinde toprak verimlilik analizleri yapılmıştır. Analizlerden pH ve elektriksel iletkenlik 1:2.5 oranındaki toprak:su karışımında [Richards \(1954\)](#) tarafından bildirildiğine göre, serbest karbonatlar [Allison ve Moodie \(1965\)](#)’e göre, organik madde (%) [Jackson \(1958\)](#) tarafından modifiye edilmiş olan Walkley Black yaş yakma yöntemine göre saptanmıştır.

Toprakta bünye hidrometre yöntemi ile [Bouyoucos \(1951\)](#)’e göre, toplam azot (%) [Bremner \(1965a\)](#) tarafından bildirildiği şekilde yaş yakılan toprak örneklerinde distilasyon sonrası titrimetrik olarak belirlenmiştir. Toprakta amonyum (NH_4^+) ve nitrat (NO_3^-) belirlenmesi 2 M potasyum klorür (KCl) ile ekstraksiyonu sonrası elde edilen süzüklerde [Bremner \(1965b\)](#) yöntemine göre distile edilerek, alınabilir fosfor (P, mg/kg) 0.5 M sodyum bikarbonat (NaHCO_3) çözeltisi ile ekstraksiyonu sonrası elde edilen süzüklerde mavi renk yöntemine göre [Olsen, 1954](#), alınabilir potasyum (K^+) ve kalsiyum (Ca^{++}) toprak örneklerinin 1 N amonyum asetat çözeltisi ile ekstraksiyonu sonrası elde edilen süzüklerde fleymfotometrik olarak belirlenmiştir [\(Jackson, 1958\)](#).

Toprakta alınabilir elementlerden Fe, Cu, Zn, Mn ve Mo [Soltanpour ve Workman \(1979\)](#) tarafından bildirildiği şekilde, amonyum bikarbonat-dietilen triamin penta asetik asit (AB-DTPA) ekstraksiyonu sonrası elde edilen süzükte İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi cihazı (ICP-OES) ile belirlenmiştir [\(Kacar, 2014\)](#).

Deneme alanındaki toprağın genel verimlilik özellikleri [Tablo 1](#)'de verilmiştir.

Tablo 1
Deneme alanının deneme öncesi toprak verimlilik değerleri

Analiz	Değer	Derece
Toprak reaksiyonu (pH, 1:2.5)	7.71 ± 0.02	Hafif alkalın
Toprakta elektriksel iletkenlik (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$)	586 ± 6.43	Tuzsuz
Toprakta karbonat (CaCO_3 , %)	16.2 ± 0.20	Fazla kireçli
Toprakta organik karbon (%)	1.39 ± 0.01	
Toprakta organik madde (%)	2.40 ± 0.03	Orta
Kum (%)	51 ± 1.14	
Mil (%)	22 ± 1.06	Kumlu killi tın
Kil (%)	27 ± 0.27	
Toprakta toplam azot (N, %)	0.106 ± 0.00	Yeterli
Toprakta amonyum (NH_4^+ , mg/kg)	20.5 ± 1.87	
Toprakta nitrat (NO_3^- , mg/kg)	20.8 ± 1.65	
Toprakta alınabilir fosfor (P, mg/kg)	11.7 ± 0.79	Yeterli
Toprakta alınabilir potasyum (K, mg/kg)	177.8 ± 9.04	Yeterli
Toprakta alınabilir kalsiyum (Ca, mg/kg)	1363 ± 22.80	Yeterli
Toprakta alınabilir sodyum (Na, mg/kg)	31 ± 0.58	
Toprakta alınabilir demir (Fe, mg/kg)	14.9 ± 0.55	Yeterli
Toprakta alınabilir bakır (Cu, mg/kg)	2.4 ± 0.05	Yeterli
Toprakta alınabilir çinko (Zn, mg/kg)	0.6 ± 0.02	Az
Toprakta alınabilir mangan (Mn, mg/kg)	15.4 ± 0.56	Yeterli
Toprakta alınabilir molibden (Mo, mg/kg)	0.013 ± 0.00	

[Tablo 1](#) incelendiğinde deneme alanı toprağının pH değerinin 7.71 olduğu görülmektedir. Sakız fasulyesinin optimum toprak reaksiyonu hakkında çok fazla bilgi bulunmamasına rağmen 5.5-8.5 pH aralığında yetiştirilebileceği bildirilmektedir ([Singh, 2014](#)). Deneme toprağının tuzsuz grupta yer aldığı görülmektedir. Pakistan'ın kurak ve yarı kurak bölgelerinden toplanan 15 yerel sakız fasulyesi çeşidinde farklı tuz seviyelerinde (3; 9 ve 15 dS/m) kök sistemlerinin değişimini belirlemek amacıyla yürütülen bir araştırmada, iyi kök sistemine sahip olan yerel çeşitlerin yüksek tane verimi verdiği ve tuzluluğa diğer genotiplere göre daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir ([Ashraf, Akhtar, Sarwar, ve Ashraf, 2005](#)). Deneme alanı toprağı orta derecede organik madde, yeterli düzeyde N, P, K, Ca, Fe, Cu, Mn ve az miktarda Zn içermektedir.

Sakız fasulyesi ekimi, gübrelemesi ve molibden uygulaması 29 Mayıs 2020 tarihinde yapılmıştır. Guar bitkisinin farklı genotipleri ile çalışan [Cebeci, Gökkuş, ve Alatürk \(2016\)](#)'nın 20-40 cm sıra arası önerileri dikkate alınarak tarla şartlarında sıra üzeri 10 cm, sıra arası 40 cm olarak ayarlanmış mibzerle açılan çizilere 2-4 cm derinlikte, ocakvari ve üçer tohum olarak elle ekim yapılmıştır. Yapılan bir araştırmada 3.3 kg/da N'un sakız fasulyesine yeterli olduğu ([Buttar, Grover, Thind, ve Saroa, 2012](#)), ekim yapılırken dekara 3 kg saf azot yanı sıra 6 kg saf fosfor verilmesi gerektiği ([Baturca, Gökkuş, Alatürk, ve Birer, 2017](#)) önerileri ve deneme alanının toprak verimlilik özellikleri dikkate alınarak ekimle birlikte 22.5 kg/da monoamonyum fosfat (MAP; 12.61.0) gübresi sıralara uygulanmıştır. Bu gübre ile 2.7 kgN/da ve 5.9 kgP/da verilmiştir. Molibden kaynağı olarak amonyum molibdat $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}]$ kullanılmış, bu maddeden hazırlanan stok çözeltilerden 5 farklı molibden dozu (0, 50, 100, 150 ve 200 $\mu\text{gMo}/\text{kg}$) için gerekli çözeltiler alınarak 5 litre hacim içerisinde seyreltilmiş ve pülverizatör yardımıyla ilgili parsellerin toprak yüzeyine çözeltiler şeklinde uygulanmıştır.

Çıkış gerçekleştiği zaman seyreltme yapılarak her ocaktaki bitki sayısı teke düşürülmüştür. Bitkinin su ihtiyacı damla sulama şeklinde dört kez uygulama ve her seferde yaklaşık 100 mm su verilerek karşılanmış, çıkıştan iki hafta sonra bir kez çapa yapılmıştır. Yabancı ot mücadelesi için ekim öncesi ve gerektiğinde herhangi bir ağır metal ve molibden içermeyen BONAFLAN® WG [%60 (w/w) Benfluralin] 250 g/da he-sabıyla toprağa uygulanmıştır. Deneme 3 tekerrürlü ve 5 uygulama olarak planlanmıştır.

Denemede elde edilen yeşil bitki, yeşil bakla ve tohum örnekleri için çıkıştan itibaren her parselde kenar tesirleri dışında kalan bitkilerden, 3'er adet; tane verimlerini belirlemek için de hasat olgunluğuna kadar bekletilmek üzere 6'şar adet bitki olmak üzere her parselden 9 bitki etiketlenerek işaretlenmiştir. Deneme alanında toplam 135 adet bitki (5 parsel x 3 tekerrür x 9 bitki) etiketlenmiştir.

Yapılacak olan yeşil bakla ve bitki örnekleme bitkinin toplam vejetasyon süresinin yaklaşık orta dönemi-ne rastlayan ağustos ayı başında gerçekleştirildiği bilgisi (Müftüoğlu, Türkmen, Akçura, ve Kaplan, 2019) dikkate alınarak örneklemede etiketlenen her parselden 3 bitki olmak üzere toplamda 45 adet bitki (5 parsel x 3 tekerrür x 3 bitki) bitki 28 Ağustos 2020 tarihinde kök boğazından kesilerek baklaları ayrılmış, bitki ile yaş baklalar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ayrıca söz konusu 45 bitkiden her parselde ait olan 3 adet bitkinin öğütülerek birleştirilmesi ile elde edilen 15 adet yeşil bitki ve 15 adet yeşil bakla (5 parsel x 3 tekerrür) örneği elde edilmiştir.

Hasat 11 Ekim 2020 tarihinde yapılmış, örnekleme için parsellerde etiketlenen diğer 6 bitki sökülerek bak-laları ayrılmış, toplam 90 adet bitkiden (5 parsel x 3 tekerrür x 6 bitki) homojenize edilerek 15 adet tohum (5 parsel x 3 tekerrür) örneği elde edilmiştir.

Denemeden elde edilen bitki örnekleri yıkanarak 70 °C'de durağan ağırlığa gelinceye dek kurutma dolabın-da kurutulmuş, çelik bıçaklı öğütücüde öğütülmüş ve öğütülen bitki örnekleri yakılarak analize hazır hale getirilmiştir (Kacar, 2014). Bitkide toplam N (mg/g) konsantre sülfürik asit (H₂SO₄)-salisilik asit (C₇H₆O₃) karışımı ile yaş yakılan bitki örneklerinde Nelson ve Sommers (1980) tarafından bildirildiği şekilde tespit edilmiştir. Bitki örneklerinin kuru yakma metoduyla yakılması ile elde edilen çözeltilerde toplam elementle-rin (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, µg/g) miktarları İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi cihazı (ICP-OES) ile belirlenmiştir (Kacar, 2014).

Araştırmada elde edilen toprak, bitki, bakla ve tohumlara ait olan verilere MINITAB 18.0 istatistik paket programından yararlanılarak tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizi yapılmış, veri ortala-maları arasındaki farklar LSD testi ile ortaya konulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı dozlarda molibden uygulamasının sakız fasulyesinin vejetasyon ortasında alınan yeşil bitki ve yeşil bakla ile hasatta alınan tohumdaki toplam azot, demir ve bakır miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

Farklı dozlarda molibden uygulaması yapılan sakız fasulyesinin bitki, bakla ve tohumdaki toplam azot, demir ve bakır değerleri

Uygulanan Mo (µg/kg)	Toplam N (%)			Toplam Fe (µg/g)			Toplam Cu (µg/g)						
	Bitki	Bakla	Tohum	Bitki	Bakla	Tohum	Bitki	Bakla	Tohum				
0	1.27	A	1.91	BC	3.32	55	129	220	AB	8.85	11.01	A	8.61
50	1.13	B	1.81	C	3.33	51	115	217	AB	7.07	9.42	AB	9.49
100	1.28	A	2.20	A	3.35	53	107	180	B	7.94	8.61	B	7.24
150	1.11	B	1.83	BC	3.21	55	103	226	AB	8.31	9.71	AB	7.71
200	1.16	B	1.99	B	3.26	52	96	228	A	9.54	7.69	B	8.67
P	0.000**	0.001**	0.875 ^{ÖD}	0.414 ^{ÖD}	0.087 ^{ÖD}	0.019*	0.588 ^{ÖD}	0.011**	0.105 ^{ÖD}				

ÖD: Önemli değil, *: %5 düzeyinde önemli, **: %1 düzeyinde önemli

Tablo 2 incelendiğinde farklı dozlarda molibden uygulamasının toplam azot (%) miktarlarında bitki ve bakla değerlerinde istatistiki anlamda %1 önem düzeyinde fark tespit edildiği, tohumda ise fark tespit edilmediği, en yüksek değerlerin bitki, bakla ve tohumda 100 µgMo/kg elde edildiği görülmektedir. Molibden elementinin azot fiksasyonu üzerinde etkisinin araştırıldığı nohut ve bakla bitkilerinde en yüksek azot kazancına 0.15 ppm Mo uygulandığında ulaşıldığı (Akkuş ve Müftüoğlu, 2010; Vuralın ve Müftüoğlu, 2012) sonucu ile kıyaslandığında sakız fasulyesinde molibden elementinin daha düşük miktarlarının etkili olduğu belirlenmiştir. Akçura, Müftüoğlu, Kaplan, ve Türkmen (2020) tarafından sebze olarak tüketilen sakız fasulyesi üzerinde yapılan bir çalışmada genotiplerin yeşil baklalarındaki toplam N miktarlarının %2.30-2.76 arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu denemede yeşil baklalardaki toplam N miktarları %1.81-2.20 arasında değiştiği, sebze olarak tüketilenlere göre denemeye konu olan tane tipi 12 nolu sakız fasulyesi genotipin N değerinin daha düşük olduğu saptanmıştır.

Toplam demir (µg/g) miktarlarında sadece tohumda istatistiki anlamda %5 önem düzeyinde fark tespit edildiği, en yüksek değerlerin bitki ve baklada tanıkta, tohumda 200 µgMo/kg uygulamasında elde edildiği görülmektedir. Akçura, Müftüoğlu, Kaplan, ve Türkmen (2020) tarafından sebze olarak tüketilen sakız fasulyesi genotiplerinin yeşil baklalarındaki miktarlarının 88-124 µg/g arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu denemede yeşil baklalardaki toplam Fe miktarları 96-129 µg/g arasında değiştiği, sebze olarak yetiştirilenlere göre denemeye konu olan tane amaçlı yetiştirilen genotipin Fe değeri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Toplam bakır (µg/g) miktarlarında istatistiki anlamda baklada %5 önem düzeyinde fark tespit edildiği, en yüksek değerlerin bitkide 200 µgMo/kg, baklada tanıkta, tohumda 50 µgMo/kg uygulamasında elde edildiği görülmektedir. Akçura, Müftüoğlu, Kaplan, ve Türkmen (2020) tarafından sebze olarak tüketilen sakız fasulyesi genotiplerinin yeşil baklalarındaki miktarları 5.99-7.40 µg/g arasında değiştiği bildirilmiştir. Bu denemede yeşil baklalardaki toplam Cu miktarları 7.69-11.01 µg/g arasında değiştiği, sebze olarak tüketilenlere göre denemeye konu olan tohum amaçlı yetiştirilen genotipin Cu değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Farklı dozlarda molibden uygulamasının sakız fasulyesinin vejetasyon ortasında alınan yeşil bitki ve yeşil bakla ile hasatta alınan tohumdaki toplam çinko, mangan ve molibden miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Farklı dozlarda molibden uygulaması yapılan sakız fasulyesinin bitki, bakla ve tohumdaki toplam çinko, mangan ve molibden değerleri

Uygulanan Mo (µg/kg)	Toplam Zn µg/g			Toplam Mn µg/g			Toplam Mo µg/g					
	Bitki	Bakla	Tohum	Bitki	Bakla	Tohum	Bitki	Bakla	Tohum			
0	32.27	38.77	41.97	27.14	12.76	10.38	0.62	B	3.91	C	3.12	C
50	34.21	39.45	41.88	28.19	14.53	10.29	1.07	B	6.53	BC	3.56	C
100	22.04	33.65	35.33	26.53	13.39	8.92	1.14	B	5.46	C	5.23	B
150	24.94	34.15	36.37	36.07	16.47	9.47	2.63	A	11.77	A	7.05	AB
200	27.54	33.20	41.29	28.63	14.42	9.65	2.61	A	8.30	B	8.61	A
P	0.053ÖD	0.111ÖD	0.105ÖD	0.066ÖD	0.069ÖD	0.157ÖD	0.001**		0.000**		0.000**	

ÖD: Önemli değil, *: %5 düzeyinde önemli, **: %1 düzeyinde önemli

Tablo 3 incelendiğinde farklı dozlarda molibden uygulamasının bitki, bakla ve tohumda toplam çinko (µg/g) miktarlarında istatistiki anlamda bir farka neden olmadığı, en yüksek değerlerin bitkide ve baklada 50 µgMo/kg uygulamasında, tohumda ise tanıkta elde edildiği görülmektedir. Akçura, Müftüoğlu, Kaplan, ve Türkmen (2020) tarafından sebze olarak tüketilen sakız fasulyesi genotiplerinin yeşil baklalarındaki miktarların 8.25-16.55 µg/g arasında değiştiği bulunmuştur. Bu denemede yeşil baklalardaki toplam Zn miktarları 33.20-39.45 µg/g arasında değiştiği, sebze olarak tüketilenlere göre denemeye konu olan tohum amaçlı yetiştirilen genotipin Zn değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Toplam mangan ($\mu\text{g/g}$) miktarlarında istatistiki anlamda bir fark tespit edilmediği, en yüksek değerlerin bitkide ve baklada $150 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında, tohumda tanıkta elde edilmiştir. [Akçura, Müftüoğlu, Kaplan, ve Türkmen \(2020\)](#) tarafından sebze olarak tüketilen sakız fasulyesi genotiplerinin yeşil baklalarındaki Mn miktarlarının $17.68-20.99 \mu\text{g/g}$ arasında değiştiği saptanmıştır. Bu denemede yeşil baklalardaki toplam Mn miktarları $12.76-16.47 \mu\text{g/g}$ arasında değiştiği, sebze olarak tüketilenlere göre denemeye konu olan tohum amaçlı yetiştirilen genotipin Mn değerinin biraz daha düşük olduğu saptanmıştır.

Toplam molibden ($\mu\text{g/g}$) miktarlarında istatistiki anlamda bitkide, baklada ve tohumda %1 önem düzeyinde fark tespit edildiği, en yüksek değerlerin bitkide ve baklada $150 \mu\text{gMo/kg}$ (2.63 ve $11.77 \mu\text{g/g}$), tohumda $200 \mu\text{gMo/kg}$ ($8.61 \mu\text{g/g}$) uygulamasında elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Denemede; beslenmede önemli bir yer tutan protein kaynaklarından biri olan sakız fasulyesi bitkisine farklı dozlarda molibden elementinin uygulanmasının; yeşil bitkide, yeşil baklada ve tohumda toplam azot, demir, bakır, çinko, mangan, molibden elementleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. En yüksek toplam azot (%) değerleri bitki, bakla ve tohumda $100 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında; demir ($\mu\text{g/g}$) değerleri bitki ve baklada tanıkta, tohumda $200 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında; toplam bakır ($\mu\text{g/g}$) değerleri bitkide $200 \mu\text{gMo/kg}$, baklada tanıkta, tohumda $50 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında elde edilmiştir. Toplam çinko ($\mu\text{g/g}$) değerleri bitkide ve baklada $50 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında, tohumda tanıkta, toplam mangan ($\mu\text{g/g}$) değerleri bitkide ve baklada $150 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında, tohumda tanıkta; toplam molibden ($\mu\text{g/g}$) değerleri bitkide ve baklada $150 \mu\text{gMo/kg}$, tohumda $200 \mu\text{gMo/kg}$ uygulamasında elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2019-3143 proje numarası ile desteklenmiştir. Projeye desteklerinden ötürü Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Nuray Mücellâ Müftüoğlu: Denemeyi planlamış, istatistiksel analizlerini yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Yakup Çıkılı: Denemeyi planlamış, verileri toplamış, analizleri tasarlamış ve uygulamıştır.

Cafer Türkmen: Denemeyi planlamış ve verileri toplamıştır.

Mevlüt Akçura: Denemeyi planlamış ve uygulamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Akçura, M., Müftüoğlu, N.M., Kaplan, M., Türkmen, C. (2020). *Nutrient potential and mineral contents of some vegetable cluster bean genotypes*. Cereal Chemistry, 97: 1193–1203. <https://doi.org/10.1002/cche.10341>

Akkuş, E., Müftüoğlu, N.M. (2010). *Farklı dozlarda uygulanan molibdenin nohut (Cicer arietinum L.) bitkisinin azot içeriğine etkisi*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Özel Sayı, s. 35-40, ISSN 1018-8851. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/59403>

Allison, L.E., Moodie, C.D. (1965). Carbonate. In: C.A. Black et al. (Ed.) *Methods of soil analysis*, Part 2. Agronomy 9;1379-1400. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.

Ashraf, M.Y., Akhtar K., Sarwar G., Ashraf, M. (2005). *Role of the rooting system in salt tolerance potential of different guar accessions*. Agronomy for Sustainable Development, 25(2), 243-249.

Batırca, M., Gökkuş, A., Alaturk, F., Birer, S. (2017). *Gübrelemenin sakız fasulyesinin (Cyamopsis tetragonoloba (L.) Taub.) ot verimi ve kalitesine etkileri*. KSÜ Doğa Bil. Derg., 20 (Özel Sayı), 130-134. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.349055>.

- Benek, R. (2005). *Farklı dozlarda uygulanan fosfor ve molibdenin fasulyede (Phaseolus vulgaris L.) verim ve verimle ilgili karakterlere etkisi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye.
- Bouyoucos, G.J. (1951). *A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils*. Agronomy Journal, 43(9): 434-438. <https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>
- Bremner, J.M. (1965a). *Total nitrogen*. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9.2: 1149-1178.
- Bremner, J.M. (1965b). *Inorganic forms of nitrogen*. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9.2: 1179-1237.
- Buttar, G.S, Grover, K., Thind, H.S., Saroa, G.S. (2012). *N-sparing benefit of clusterbean (Cyamopsis tetragonoloba) to Indian mustard (Brassica juncea) under semi-arid conditions of Northwestern India*. Vegetos. 25(2): 313–319.
- Cebeci, G., Gökkuş, A., Alatürk, F. (2016). *Farklı ekim sıklığının sakız fasulyesinde (Cyamopsis tetragonoloba L. Taub.) ot verimi ve bazı verim özelliklerine etkisi*. Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi, 30(1): 53-59. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/224144>
- Durrant, M.C. (2001). "Controlled protonation of iron-molybdenum cofactor by nitrogenase: A structural and theoretical analysis", Biochemical Journal, 355 (3): 569–576. <https://portlandpress.com/biochemj/article-abstract/355/3/569/39436/Controlled-protonation-of-iron-molybdenum-cofactor>
- Gök, M. (1993). *Soya, üçgül, bakla ve fiğ bitkilerine ait değişik Rhizobium sp. Suşlarının ekolojik yönden önemli bazı özelliklerinin laboratuvar koşullarında belirlenmesi*. DOĞA Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi 17/4, 921-930.
- Haktanır, K., Arcaç, S. (1997). *Toprak biyolojisi (Toprak ekosistemine giriş)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1486, Ders Kitabı: 447. Ankara.
- Jackson, M.L. (1958). *Soil chemical analysis*. p. 1-498. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Kacar, B. (2014). *Kolay uygulanabilir bitki analizleri*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara Dağıtım Kültür Mah. Mithatpaşa Cad. No: 74 B01/02 Kızılay/Ankara, ISBN 978-605-133-812-5, 407s.
- Khan, A.H., Hedge, S.V. (1989). *Effect of molybdenum seed treatment on nodulation and growth of Pigeon pea, Cajanus cajan (L) Millps*. Indian Journal of Experimental Biology. (27) 919-920.
- Mut, Z., Gülümser, A. (2001). *Bakteri aşılması, çinko ve molibden uygulamalarının damla 89 nohut çeşidinin bazı morfolojik özellikleri ve tane verimine etkileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi (Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi), 16(2): 1-10. <https://app.trdizin.gov.tr/publication/paper/detail/TWpjMU16UTA>.
- Müftüoğlu, N.M., Türkmen, C., Akçura, M., Kaplan, M. (2019). *Yield And Nutritional Characteristics Of Edible Cluster Bean Genotypes*. Turk J. Field Crops, 2019, 24(1), 91-97. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/722137>.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1980). *Total nitrogen analysis of soil and plant tissues*. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 63; 770-779.
- Olsen, S.R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (No. 939). US Dept. of Agriculture.
- Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. United States Department of Agriculture Handbook 60: 94.
- Singh, R. (2014). *Improved cultivation practices for clusterbean in kharif and summer season*. Indian Council of Agricultural Research). Jodhpur-342 003 Rajasthan. http://www.cazri.res.in/publications/Guar_RajSingh.pdf.
- Soltanpour, P.N., Workman, S. (1979). *Modification of the NH_4HCO_3 -DTPA soil test to omit carbon black*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 10(11), 1411-1420.
- Vuralın, A., Müftüoğlu, N.M. (2012). *Farklı dozlarda uygulanan molibdenin bakla (Vicia faba L.) bitkisinin azot içeriğine etkisi*. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2012, 49(1): 53-62, ISSN: 1018 – 8851. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/59403>.



Classification of Invoice Images By Using Convolutional Neural Networks

Ömer Arslan^{1,*}, Sait Ali Uymaz²

¹ Kuveyt Türk Participation Bank Inc., Konya Research and Development (R&D) Center, Konya, Turkey

² Computer Engineering Department, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Konya Technical University, Konya, Turkey

Article History

Received: 17.06.2021

Accepted: 18.10.2021

Published: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Abstract – Today, as the companies grow, the number of personnel working within the company and the number of supplier companies that the company works with are also increasing. In parallel with this increase, the amount of expenditure made on behalf of the company increases, and more invoices are created. Since the in-voices must be kept for legal reasons, physical invoices are transferred to the digital environment. Since large companies have large numbers of invoices, labor demand is higher in digitalizing invoices. In addition, as the number of invoices to be transferred to digital media increases, the number of possible errors during entry becomes more. This paper aims to automate the transfer of invoices to the digital environment. In this study, invoices belonging to four different templates were used. Invoice images taken from a bank system were used for the first time in this study, and the original invoice dataset was prepared. Furthermore, two more datasets were obtained by applying preprocessing methods (Zero-Padding, Brightness Augmentation) on the original dataset. The Invoice classification system developed using Convolutional Neural Networks (CNN) architectures named LeNet-5, VGG-19, and MobileNetV2 was trained on three different data sets. Data preprocessing techniques such as correcting the curvature and aspect ratio of the invoices and image augmentation with variable brightness ratio were applied to create the data sets. The datasets created with preprocessing techniques have increased the classification success of the proposed models. With this proposed model, invoice images were automatically classified according to their templates using CNN architectures. In experimental studies, a classification success rate of 99.83% was achieved in training performed on the data set produced by the data augmentation method.

Keywords – Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Image Classification, Invoice, MobileNetV2

Introduction

Millions of financial transactions are made every day, depending on the work of the companies. Financial transactions bring with them documents such as bank checks and invoices. It is crucial for these documents to be transferred to the digital environment and then processed automatically in terms of both security and time savings (Tang, Suen, De Yan, & Cheriet, 1995). Furthermore, financial documents created after bank transactions have similar templates. Therefore, it is possible to establish a system that can automatically recognize these financial documents, and document processing becomes easier and safer with the established system.

It may take a long time to process the documents and then obtain the necessary information written on documents. In their study, Casey, Ferguson, Mohiuddin, and Walach (1992) stated the cost of a company employee to transfer a document to a computer environment as \$2. Large companies process thousands of financial documents per day. Since the information on the documents is transferred to the digital environment one by one, this process brings higher labor costs to the companies. Therefore, if the information on the document is automatically transferred to the digital environment, huge companies get rid of a very high labor cost.

¹ omer_arslan@kuveytturk.com.tr

² sauymaz@ktun.edu.tr

*Corresponding Author

Nowadays, it has become effortless to access computers with high processing power and storage capacity. Physical storage of documents is a costly and less secure method. Keeping the documents in the digital environment instead of physically storing them has become much easier and safer with today's technology. Subsequent access to documents stored in the digital environment is also much easier than physically storing.

Deep learning, one of the subfields of artificial intelligence, has been successfully applied in many different areas in recent years. CNNs are deep learning architectures inspired by the vision mechanism of living organisms ([Gu et al., 2018](#)). CNN architectures, which fall into the category of deep networks, are very popular, especially in image classification and pattern recognition, and have many applications applications ([Liu, Fang, Zhao, Wang, & Zhang, 2015](#)).

CNN architectures, which are widely used in image classification, have also been used in document classification studies. In the document classification study named DeepDocClassifier, a CNN architecture-based document classification system was presented using the ImageNet data set, containing millions of sample images. The system takes 3x227x227 size document images and consists of four convolutions and three fully connected layers. The system, which has seven trainable layers in total, was established with the inspiration of AlexNet ([Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, 2012](#)) architecture. The presented system is compared with a CNN-based method (Kang, Kumar, Ye, Li, & Doermann, 2014). In the classification study with only 20 images per class, 68.25% success was achieved. Based on the results obtained on the Tobacco-3428 data set, the system presented an average of 77.6% success in training and validation with 100 images per class. The previously proposed CNN-based approach ([Kang et al., 2014](#)) achieved an average success of 65.35% ([Afzal et al., 2015](#)).

CNN architectures are also used directly in invoice classification studies. For example, in a study that automatically classifies invoice images into three groups as handwriting, computer printout, and receipt, the CNN architecture named AlexNet ([Krizhevsky et al., 2012](#)) was used as a feature extractor. In the study, after feature extraction, various machine learning algorithms such as K Nearest Neighbor (KNN) ([Brown, 2017](#)), Random Forests ([Breiman, 2001](#)), Naive Bayes were used in the classification stage. In addition, different Cross-Validation approaches were also applied during the evaluation of the system. In the system, 1380 invoice images were used as data set, including 220 handwriting, 90 receipt, and 1070 computer printouts. During the study, 5-layer, 10-layer Cross Verification and 66% / 34% training/test split approaches were applied, and the studies were carried out separately for KNN, Random Forests, and Naive Bayes classifiers. The developed CNN-based system achieved the highest success with 98.4% if KNN was used as a classifier with a 10-layer cross-validation approach. With this high success rate, it became possible to use the established system in preprocessing stages in Optical Character Recognition(OCR) systems ([Tarawneh, Hassanat, Chetverikov, Lendak, & Verma, 2019](#)).

In this study, we propose a CNN-based system that enables the classification of invoice images that fall into financial documents. The data set used in the system was created with invoice images belonging to four different classes, and the images were taken from a bank database operating in Turkey. Three different CNN architectures, LeNet5 ([LeCun, Bottou, Bengio, & Haffner, 1998](#)), VGG19 ([Simonyan & Zisserman, 2014](#)) and, MobileNetV2 ([Sandler, Howard, Zhu, Zhmoginov, & Chen, 2018](#)) were used in the study. In the first stage of the study, CNN architectures were used as feature extractors, and in the second stage, invoices were classified according to their templates by using the extracted features.

2. Materials and Methods

2.1. Convolutional Neural Networks(CNN)

CNN is a deep learning approach developed by taking inspiration from the visual cortex of living organisms and is widely used. In recent years, CNN architectures, which were initially used in object recognition studies, are also used in text detection, semantic segmentation and, object tracking ([Aloysius & Geetha, 2017](#)). CNN architectures are similar to traditional artificial neural networks in that they consist of neurons that self-optimize through learning. The most significant difference between CNN architectures from classical artificial neural networks is that they recognize patterns in images ([O'Shea & Nash, 2015](#)). Even if CNN architectures are built in different structures depending on the area of use, they generally

consist of convolution and pooling layers grouped into pieces. Subsequently, they include one or more fully connected layers in standard backpropagation neural networks (Rawat & Wang, 2017).

Three different CNN architectures were used in this study. LeNet-5, which was developed in 1998 mainly for reading handwritten digits, was used as a first architecture. LeNet-5 is a simple and small architecture that has been used to read bank checks and has achieved successful results. The other architecture used, VGG, is a deep network developed in 2014 and achieved successful results. The VGG architecture used small filters like 3x3 to extract features instead of the large filters like 9x9 and 11x11 used in previous architectures. Since invoice images are similar due to their structure, a more detailed examination is required. Small size filters allow a more detailed analysis of the images. The last architecture, MobileNetV2, is designed for use on mobile devices and has a smaller model size compared to other architectures. Therefore, it is essential to use small-size models in applications intended to work on mobile devices. For these reasons, these three CNN architectures with different structures were used in this study.

The LeNet-5 architecture presented by LeCun et al. (1998) and developed to classify handwritten digits, can learn directly from raw pixels and requires little preprocessing in images. LeNet-5 architecture with multiple layers can be trained using the backpropagation algorithm (Gu et al., 2018). LeNet-5 architecture is a CNN architecture consisting of 7 layers with trainable parameters. The architecture includes two convolution layers, two pooling layers, two fully connected layers, and an output layer. In the past, LeNet-5 was used to recognize handwritten numbers on checks in many banks in the United States, and excellent recognition success was achieved (Wang & Gong, 2019). In the architecture, 32x32 has been chosen as the input image size. The general LeNet-5 architecture showing the recognition of the digit images is given in Figure 1.

VGG-19 architecture was presented by Simonyan and Zisserman (2014). The VGG-16 and VGG-19 architectures are the main reason for the VGG (Visual Geometry Group) team to participate in the 2014 ImageNet competition. The team won first and second places in the localization and classification fields with VGG-16 and VGG-19 architectures, respectively (Carvalho, De Rezende, Alves, Balieiro, & Sovat, 2017). The VGG-19 architecture is similar to the VGG-16 architecture and differs from the VGG-16 architecture in that it has three additional layers. The extra three layers in the VGG-19 architecture can learn more detailed patterns from images for more effective training work (Reghunath, Nair, & Shah, 2019). As a result, VGG-19 architecture, which is very popular due to its advantages such as simplicity and easy applicability, has a very high performance in image classification studies. The VGG-19 architecture, like the VGG-16 architecture, takes 224 x 224 images as input (Xia et al., 2019).

VGG-19 architecture consists of 5 convolutional layer blocks followed by three fully connected layers. Convolutional layers use 3x3 filters and use 1 as the number of strides. Convolutional layers also use the value 1 as padding to ensure that each activation map maintains the exact spatial dimensions as the previous layer. In the architecture, the ReLU activation function is used after each convolution layer, and the maximum pooling process is usually performed to reduce the spatial dimensions. The scheme of VGG-19 architecture is shown in Figure 1.

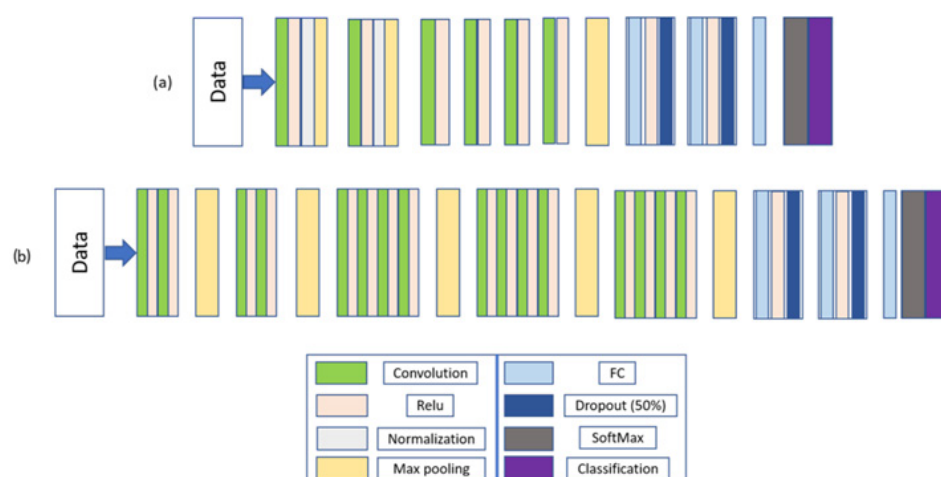


Figure 1. LeNet-5 and VGG-19 architectures (a) LeNet-5 (b) VGG-19 (Shaha & Pawar, 2018)

MobileNetV1 architecture is a CNN architecture developed for mobile devices, reducing network cost and size. With the use of this architecture, image classification processes on mobile devices can be applied quite easily. MobileNetV2 architecture was developed on MobileNetV1 architecture in 2018. The MobileNetV2 architecture was initially designed to recognize facial features but was later trained in Google's in-house dataset ([Saxen et al., 2019](#)). Segmentation, classification, and object recognition operations can be performed using the MobileNetV2 architecture. MobileNetV2 architecture has been developed with two new features in addition to the previous architecture. The first feature is that bottlenecks can occur linearly between layers. The second feature is the development of shortcuts between bottlenecks. The general architectural scheme of the MobileNetV2 is shown in [Figure 2 \(Toğaçar, Cömert, & Ergen, 2021\)](#).

In deep learning algorithms, as the depth of the network increases, the gradient vanishing problem increases. The inverted residual block in the MobileNetV2 architecture uses BN (Batch Normalization) to solve the gradient problem. When ReLU is used as the activation function in architecture, the output value varies between zero and infinity. Since such an extensive range of numbers cannot be defined using low precision resolution, the ReLU6 function, an edited form of the ReLU function, is used in the MobileNetV2 ([Zou, Zhao, Qin, Pan, & Li, 2020](#)).

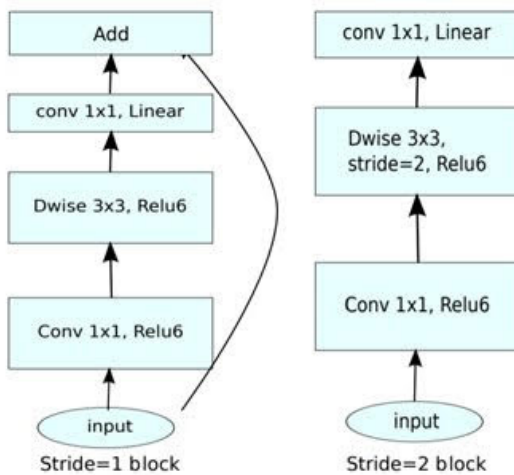


Figure 2. General architectural scheme of the MobileNetV2 ([Sandler et al., 2018](#))

2.2. Data Preprocessing

The invoice images used in the training phase of the system belong to transactions such as overtime and travel performed by bank personnel. The invoices are scanned using a scanner or sent to the system without preprocessing after the photograph is taken using the mobile device camera. Therefore, the data sets used in this study were prepared by processing the invoice images that were taken from the system.

Detection of Images That Do not Contain Invoice Data

When the invoice images are scanned double-sided by the personnel using a scanner, two images are obtained. One of the images generally does not contain any data that is related to the invoice. In addition, images taken by users using a mobile device camera may sometimes have images that are not related to the invoice.

First, the typical invoice terms were determined by applying OCR to all images. Then, by applying OCR to the images for the second time, images containing no text or no invoice terms were determined and removed from the data set. During the application of OCR to the images, an open-source OCR system called Tesseract was used. Tesseract was developed by Hewlett Packard in the 1990s and became open source in late 2005 ([Sidhwa, Kulshrestha, Malhotra, & Virmani, 2018](#)). Sample images automatically removed from the data set after OCR application are shown in [Figure 3](#).



Figure 3. Sample images that were removed from the dataset as they do not contain meaningful data after OCR

2.2.2. Correcting Of Oblique Angle Images

The images in the data set are taken from different angles by different users. Oblique images affect both OCR performance and feature extraction performance made by CNN. To prevent these possible problems, the angle of the texts in the images was calculated, and the tilt of the curved images was corrected. During the tilt correction study, firstly, the images in the data set were converted to the black and white format. Then, tilt calculation was made using the edge detection operator named Canny and Hough transform.

2.2.2.1. Canny Edge Detection Operator

The Canny operator was developed by John F. and is used to detect edges in images with its algorithm consisting of multiple steps ([Khan & Mufti, 2016](#)). The Canny algorithm consists of four steps. In the first step, noise reduction is performed using the Gaussian filter. In the second step, the gradient is calculated, and in the third step, the pixels that are not edge candidates and are not the maximum pixels are eliminated. Finally, the last step decides whether the pixels are edge pixels or not ([Ha & Shakeri, 2016](#)). After the invoice images were converted to black and white format, the edge detection process was carried out by applying the Canny operator.

2.2.2.2. Hough Transform

Hough transform is a feature extraction technique used in digital image processing studies. Although Hough transform is used to detect lines in images, it can also be used to detect the locations of random shapes in the image. The Hough transform is designed to detect lines and uses the parametric representation of the line as shown in Equation (2.1).

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.1)$$

The ρ in the formula expresses the distance from the vector perpendicular to the line. θ denotes the angle between this vector and the x-axis ([Chunhavittayatera, Chitsobhuk, & Tongprasert, 2006](#)). The representation of the Hough space belonging to the line is shown in [Figure 4](#).

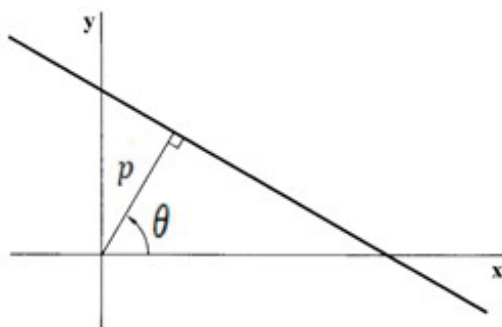


Figure 4. Representation of the Hough space of the line ([Duda & Hart, 1972](#))

Invoice images were converted to black and white format, and edge detection was performed by applying the Canny operator. Later, by applying the Hough transform, lines were drawn to the rows in the image, and the tilt of each row was calculated and collected. After the correct tilts were collected, the image inclination angle was calculated. Then the image was rotated by using a computed tilt angle. Conversion of a sample invoice image in the data set to black and white format, Canny operator application, and Hough transformation implementation are shown in [Figure 5](#).

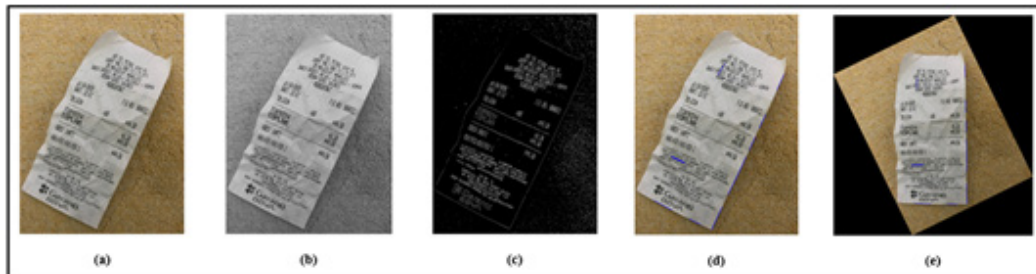


Figure 5. Steps of applying the Canny Operator and Hough Transform to a sample invoice image. (a) Original image. (b) Black and white image. (c) Image with Canny operator applied. (d) The image containing lines that drawn using Hough transform. (e) Corrected image by using the tilt angle obtained by taking the average tilt of the lines.

2.2.3. Zero Padding Application

Since CNN architectures take fixed-size images as input, the images in the training set need to be resized. However, while resizing images with very different aspect ratios, there is a loss of detail problem in some images. To solve the aspect ratio problem, the images were resized to be equal in width and height using the zero-padding method. According to the zero-padding process, the image is resized by placing fixed-value pixels on the edges of the image. With this method, the spatial distribution in the image edges is changed (Nguyen et al., 2019). The zero-padding process has two significant advantages. The first advantage; if images resized using zero-padding are then resized again, the aspect ratio will be preserved, so there will be no loss of features or deformation. Another advantage is that it speeds up calculation processes and reduces calculation costs.

2.2.4. Data Augmentation

Raw invoice images belong to different users, and each was taken by different mobile cameras or transferred to digital media using a scanner. Therefore, the amount of light in each image is different. Therefore, the proposed invoice classification system should be capable of recognizing the invoices with varying values of light. So that, the system was trained on images that contain different amounts of light. For this purpose, new images were obtained by changing the brightness values of the images in the dataset obtained by applying zero-padding. With this image augmentation technique, the data set size was increased from 4000 to 12000 images. The image enhancement process was carried out by using the ImageDataGenerator class in the library named Keras, and [0.2, 1] was used as the brightness range.

2.3. Datasets

Invoice images taken from a bank system were used for the first time in this study, and the invoice dataset was prepared. While preparing the dataset, some corrections (Hough Transform) were made on the old invoice images in the system. This process has been applied to a small number of images in the bank system. The bank system uploads new images by applying these processes. Furthermore, two more datasets were obtained by applying preprocessing methods (Zero-Padding, Brightness Augmentation) on the original dataset.

In the data set created from invoice images, 4000 invoice images belong to four classes. Class names of invoice images and invoice numbers for each class are given in [Table 1](#).

Table 1

Invoice classes and number of invoice images per class

Invoice Class	Invoice Image Count
CardFilling	1000
Parking	1000
Taxi	1000
Meal	1000
Total	4000

Three different data sets were used in the project. The original data set was obtained by using images taken from a private bank's database. The correction process is applied while the images are saved in the bank database. After the images were retrieved from the bank database, the Canny and Hough Transform processes were applied on only a few old invoice images. Therefore, the images in the original dataset consist of raw images taken from the bank. Moreover, Canny and Hough operations, which were used only while generating the data set, are not used again during the operation of the system. Therefore, these processes do not bring additional costs to the devices on which the application will run.

By applying the Zero-Padding process to the images in the original dataset, the image aspect ratios were equalized, and thus, the BAFGV2 dataset was obtained. BAFGV2 dataset was produced to avoid the loss of detail problem when resizing images in different aspect ratios.

BAFGV3, the last data set used in the project, was obtained by augmenting the images of the BAFGV2 data set based on the brightness values. Since real-world invoice images will have different brightness values, the system needs to be prepared for this. Therefore, to make the system work stably on images of varying brightness, the BAFGV3 data set was created.

2.3.1. Original Dataset

The Original dataset includes invoice images taken from a private bank's database. An example invoice image of each class in the Original dataset is given in [Figure 6](#).



Figure 6. Image samples of each class in the Original dataset. (a) CardFilling receipt. (b) Parking receipt. (c) Taxi receipt. (d) Meal receipt.

2.3.2. BAFGV2 Dataset

The BAFGV2 data set was created by applying the zero-padding process to the images in the Original data set. The BAFGV2 data set was obtained by adding blue pixels around the images of Original to make them square. Therefore, each image in the BAFGV2 data set is square-shaped, and the aspect ratio is equal. An example of an invoice for each class in the BAFGV2 data set is shown in [Figure 7](#).



Figure 7. Sample invoice images of the BAFGV2 dataset. (a) CardFilling receipt. (b) Parking receipt. (c) Taxi receipt. (d) Meal receipt

2.3.3. BAFGV3 Dataset

By using the brightness-based data augmentation method, two more images with different brightness values were obtained from each image in the BAFGV2 data set. Therefore, with this image augmentation technique, the data set size from 4000 was increased to 12000 images.

An example process for obtaining two different images from each image by changing the brightness value is shown in [Figure 8](#).

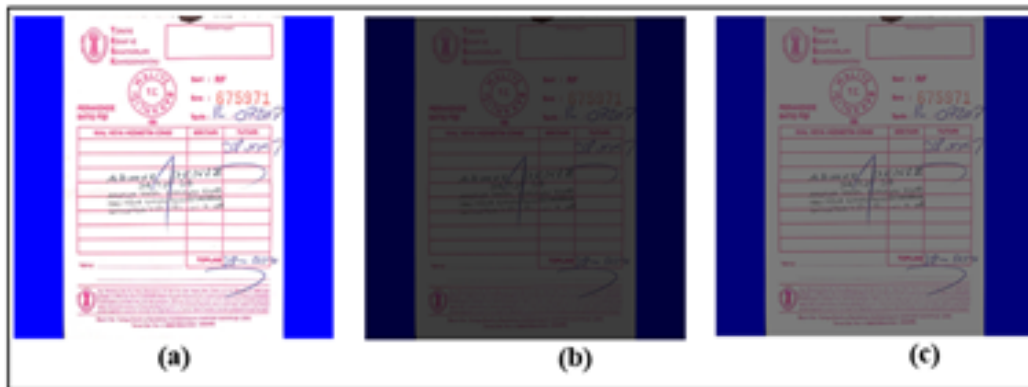


Figure 8. Sample images that were obtained with brightness-based image augmentation. (a) Original image (b) First image obtained (c) Second image obtained

3. Results and Discussion

The proposed study performed feature extraction and classification on three data sets using LeNet-5, VGG-19, and MobileNetV2 CNN architectures. In the studies, the invoice images taken from the database of a bank operating in Turkey and containing Turkish data were used as the data set. 5-Fold cross-validation technique was used in the training studies conducted on three different data sets using three different CNN architectures, and a total of 45 training studies were carried out.

3.1. Experimental Studies on the Original Dataset

A total of 15 training studies were carried out on the Original data set. Success rates and success charts of the training are presented in the rest of the section. The training and validation success rates stated in the graphs represent the success rates achieved in the last training epoch.

The LeNet-5 architecture was used as a feature extractor on the Original data set using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 2](#). The confusion matrix of predictions made in the 1st layer during the test is shown in [Table 3](#).

Table 2

Success rates of studies that are using LeNet-5 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%94.22	%91.41	%93.500	12 minutes	22 MB
Fold - 2	%82.27	%86.09	%71.125	12 minutes	22 MB
Fold - 3	%93.24	%93.44	%90.625	12 minutes	22 MB
Fold - 4	%87.93	%93.12	%85.375	12 minutes	22 MB
Fold - 5	%90.90	%86.87	%78.875	12 minutes	22 MB
Average	%89.712	%90.186	%83.900	12 minutes	22 MB

Table 3

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using Lenet-5 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	198	0	1	5
	Parking	0	196	0	0
	Taxi	0	0	165	6
	Meal	2	4	34	189

As seen in [Table 2](#), the average validation accuracy of the LeNet-5 model on the Original dataset is 90%, and the test accuracy is 83.9%. According to [Table 3](#), LeNet-5 achieved more success in detecting CardFilling and Parking classes than other classes.

As a second architecture, VGG-19 architecture was used as a feature extractor on the Original data set by using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 4](#). In addition, the confusion matrix of predictions made in the 5th layer during the test is shown in [Table 5](#).

Table 4

Success rates of studies that are using VGG-19 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%24.61	%25.00	%25.00	192 minutes	545 MB
Fold - 2	%25.16	%43.44	%25.00	192 minutes	545 MB
Fold - 3	%24.61	%25.00	%43.37	192 minutes	545 MB
Fold - 4	%24.57	%25.00	%38.25	192 minutes	545 MB
Fold - 5	%23.83	%25.00	%62.87	192 minutes	545 MB
Average	%24.55	%28.68	%38.90	192 minutes	545 MB

Table 5

Confusion matrix of predictions made in the most successful layer using VGG-19 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	100	0	6	13
	Parking	97	199	17	102
	Taxi	2	1	177	58
	Meal	1	0	0	27

According to [Table 4](#), the highest test accuracy of the VGG-19 architecture was achieved in Fold-5. However, the average test accuracy is 38.9%. Thus, the experimental results of the VGG-19 model on the Original dataset are lower than that of LeNet-5.

As a third architecture, MobileNetV2 architecture was used as a feature extractor on the Original data set using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 6](#). The confusion matrix of predictions made in the 5th layer during the test is shown in [Table 7](#).

Table 6

Success rates of studies that are using MobileNetV2 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%99.65	%95.54	%41.87	58 minutes	18 MB
Fold - 2	%99.96	%95.63	%47.12	58 minutes	18 MB
Fold - 3	%98.96	%99.22	%25.25	58 minutes	18 MB
Fold - 4	%99.96	%83.28	%41.75	58 minutes	18 MB
Fold - 5	%98.70	%88.45	%53.87	58 minutes	18 MB
Average	%99.44	%92.42	%41.97	58 minutes	18 MB

Table 7

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using MobileNetV2 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	44	1	24	162
	Parking	152	198	3	16
	Taxi	3	1	173	6
	Meal	1	0	0	16

As shown in [Table 6](#), the highest test accuracy was obtained in Fold-5. Although 53.87% test success is achieved in this layer, validation and training accuracies are much higher. This success difference is because the Original dataset contains images that have variable aspect ratios. Furthermore, these aspect ratios cause the loss of detail when resizing images before the CNN network. Since MobileNetV2 is much deeper than the other two architectures, underachievement due to the loss of detail is more in the MobileNetV2 architecture. The confusion matrix of the studies carried out in Fold-5 is shown in [Table 7](#). Accordingly, the highest accuracy value was obtained in Parking images.

LeNet-5 CNN architecture achieved the highest accuracy rates in studies with the Original dataset. LeNet-5 architecture achieved 93.50% test accuracy in this dataset. Images with very different aspect ratios are used in the Original dataset. While the images were sent as input to the CNN network, they were resized to a standard size of 224x224, so some images lost detail, and the distinctiveness of the invoice images decreased. For this reason, the deeper networks VGG-19 and MobileNetV2 architectures showed low test accuracy because of the overfitting problem.

3.2. Experimental Studies on the BAFGV2 Dataset

By adding blue pixels to the images in the Original dataset, their aspect ratios were equalized, and the Original dataset was obtained. The aim of the studies carried out in this section is to observe the success rates of the training studies to be done with the images that have the same aspect ratio instead of the irregular aspect ratio. Moreover, in this section, the sizes of the models formed after the training studies are also compared. This comparison gives an idea about whether the resulting model is suitable for use in mobile devices.

In the first studies, LeNet-5 architecture was used as a feature extractor on the BAFGV2 dataset by using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 8](#). The confusion matrix of predictions made in the 4th layer during the test is shown in [Table 9](#).

Table 8

Success rates of studies that are using LeNet-5 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%92.51	%93.59	%89.226	14 minutes	22 MB
Fold - 2	%74.79	%79.11	%74.651	14 minutes	22 MB
Fold - 3	%78.24	%78.12	%75.285	14 minutes	22 MB
Fold - 4	%92.67	%95.89	%93.662	14 minutes	22 MB
Fold - 5	%93.24	%92.60	%92.522	14 minutes	22 MB
Average	%86.290	%87.862	%85.069	14 minutes	22 MB

Table 9

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using LeNet-5 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	188	0	0	6
	Parking	0	198	0	3
	Taxi	1	0	188	19
	Meal	11	2	8	165

According to [Table 8](#), the highest test accuracy was obtained in Fold 4. The training and validation accuracy values in this layer are also similar. Therefore, the training and test success difference problem did not occur in this section. This enhancement is because the BAFGV2 dataset consists of images with equal aspect ratios. In this way, no detail was lost during the resizing stage before the CNN network, and there was no problem of low success.

As a second architecture, VGG-19 architecture was used as a feature extractor on the BAFGV2 data set by using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 10](#). In addition, the confusion matrix of predictions made in the 5th layer during the test is shown in [Table 11](#).

Table 10

Success rates of studies that are using VGG-19 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%95.51	%96.22	%97.71	187 minutes	545 MB
Fold - 2	%98.36	%96.55	%96.07	187 minutes	545 MB
Fold - 3	%87.33	%98.19	%96.83	187 minutes	545 MB
Fold - 4	%75.95	%80.10	%74.77	187 minutes	545 MB
Fold - 5	%97.23	%98.19	%97.71	187 minutes	545 MB
Average	%90.87	%93.85	%92.62	187 minutes	545 MB

Table 11

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using VGG-19 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	198	0	0	1
	Parking	0	199	0	3
	Taxi	0	0	190	5
	Meal	2	1	6	184

According to [Table 10](#), the average test accuracy was 92.62% in studies performed on BAFGV2 using VGG-19. This success rate was 85.06% in LeNet-5. The training of the VGG-19 network took 187 minutes, while the training of the LeNet-5 network took only 14 minutes. When [Table 11](#) is examined, the results support the values given in [Table 10](#).

As a third architecture, MobileNetV2 architecture was used as a feature extractor on the BAFGV2 data set using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 12](#). In addition, the confusion matrix of predictions made in the 3rd layer during the test is shown in [Table 13](#).

Table 12

Success rates of studies that are using MobileNetV2 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%99.88	%98.19	%62.61	51 minutes	18 MB
Fold - 2	%100.0	%99.34	%61.21	51 minutes	18 MB
Fold - 3	%99.76	%95.56	%79.46	51 minutes	18 MB
Fold - 4	%99.24	%97.11	%67.42	51 minutes	18 MB
Fold - 5	%99.84	%76.15	%75.79	51 minutes	18 MB
Average	%99.88	%98.19	%62.61	51 minutes	18 MB

Table 13

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using MobileNetV2 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	189	0	0	2
	Parking	0	183	0	0
	Taxi	0	0	64	0
	Meal	11	17	132	191

It can be seen in [Table 12](#) that the highest test accuracy was obtained in Fold-3. However, the training and validation accuracy values in this layer are much higher. This difference usually indicates that an overfitting problem has occurred. Since the BAFGV2 dataset contains images with equal aspect ratios, there is no loss of detail during resizing. However, since the MobileNetV2 architecture is much deeper than the other two networks and the invoice images are similar, the overfitting problem occurred, and a lower test success was achieved than the training success.

In the studies carried out on the BAFGV2 data set, VGG-19 achieved the highest test success with 97.71%. The BAFGV2 dataset contains images with an aspect ratio of 1. The zero-Padding application was used in

arranging the aspect ratio as 1. Since the images in this dataset have a fixed aspect ratio, there was less loss of detail when resizing at the CNN input, and much higher test success was achieved.

3.3. Experimental Studies on the BAFGV3 Dataset

The BAFGV3 dataset was obtained by augmenting the images in the BAFGV2 dataset based on the brightness values, and it consists of 12000 images. Processing and classifying images taken in environments with varying amounts of light is a challenging process. Therefore, training studies were also carried out with the BAFGV3 dataset to ensure that the proposed invoice classification system works more stable against images containing variable light amounts.

The LeNet-5 architecture was used as a feature extractor in the studies performed on the BAFGV3 data set, and the 5-Fold cross-validation technique was used. The results of the five training studies are presented in [Table 14](#). In addition, the confusion matrix of predictions made in the 1st layer during the test is shown in [Table 15](#).

Table 14

Success rates of studies that are using LeNet-5 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%96.44	%98.73	%98.944	42 minutes	22 MB
Fold - 2	%97.40	%98.68	%98.775	42 minutes	22 MB
Fold - 3	%98.18	%98.41	%98.479	42 minutes	22 MB
Fold - 4	%98.13	%98.41	%98.564	42 minutes	22 MB
Fold - 5	%98.77	%98.52	%98.437	42 minutes	22 MB
Average	%97.78	%98.550	%98.640	42 minutes	22 MB

Table 15

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using LeNet-5 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	599	0	1	3
	Parking	0	599	0	0
	Taxi	0	0	573	5
	Meal	1	1	14	572

[Table 14](#) shows that the training time of the LeNet-5 network on the BAFGV3 dataset is 42 minutes and the model size is 22 MB. Training, validation, and test achievements are similar. An average of 98.64% test success was achieved in the studies, and this success was the highest average success achieved with LeNet-5. Since the BAFGV3 dataset includes images augmented by varying amounts of light, and real-world examples include images with different amounts of light, higher success has been achieved on this dataset.

As a second architecture, VGG-19 architecture was used as a feature extractor on the BAFGV3 data set by using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 16](#). Moreover, the confusion matrix of predictions made in the 4th layer during the test is shown in [Table 17](#).

Table 16

Success rates of studies that are using VGG-19 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%99.79	%99.63	%99.61	560 minutes	545 MB
Fold - 2	%99.81	%96.40	%97.00	560 minutes	545 MB
Fold - 3	%99.52	%99.47	%99.49	560 minutes	545 MB
Fold - 4	%99.77	%99.84	%99.83	560 minutes	545 MB
Fold - 5	%99.43	%99.52	%99.61	560 minutes	545 MB
Average	%99.66	%98.97	%99.11	560 minutes	545 MB

Table 17

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using VGG-19 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	600	0	1	0
	Parking	0	600	0	2
	Taxi	0	0	586	1
	Meal	0	0	0	577

According to [Table 16](#), an average test success rate of 99.11% was obtained. In addition, it can be seen in Fold-4 values that 99.83% test success was achieved. This value was the highest test success among all studies. Therefore, the VGG-19 architecture has been the most successful network. However, training of the VGG-19 network on the BAFGV3 dataset took 560 minutes, and the model size is 545 MB. Therefore, it would not be advantageous to choose the VGG-19 network where model size and training time are essential metrics.

As a third architecture, MobileNetV2 architecture was used as a feature extractor on the BAFGV3 data set using the 5-Fold cross-validation technique. The results of the five training studies are presented in [Table 18](#). In addition, the confusion matrix of predictions made in the 4th layer during the test is presented in [Table 19](#).

Table 18

Success rates of studies that are using MobileNetV2 architecture

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy	Training Time	Model Size
Fold - 1	%99.97	%100.0	%80.52	189 minutes	18 MB
Fold - 2	%99.99	%99.79	%82.63	189 minutes	18 MB
Fold - 3	%99.97	%99.95	%77.82	189 minutes	18 MB
Fold - 4	%99.96	%100.0	%95.98	189 minutes	18 MB
Fold - 5	%99.96	%99.79	%79.29	189 minutes	18 MB
Average	%99.97	%99.90	%83.25	189 minutes	18 MB

Table 19

The confusion matrix of predictions made in the most successful layer using MobileNetV2 architecture

		Actual Values			
		CardFilling	Parking	Taxi	Meal
Predicted Values	CardFilling	584	13	15	37
	Parking	0	578	0	0
	Taxi	12	0	568	1
	Meal	4	9	4	542

According to [Table 18](#), MobileNetV2 achieved the highest average test success of 83.25% in the BAFGV3 dataset. This success rate shows that the difference in success between training and test studies on the BAFGV3 dataset has decreased.

The BAFGV3 dataset was obtained by randomly changing the brightness values of the images in the BAFGV2 dataset. As a result, the BAFGV3 dataset is three times greater than the size of the other two datasets. In the studies carried out, VGG-19 achieved the highest success with 99.83%. In addition, this success achieved by VGG-19 is the highest success achieved in all studies within the proposed system.

In the studies, the best success rates were obtained in the BAFGV3 data set. The best results are shown in [Table 20](#) according to the CNN architectures used.

Table 20

Best success rates achieved

	Training Accuracy	Validation Accuracy	Test Accuracy
VGG-19	%99.77	%99.84	%99.83
MobileNetV2	%99.96	%100.0	%95.98
LeNet-5	%96.44	%98.73	%98.94

The model dimensions obtained in the studies were examined within the scope of the study. As the model size, the value in MB of the space occupied in the memory is given. Model size does not change according to the size of the data set, but varies according to the number of model parameters and the model working structure. The model sizes and other training parameters are given in [Table 21](#).

Table 21

Model sizes and other training parameters

	Model Size	Number of Parameters	Epoch	Batch Size	Learning Rate	Optimizer	Loss Function
VGG-19	545 MB	143,667,240	10	32	0.01	SGD	Categorical Cross Entropy
LeNet-5	22 MB	60,815	10	32	0.01	SGD	Categorical Cross Entropy
MobileNetV2	18 MB	3,538,984	10	32	0.01	SGD	Categorical Cross Entropy

The data set used in the present study was created using invoice images taken from a bank database and was used for the first time in this study. Since a known data set in the literature is not used, the study is an original study. However, there are some similar studies presented on the scope of invoice classification. For

example, in a study that automatically classifies invoice images into three groups as handwritten, computer printout, and receipt, a CNN architecture named AlexNet was used as a feature extractor. In this CNN-based system, the highest success rate of 98.4% was achieved using KNN as the classifier with the 10-Fold cross-validation approach.

4. Conclusion

In the study, a CNN-based system has been developed that classifies invoice images containing Turkish data according to their templates. In the study, LeNet-5, VGG-19, and MobileNetV2 architectures were trained using three separate data sets. Since the 5-Fold cross-validation technique was used during the study, 45 training studies were carried out. Then, the most successful layers were selected based on the data set and CNN architecture. Testing and validation success rates were taken into consideration while comparing the layer successes.

The training studies obtained the lowest success rates were obtained on the Original dataset, which contains images with different aspect ratios. The reason for this low success rate is the loss of detail on the images during the resizing phase. The BAFGV2 dataset, which includes images with equal aspect ratios, achieved higher successes because there is no loss of detail problem. The highest accuracy rates were obtained in the BAFGV3 dataset, which was acquired by increasing the BAFGV2 dataset using variable brightness ratios. The 99.83% success achieved by using the VGG-19 architecture in the BAFGV3 dataset is the highest test success achieved throughout all studies.

The CNN architectures used in the studies were also compared in terms of resource efficiency. The model size must be small, especially in models intended for use in mobile devices. Considering the model dimensions obtained in the training studies, the model produced by the MobileNetV2 architecture was the model with the smallest model size with 18 MB, while the model size produced by the VGG-19 was 545 MB.

Acknowledgement

The author received no specific funding for this study.

Author Contributions

Ömer ARSLAN: Graduated M.Sc. student. Obtained the data, performed the experimental studies, and wrote the paper.

Sait Ali UYMAZ: Thesis supervisor. Conceived and designed the analysis, reviewed and wrote the paper.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Afzal, M. Z., Capobianco, S., Malik, M. I., Marinai, S., Breuel, T. M., Dengel, A., & Liwicki, M. (2015). Deepdocclassifier: Document classification with deep convolutional neural network. Paper presented at the 2015 13th international conference on document analysis and recognition (ICDAR). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2015.7333933>
- Aloysius, N., & Geetha, M. (2017). A review on deep convolutional neural networks. Paper presented at the 2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286426>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Brown, J. M. (2017). Predicting math test scores using k-nearest neighbor. Paper presented at the 2017 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC). DOI: <https://doi.org/10.1109/ISECon.2017.7910221>
- Carvalho, T., De Rezende, E. R., Alves, M. T., Balieiro, F. K., & Sovat, R. B. (2017). Exposing computer generated images by eye's region classification via transfer learning of VGG19 CNN. Paper presented

- at the 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2017.00-47>
- Casey, R., Ferguson, D., Mohiuddin, K., & Walach, E. (1992). Intelligent forms processing system. *Machine Vision and Applications*, 5(3), 143-155. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02626994>
- Chunhavittayatera, S., Chitsobhuk, O., & Tongprasert, K. (2006). Image registration using Hough transform and phase correlation. Paper presented at the 2006 8th International Conference Advanced Communication Technology. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACT.2006.206134>
- Duda, R. O., & Hart, P. E. (1972). Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 15(1), 11-15. DOI: <https://doi.org/10.1145/361237.361242>
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Cai, J. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 77, 354-377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>
- Ha, P. S., & Shakeri, M. (2016). License Plate Automatic Recognition based on edge detection. Paper presented at the 2016 Artificial Intelligence and Robotics (IRANOPEN). DOI: <https://doi.org/10.1109/RIOS.2016.7529509>
- Kang, L., Kumar, J., Ye, P., Li, Y., & Doermann, D. (2014). Convolutional neural networks for document image classification. Paper presented at the 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPR.2014.546>
- Khan, M., & Mufti, N. (2016). Comparison of various edge detection filters for ANPR. Paper presented at the 2016 Sixth International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH). DOI: <https://doi.org/10.1109/INTECH.2016.7845061>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Paper presented at the Advances in neural information processing systems. DOI: <https://doi.org/10.1145/3065386>
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324. DOI: <https://doi.org/10.1109/5.726791>
- Liu, T., Fang, S., Zhao, Y., Wang, P., & Zhang, J. (2015). Implementation of training convolutional neural networks. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/1506.01195>
- Nguyen, A.-D., Choi, S., Kim, W., Ahn, S., Kim, J., & Lee, S. (2019). Distribution Padding in Convolutional Neural Networks. Paper presented at the 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIP.2019.8803537>
- O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/1511.08458>
- Rawat, W., & Wang, Z. (2017). Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review. *Neural computation*, 29(9), 2352-2449. DOI: https://doi.org/10.1162/NECO_a_00990
- Reghunath, A., Nair, S. V., & Shah, J. (2019). Deep learning based Customized Model for Features Extraction. Paper presented at the 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCES45898.2019.9002299>
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2018). Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00474>
- Saxen, F., Werner, P., Handrich, S., Othman, E., Dinges, L., & Al-Hamadi, A. (2019). Face attribute detection with mobilenetv2 and nasnet-mobile. Paper presented at the 2019 11th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA). DOI: <https://doi.org/10.1109/ISPA.2019.8868585>
- Shaha, M., & Pawar, M. (2018). Transfer learning for image classification. Paper presented at the 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474802>
- Sidhwa, H., Kulshrestha, S., Malhotra, S., & Virmani, S. (2018). Text extraction from bills and invoices. Paper presented at the 2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACCCN.2018.8748309>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/1409.1556>
- Tang, Y. Y., Suen, C. Y., De Yan, C., & Cheriet, M. (1995). Financial document processing based on staff line and description language. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 25(5), 738-754. DOI: <https://doi.org/10.1109/21.376488>

- Tarawneh, A. S., Hassanat, A. B., Chetverikov, D., Lendak, I., & Verma, C. (2019). Invoice classification using deep features and machine learning techniques. Paper presented at the 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT). DOI: <https://doi.org/10.1109/JEEIT.2019.8717504>
- Toğaçar, M., Cömert, Z., & Ergen, B. (2021). Intelligent skin cancer detection applying autoencoder, MobileNetV2 and spiking neural networks. *Chaos, Solitons & Fractals*, 144, 110714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110714>
- Wang, G., & Gong, J. (2019). Facial expression recognition based on improved LeNet-5 CNN. Paper presented at the 2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). DOI: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832535>
- Xia, Y., Cai, M., Ni, C., Wang, C., Shiping, E., & Li, H. (2019). A Switch State Recognition Method based on Improved VGG19 network. Paper presented at the 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). DOI: <https://doi.org/10.1109/IAEAC47372.2019.8998029>
- Zou, Y., Zhao, L., Qin, S., Pan, M., & Li, Z. (2020). Ship target detection and identification based on SSD_MobilenetV2. Paper presented at the 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). DOI: <https://doi.org/10.1109/ITOEC49072.2020.9141734>



Ülkemiz Lettuce Mosaic Virus İzolatının Tüm Genom Analizi

Aysun Helvacı¹, Savaş Korkmaz^{1*}

¹Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 01.07.2021

Kabul: 20.09.2021

Yayın: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Marul ülkemizde birçok bölgede üretimi yapılan önemli bir sebze türüdür. Marul üretiminde sorun oluşturan çok sayıda patojen bulunmakta olup bunlardan biri de Marul mozaik virüsü (Lettuce mosaic virus, LMV)'dür. Bu virüsün ülkemizde ki varlığı farklı bölge ve illerden bildirilmiştir. Hastalığın tanısı ve teşhisine yönelik birçok çalış-ma yapılmış olmasına rağmen ülkemiz LMV izolatlarının tüm genom dizilimlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yoktur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında ülkemiz orijinli bir LMV izolatının (LMV-CNK) tüm genom diziliminin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm genom dizilimi ortaya çıkarılan izolatın, diğer ülkelerdeki LMV izolatları ile nükleotid seviyesinde, aminoasit seviyesinde sırasıyla %82-98 ve %92-99 oranında benzerlikler gösterdiği saptanmıştır. Yapılan filogenetik analizler sonucunda ise LMV-CNK izolatının genel olarak Fransız ve Asya orijinli izolatlar ile yakın ilişkili olduğu görülmüştür. Bildiğimiz kadarıyla çalışma kapsamında ülkemizde ilk kez bir LMV izolatının tüm genom dizilimi belirlenmiş ve biyoinformatik ana-lizleri yürütülmüştür. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda ülkemizde daha fazla sayıda ve farklı LMV izolatları-nın tüm genom düzeyinde dizilenmesi ve analizinin yapılması düşünülmektedir. Ayrıca elde edilen izolatların popülasyon düzeyinde genetik çeşitliliğinin belirlenmesi de izolatlar arasındaki farklılıkların ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Benzerlik, filogenetik, marul, RT-PCR, virüs

The Complete Genome of Turkish Lettuce Mosaic Virus Isolate

Article History

Received: 01.07.2021

Accepted: 20.09.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – Lettuce is an important vegetable produced in many regions of Turkey. There are many pathogen causing problems in lettuce one of which is lettuce mosaic virus (LMV). This virus has been reported in several regions and provinces around the country. Although many studies have focused on the detection and diagnosis of LMV, none have established its entire genome sequence of Turkish LMV isolates. Therefore, we aimed to determine the entire ge-nome sequence of LMV (LMV-CNK) an isolate originated from Turkey. Analyses of whole genome sequence Turkish LMV isolates with world isolates showed 82% to 98% and 92% to 99% similarities at the nucleotide and amino acid levels, respectively. As results of phylogenetic analysis Turkish LMV isolate was closely related to LMV isolates with French and Asian origins. To the best of our knowledge, this is the first bioinformatics analysis of the complete genome sequence of an LMV isolate from Turkey. Whole genome sequences of greater numbers of LMV isolates from different hosts are being considered in the further studies. It is also important to determine the genetic diversity of isolates at the population level to elucidate differences between these isolates.

Keywords – Lettuce, phylogenetic, RT-PCR, similarity, virus

¹ aysunhelvacı0906@gmail.com

² skorkmaz@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Dünyanın hemen hemen bütün ülkelerinde yoğun olarak üretilen sebzeler insanoğlunun temel besin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Sebzelerin beslenmedeki öneminin anlaşılması ile birlikte dünyada sebzelere yönelik araştırmalar hızla artmış ve sebze üretiminde de artış gözlenmiştir.

Türkiye’de önemli derecede yetiştiriciliği yapılan sebzelerden bir tanesi de maruldur. Marul yetiştiriciliğinde özellikle fungal hastalıklar ve virüs hastalıkları ekonomik olarak kayba neden olmaktadır (Dinant ve Lot, 1992). Virüslerin sebep olduğu hastalıklar, dünyada ekonomik getirisi olan ürünlerde önemli kayıplara yol açarak ürünlerin kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Virüslerin tarımsal üretimdeki zararı hakkında net bir rakam söylemek çok zor olsa da, bitki virüsleri nedeniyle verim kayıplarının dünya çapında yıllık 30 milyar dolardan daha fazla olduğu tahmin edilmektedir (Sastry ve Zitter, 2014).

Marul üretimini çok sayıda virüs hastalığı etkilemektedir, yaklaşık 15 marul hastalığına virüsler neden olmaktadır (Dinant ve Lot, 1992). Marulun en yıkıcı hastalığı ise LMV olarak kabul edilmektedir (Dinant ve Lot, 1992).

LMV potyviriidae familyasında olup potyvirus cinsine aittir ve etmen 750x13 nm uzunluğunda partiküllere sahip olan ve esnek iplikçiklerden oluşan bir virüstür. LMV 10.080 nükleotide sahip tek sarmal +ssRNA dan oluşmaktadır (Dinant ve Lot, 1992).

LMV marul yetiştiriciliği yapılan yerlerde %50’ye varan büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Dinant ve Lot, 1992). LMV ile enfekteli bitkilerde bazı semptomlar gözlemlenmektedir. Bu oluşan semptomlar oldukça değişkendir. Enfekteli bitkilerde ilk olarak damarlarda renk açılmaları görülür ve ilerleyen zamanda bu açılmalar mozaik şekilli semptomlara dönüşür. Yapraklar kıvrırcıklaşmaya başlar ve solar. Ayrıca bitkilerde bodurlaşma, baş bağlamama, yapraklarda nekrotik lekeler ve sararmalar görülen diğer semptomlardandır. Nekrozlar daha çok yaz aylarında görülmektedir. Marulun erken dönemde enfekte olması durumunda yaprakların tam gelişemediği ve normal bitkilere göre bodur kaldığı gözlemlenmiştir. Iceberg çeşitlerinde ise mozaik semptomlar daha dikkat çekici olup bodurlaşma ve yaprak deformasyonları görülmektedir (Pavan, Krause-Sakate, Silva, Zerbini ve Gall, 2008).

LMV diğer potyvirüslerde olduğu gibi yaprak bitleri ile taşınmaktadır. Özellikle *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Acyrtosiphon scariolae*, *Aphis gossypii* etkin olarak LMV’yi taşıyan vektörler olarak bilinmektedir. Yaprak bitleri ile virüs taşındığında yaklaşık bir hafta içinde bir tarla tamamen enfekte olabilmektedir. LMV, enfeksiyonlu genç bitkilerden elde edilen özsu ile bulaşmaktadır, ancak yaşlı yapraklardan elde edilen özsu ile bulaşma, genç yapraklara göre daha zor olduğu bilinmektedir. Ayrıca enfekteli tohumlar ve yabancı otlar da hastalık etmeninin bir diğer önemli inokulum kaynağı olup marul yetiştiriciliğinin yoğun yapıldığı alanlarda büyük sorunlara neden olmaktadır (Nebreda vd., 2004).

Geniş bir konukçu aralığına sahip olan LMV, 16 familya 60 cinse ait yaklaşık 121 türü enfekte edebilmektedir. Enfekte edilen bitki türlerinin çoğunluğunun Compositae familyasına ait olduğu bilinmektedir. Marul LMV’nin ana konukçusu olup ıspanak, aspir, bezelye, nohut da diğer konukçular arasındadır. Ayrıca LMV *Chenopodium album*, *C. murale*, *Senecio vulgaris* gibi birçok yabancı otu doğal olarak enfekte edebilmektedir (Horvath, 1980).

Ülkemizin farklı bölgelerinden de LMV enfeksiyonu ve izolatlarının kısmi moleküler karakterizasyonlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir gerçekleştirilmiştir (Karanfil, Tuzlalı ve Korkmaz, 2015; Karanfil, Çevik ve Korkmaz, 2018). Ancak LMV izolatlarının tüm genom dizilimlerinin belirlenmesine yönelik ülkemizde gerçekleştirilmiş bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında daha önceden Güney Marmara Bölgesi’nden elde edilmiş olan LMV izolatlarından bir tanesi seçilmiştir. Seçilen izolatın genomu RT-PCR ile çoğaltılarak sekanslanmıştır. Elde edilen sekans verileri kullanılarak nükleotid ve aminoasit düzeyindeki biyoinformatik ilişkileri tüm genom ve sahip olduğu gen bölgeleri düzeyinde ortaya konmuştur. Ayrıca benzerlik ve filogenetik analizler sonucunda yapılan karşılaştırmalar ile ileriki aşamalarda yapılabilecek olan dayanıklılık çalışmalarına temel oluşturabilecek bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır.

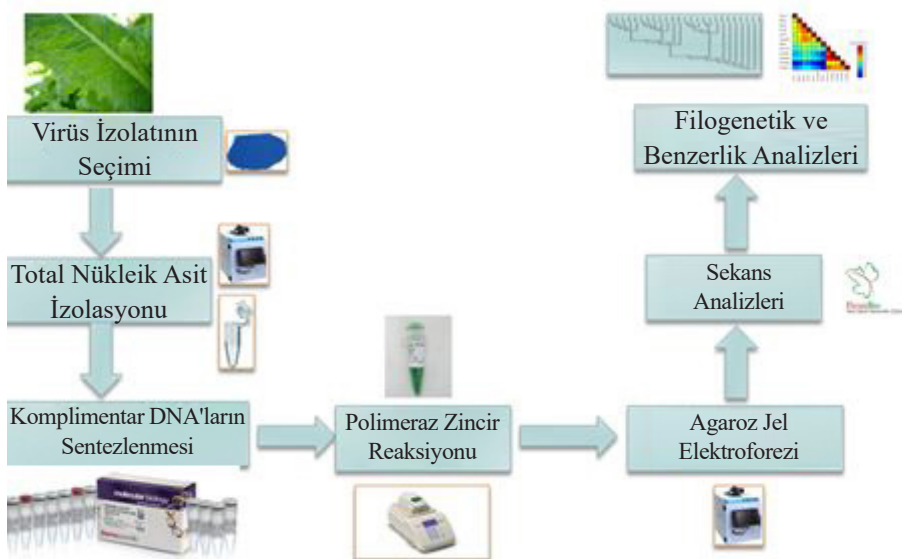
2. Materyal ve Yöntem

Tüm genom dizilimi belirlenen izolat, [Karanfil vd. \(2018\)](#)'nın Balıkesir, Çanakkale ve Bursa'nın bazı il ve ilçelerinden marul bitkilerinden topladıkları ve LMV ile enfekteli olan bitkilerden elde ettikleri izolatlar arasından tesadüfi olarak seçilmiştir. Seçilen izolattan [Karanfil \(2020\)](#)'nin belirttiği şekilde total nükleik asit izolasyonu yapılarak, [Lim vd. \(2014\)](#)'un belirttiği primer çiftleri ile LMV tüm genomu amplifiye edilmiştir ([Tablo 1](#)). cDNA sentezinde Thermo Fisher (Litvanya) firmasından sağlanan kitler, PCR aşamasında ise Takara (Japonya) firmasından sağlanan kitler kullanılmıştır. Sekanslama çalışmaları FicusBio firmasından hizmet alımı yolu ile, biyoinformatik analizler ise CLC Genomic bench, CLC Main Workbench, SDT ve MEGAX programlarından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir ([Muhire, Varsani ve Martin, 2014](#); [Kumar, Stecher, Li, Knyaz ve Tamura., 2018](#)). Çalışma kapsamında kullanılan materyal ve metot ayrıntılı olarak [Şekil 1](#)'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan dünya LMV izolatlarına ait veriler [Tablo 2](#)'de verilmiştir.

Tablo 1

LMV tüm genom dizileme çalışmalarında kullanılan primer çiftleri

Primer Kodu	Primer Dizilimi	Ürün Büyüklüğü (bp)
LMV 1F	AAAATAAAACAACCCAACACAACCTC	1700
LMV 1R	GTACATGCACGAAGCGTGGA	
LMV 2F	ATACTCCATACCTGCACATC	1215
LMV 2R	AGTCGTGATTGAACCATATG	
LMV 3F	CGAGATAGCAGTGAAACAGC	1260
LMV 3R	GTGCGTATGCGCTTACGTAG	
LMV 4F	GGTCGGAGTGCAAGTGCAAG	1440
LMV 4R	CCATTTTCTATGATGTTGGT	
LMV 5F	TGGAAGTAGAAACAGTAGGC	1250
LMV 5R	CTGTCTTTGCCGTTTACCTT	
LMV 6F	CATGGATGATGTTTCAGAGC	1550
LMV 6R	GCTCTTCTGGTAGGCTCCCA	
LMV 7F	CACAGTCAAGGGTAAGTGCA	1180
LMV 7R	ATCCCACTCTAGGATTGACA	
LMV 8F	TGGTTCATGTCACATTGCGG	1430
LMV 8R	GTCTCCGACTGAAAACCAGA	



Şekil 1. Materyal ve metot şeması.

Tablo 2

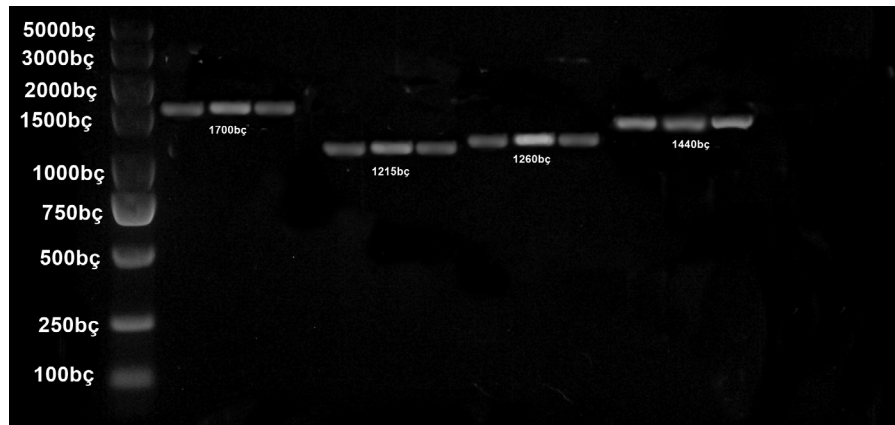
Biyoinformatik analizlerde kullanılan izolatlar

Orjin	İzolat	Konukçu	Erişim No
Fransa	Strain_O	Marul	X97704
Fransa	Strain_E	Marul	X97705
Brezilya	AF199	Marul	AJ278854
Çin	Yuhang	Marul	AJ306288
Güney Kore	Muju	Marul	KF955619
Brezilya	Br6	Marul	KJ161174
Fransa	FR25	<i>Dimorphotheca</i> sp.	KJ161186
Fransa	13	Marul	KJ161173
Şili	CL574	Acı marul	KJ161183
Şili	CL246	Acı marul	KJ161177
Fransa	9	Marul	KJ161172
Şili	CL117	<i>Dimorphotheca</i> sp.	KJ161175
Fransa	LMVCr	<i>Catharanthus roseus</i>	KF268956
İspanya	ES16	<i>Dimorphotheca</i> sp.	KJ161185
Yemen	Yar	Marul	KJ161194
Tunus	Tn51	Marul	KY440645
Tunus	KHam6	<i>Dimorphotheca</i> sp.	KJ161187
Türkiye	TUR-CNK	Marul	OK086021

3. Bulgular ve Tartışma

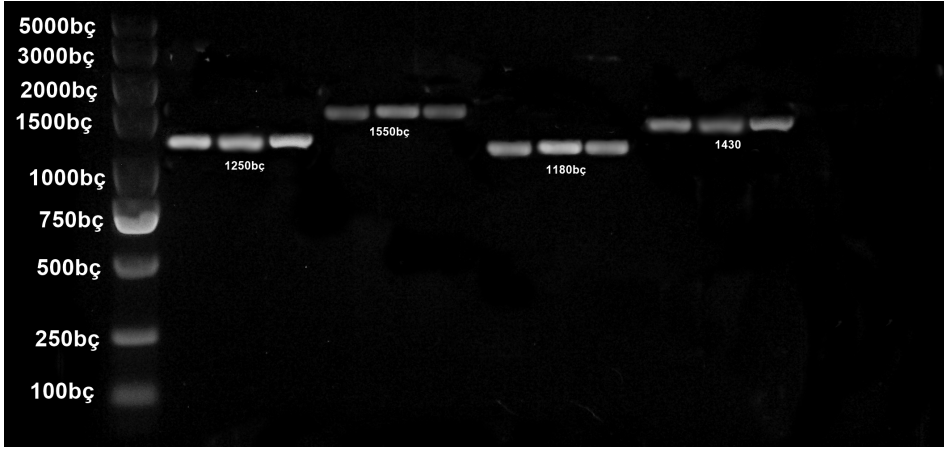
Tüm genom düzeyinde moleküler karakterizasyon çalışmaları temel alınarak gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında bir LMV izolatının (TUR-CNK) tüm genom dizilimleri, 8 farklı birbirinden bağımsız primer çifti ile 8 parça olacak şekilde [Lim vd. \(2014\)](#)'nın belirttiği şekilde PCR ile amplifiye edilerek belirlenmiştir. Elde edilen LMV tüm genom sekans dizileri, benzerlik ve filogenetik ilişkilerin belirlenmesinde kullanılmıştır.

TUR-CNK izolatının tüm genom sekans dizilimlerinin belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında RT-PCR analiz sonuçlarında kullanılan primerlerin çoğalttığı bölgelere karşılık gelen amplifikonların elde edildiği tespit edilmiştir. LMV 1F ve 1R için 1700 bç uzunluğunda, LMV 2F ve 2R için 1215 bç uzunluğunda, LMV 3F ve 3R için 1260 bç uzunluğunda, LMV 4F ve 4R için 1440 bç uzunluğunda bantlar elde edilmiştir ([Şekil 2](#)).



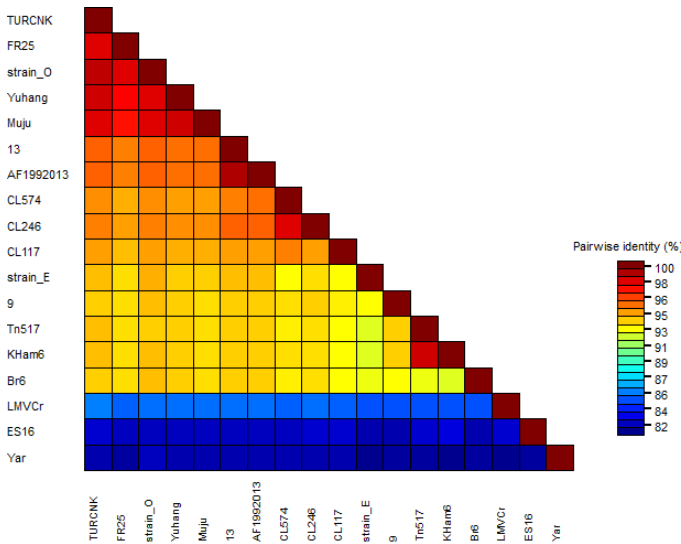
Şekil 2. RT-PCR çalışmaları kapsamında elde edilen amplifikonların agaroz jel elektroforezinde elde edilen bant görüntüsü.

LMV 5F ve 5R için 1250 bç uzunluğunda, LMV 6F ve 6R için 1550 bç uzunluğunda, LMV 7F ve 7R için 1180 bç uzunluğunda ve LMV 8F ve 8R için ise 1430 bç uzunluğunda LMV tüm genomuna ait istenilen bant büyüklükleri elde edilmiştir ([Şekil 3](#)).



Şekil 3. RT-PCR çalışmaları kapsamında elde edilen amplifikonların agaroz jel elektroforezinde elde edilen bant görüntüsü.

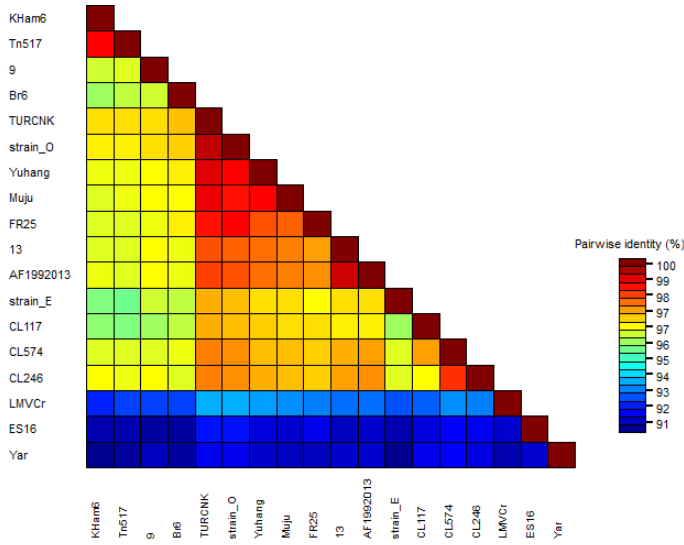
Nükleotid düzeyinde yapılan benzerlik analizlerinde kullanılan tüm diğer ülke izolatları dikkate alındığında genel olarak LMV izolatlarının birbirleri ile %82-100 arasında benzerlik taşıdığı belirlenmiştir. Tüm genom dizilimlerine göre TUR-CNK izolatının, diğer ülke izolatları ile ilişkilerine bakıldığında ise izolatların %82-99 aralığında benzerlik gösterdikleri tespit edilmiştir. TUR-CNK LMV izolatı X97704 erişim numarasına sahip olan Fransa izolatı ile %99 oranla en yüksek sekans homolojisine sahip iken, en düşük benzerliği ise %82 oranla KJ161194 erişim numaralı Yemen izolatı ve KJ161194 erişim numaralı İspanya izolatı ile gösterdiği belirlenmiştir ([Şekil 4](#)).



Şekil 4. Lettuce mosaic virus izolatlarının tüm genom nükleotid dizilimleri seviyesinde birbirleri ile gösterdiği benzerlik matrisi.

Aminoasit temelli benzerlik analizlerinde tüm izolatlar incelendiğinde %91 ile %100 arasında benzerlik oranı olduğu görülmüştür. Tüm genom dizilimlerine göre TUR-CNK izolatının diğer ülkelerin izolatları ile ilişkilerine bakıldığında ise izolatların %92-99 aralığında benzerlik gösterdikleri tespit edilmiştir. TUR-CNK LMV izolatı X97704 erişim numaralı Fransa izolatı ile %99 oranla en yüksek benzerliği göstermiştir.

İkinci en yüksek benzerliği ise AJ306288 erişim numaralı Çin izolatu ile %99 oranla gösterirken, en düşük benzerliği ise %92 oranla KJ161194 erişim numaralı Yemen izolatu ve KJ161185 erişim numaralı İspanya izolatu ile gösterdiği belirlenmiştir ([Şekil 5](#)).



Şekil 5. Lettuce mosaic virus izolatlarının tüm genom aminoasit dizilimleri seviyesinde birbirleri ile gösterdiği benzerlik matrisi.

[Tao, Jiong ve JianPing \(2002\)](#)., yaptıkları çalışmada Çin'in Yuhang şehrinde LMV'nin marul bitkilerinde önemli kayıplar oluşturması nedeniyle seçtikleri bir LMV izolatının tüm genom dizi analizini çalışmışlardır. Bu izolatın nükleotid ve amino asit düzeyinde dünyanın diğer ülkelerinden elde edilen ve gen bankasına yüklenen LMV izolatları ile nükleotid düzeyinde %96.7 ile %98.8 ve amino asit düzeyinde %97.6 ile %99.0 oranında bir benzerliğe sahip olduğunu bulmuşlardır. Bir diğer çalışmada ise [Revers vd. \(1997\)](#), LMV-E ve LMV-O izolatlarının tüm genom dizi karşılaştırmaları sonucunda izolatların nükleotid düzeyinde %94 oranında, aminoasit düzeyinde ise %97 oranında benzerlik gösterdiklerini belirtmişlerdir. Bu bağlamda farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar da bu çalışmayı destekler niteliktedir.

LMV izolatlarının sahip olduğu gen bölgelerine göre gerçekleştirilen benzerlik dizi analizleri sonucunda da tüm genom düzeyinde elde edilen sonuçlara genel olarak paralel sonuçlar elde edilmiştir ([Tablo 3](#)). P1 gen bölgesine göre izolatlar nükleotid düzeyinde %78-98, aminoasit düzeyinde ise %74-98 oranında birbirleri ile benzerlik göstermişlerdir. HC-Pro bölgesine göre izolatların nükleotid düzeyindeki benzerlik oranları %83-98 olarak belirlenirken, amino asit temelli benzerlik analizlerinde ise %95-99,5 olarak birbirleri ile sekans benzerliği gösterdiği tespit edilmiştir. P3 bölgesine göre ise benzerlik oranları nükleotid düzeyinde %81-99,5, amino asit düzeyinde ise %87-100 olarak belirlenmiştir. 6K1 gen bölgesine göre nükleotid düzeyinde izolatların birbirleri ile gösterdiği benzerlik oranı %79-100, aminoasit düzeyinde ise %92-100 olarak belirlenmiştir. CI gen bölgesine göre ise izolatlar nükleotid seviyesinde %84-99, aminoasit seviyesinde ise %97-100 oranında benzerlikler göstermişlerdir. 6K2 gen bölgesine göre ise izolatların nükleotid düzeyindeki benzerlik oranları %77-100, aminoasit düzeyinde ise %83-100 arasında olduğu tespit edilmiştir. VPG gen bölgesi temel alınarak gerçekleştirilen benzerlik analizlerinde ise izolatlar nükleotid seviyesinde %84-99, aminoasit seviyesinde ise %95-100 oranında benzerlikler göstermişlerdir. NIa gen bölgesi için gerçekleştirilen analizler sonucunda ise izolatların nükleotid düzeyinde %82-99, aminoasit düzeyinde ise %95-100 oranında benzerlikler gösterdiği belirlenmiştir. NIb gen bölgesine göre gerçekleştirilen analizler sonucunda ise izolatların nükleotid düzeyinde birbirleri ile %84-99, aminoasit düzeyinde ise %94-99.5 oranında benzerliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Son gen bölgesi olan CP genine göre ise izolatları nükleotid düzeyinde %90-100, aminoasit düzeyinde ise %93-99.5 oranlarında birbirleri ile benzerlikler gösterdiği belirlenmiştir.

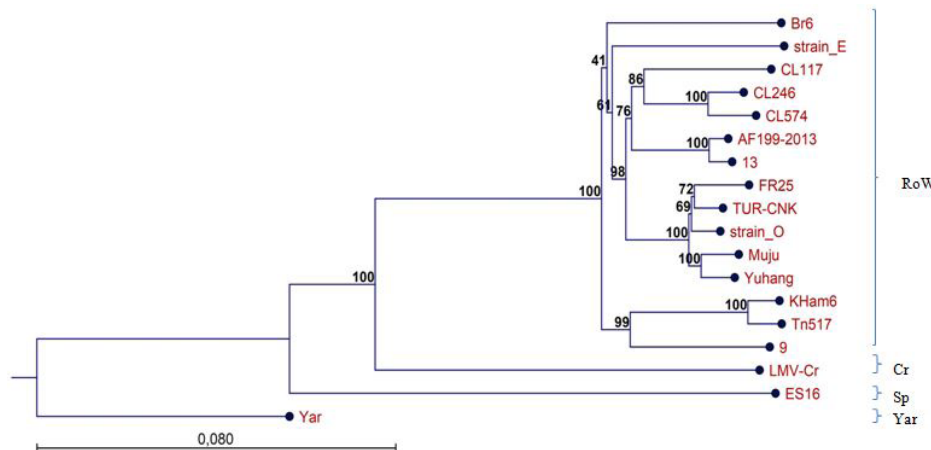
Tablo 3

Türk lettuçe mosaic virus izolatının sahip olduğu gen bölgelerine göre dünya izolatları ile sahip olduğu sekans benzerlik oranları

Gen	Benzerlik Oranı (%)			
	Nükleotit		Amino asit	
	Max.	Min.	Max.	Min.
P1	98	75	98	74
HC-Pro	98	83	99,5	95
P3	99,5	81	100	87
6K1	100	79	100	92
CI	99	84	100	97
6K2	100	77	100	83
VPG	99	84	100	95
NIa	99	82	100	95
NIb	99	84	99.5	94
CP	100	90	99.5	93

TUR-CNK izolatının tüm genom nükleotid dizilimleri kullanılarak oluşturulan filogenetik ağaç incelendiğinde filogenetik ağacın literatüre paralel olarak 4 gruba ayrıldığı görülmektedir ([Revers vd. \(1997\)](#); [Karanfil vd., 2018](#)). Elde edilen filogenetik ağaçta Yar grubunda 1 izolat, Sp grubunda 1 izolat, Cr grubunda 1 izolat ve RoW grubunda ise 15 izolat bulunduğu görülmektedir. Filogenetik ağaç daha detaylı incelendiğinde ise; Yar grubunda KJ161194 erişim numaralı Yemen izolatı, Sp grubunda KJ161185 erişim numaralı İspanya izolatı ve Cr grubunda ise KF268956 Erişim numaralı Fransa izolatı bulunmaktadır. RoW grubunda ise KJ161174, AJ278854 erişim numaralı Brezilya izolatları, KJ161187, KY440645 erişim numaralı Tunus izolatları, KF955619 erişim numaralı Güney Kore izolatı, KJ161186, KJ161173, X97704, X97705, KJ161172 erişim numaralı Fransa izolatları, AJ306288 erişim numaralı Çin izolatı bulunmaktadır. Son olarak ise KJ161175, KJ161177, KJ161183 erişim numaralı Şili izolatları ve ülkemizden elde edilen izolat bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan LMV izolatı olan TUR-CNK KJ161186 erişim numarasına sahip olan Fransa izolatı ile en yakın ilişkiyi, ikinci en yakın ilişkiyi ise X97704 erişim numarasına sahip olan yine bir Fransa izolatı ile göstermiştir. TUR-CNK'nın KJ161194 erişim numaralı Yemen izolatı ile de en uzak ilişkiyi gösterdiği belirlenerek, RoW grubuna dahil olduğu tespit edilmiştir ([Şekil 6](#)). Elde edilen bu sonuçlar LMV izolatlarının filogenetik ilişkilerinin araştırıldığı benzer çalışmalar ile paralellik göstermektedir ([Lim vd., 2014](#); [Korkmaz ve Karanfil, 2017](#); [Karanfil vd., 2018](#)). Benzerlik analizlerinde olduğu gibi gen bölgelerine göre de gerçekleştirilen filogenetik analizlerde tüm genom dizilimleri kullanılarak oluşturulan filogenetik ağaca paralel şekilde izolatların genel olarak gruplandırıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. Lettuçe mosaic virus izolatlarının tüm genom nükleotid dizilimleri kullanılarak neighbour-joining yöntemi ile oluşturulan filogenetik ağaç.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında ilk Türk LMV izolatının tüm genom sekans dizileri belirlenmiştir. Hastalığın orijinine ilişkin yeni bulgular elde edilmiştir. Gen bankası oluşturularak karakterize edilen izolatlar bundan sonraki çalışmalara kaynak teşkil ederek, elde edilen tüm bulgular ulusal ve uluslararası alanlarda bilim dünyasının hizmetine sunulmuştur. Ayrıca ülkemiz LMV izolatlarının tüm genom düzeyinde farklı konukçularda ve daha fazla sayıda yapılması gerektiği düşünülmektedir. Elde edilen izolatların popülasyon düzeyinde genetik çeşitliliğinin belirlenmesi de izolatlar arasındaki farklılıkların ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiş olup, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2019-3062.

Yazar Katkıları

Aysun Helvacı: Analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Savaş Korkmaz: Çalışmayı planlamış, analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Dinant, S. ve Lot, H. (1992). Lettuce mosaic virus: a review. *Plant Pathology*, 41, 528-542.
- Horvath, J. (1980). Viruses of lettuce. II host ranges of lettuce mosaic virus and cucumber mosaic virus. *Acta Agron. Scient. Hungaricae*, 29, 333-352.
- Karanfil, A. (2020). Researching of usability of different total nucleic acid isolation methods in detection of potyvirus infections by RT-PCR. *International Van Conference on Applied Sciences*, (pp. 43), Van, Turkey.
- Karanfil, A., Cevik, B. ve Korkmaz, S. (2018). Detection of lettuce mosaic virus infection in South Marmara region of Turkey and coat protein gene characterization. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105(4), 363-368. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.046>
- Karanfil, A., Tuzlalı, H. T., Korkmaz, S., 2015. Çanakkale ilinde marul mozaik virüsü lettuce mosaic virus (LMV) izolatlarının tanılanması ve karakterizasyonu. *VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, (pp. 27), Çanakkale, Türkiye.
- Korkmaz, S., Karanfil, A., 2017. Molecular characterization with different phylogenetic approaches of lettuce mosaic virus isolates from South Marmara region in Turkey. *2nd International Balkan Agriculture Congress*, (pp. 63), Tekirdağ, Turkey.
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C. ve Tamura, K. (2018). MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1547. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- Lim, S., Zhao, F., Yoo, R. H., Igori, D., Lee, S. H., Lim, H. S. ve Moon, J. S. (2014). Characteristics of a Lettuce mosaic virus isolate infecting lettuce in Korea. *Plant Pathology Journal*, 30(2), 183-187. <https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.12.2013.0120>
- Muhire, B.M., Varsani, A. ve Martin, D. P. (2014). SDT: a virus classification tool based on pairwise sequence alignment and identity calculation. *Plos One*, 9(9), 0108277. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108277>
- Nebreda, M., Moreno, A., Pérez, N., Palacios, I., Seco-Fernández, V. ve Fereres, A. (2004). Activity of aphids associated with lettuce and broccoli in Spain and their efficiency as vectors of Lettuce mosaic virus. *Virus Research*, 100, 83-88. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2003.12.016>
- Pavan, M. A., Krause-Sakate, R., Silva, N., Zerbini, F. M. ve Gall, O. L. (2008). Virus Diseases of Lettuce in Brazil. *Plant Viruses*, 35-40.

- Revers, F., Yang, S. J., Walter, J., Souche, S., Lot, H., Le Gall, O., Candresse, T. ve Dunez, J. (1997). Comparison of the complete nucleotide sequences of two isolates of lettuce mosaic virus differing in their biological properties. *Virus Research*, 47(2), 167-177. [https://doi.org/10.1016/S0168-1702\(96\)01411-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1702(96)01411-6)
- Sastry S. K. ve Zitter T. A. (2014). Management of virus and viroid diseases of crops in the tropics. *Epidemiology and Management*, 2 149–480. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7820-7_2
- Tao, Z., Jiong, C. ve JianPing, C. (2002). Complete sequence analysis of a Chinese isolate of lettuce mosaic virus. *Chinese Journal of Virology*, 18(1), 66-70.



Developing Financial Forecast Modeling With Deep Learning On Silver/Ounce Parity

Adem Üntez^{1*}, Mümtaz İpek²

¹Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sakarya University, Sakarya, Tur-key

²Department of Industrial Engineering, Engineering Faculty, Sakarya University, Sakarya, Turkey

Article History

Received: 05.08.2021
Accepted: 19.12.2021
Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – In this study, financial prediction models have been developed over the silver / ounce parity using deep learning architectures. LSTM and ARIMA architectures, which are deep learning algorithms, are used. By loading the train-ing and test data into the established algorithms, the system was learned and a graphical estimation was requested on the silver / ounce parity for the next 10 days.

Written algorithms can produce different results each time they are run. However, in the graphs we have taken as an example, the graph created with the ARIMA architecture has produced a more realistic result by specifying a range and making an upward forecast. The prediction chart we obtained with the LSTM architecture did not create a much decrease or upward forecast. However, as a feature of the LSTM algorithm, it clearly predicted the daily closing values, and did not specify an estimation as a range and direction as in the study with the ARIMA architec-ture. It should not be forgotten that these algorithms are dynamic and can give different results in predictions even when they are run with the same data.

According to the results obtained in the research, although the LSTM architecture clearly stated the daily closing values as numbers, the estimation study made with the ARIMA architecture produced a result closer to the graph in terms of both interval and direction.

Keywords – Artificial intelligence, deep learning, financial forecasting, machine learning, silver

1. Introduction

With the introduction of computers into our lives, we have transferred many tasks from human power to machine power. From the simplest calculator to assembly line production systems managed by robots, machines and computers make our lives easier. With the foundations of artificial intelligence laid by Alan Turing during World War II, computers became much more functional and began to perform some activities similar to intelligent living things. There are many areas that artificial intelligence affects. recommender systems; They are systems used in social media and online sites that offer new content suggestions based on users' past behaviour. There are systems that allow translation from one language to another, which is called machine translation. Artificial intelligence is used in the field of signal processing, which performs tasks such as sound and image processing and interpretation. Finally, regression analysis; It enables the formation of predictive models for the future by evaluating the past data. In this regard, the consistency and sufficient number of numerical data in economic, financial or any other field increases the reliability of the analysis.

Machine learning and deep learning emerged after the idea of artificial intelligence. Machine learning is considered as a kind of artificial intelligence that can output even unprogrammed results. In 1959, Arthur Samuel defined machine learning as “the ability to learn outcomes for which machines are not specifically programmed”. While machine learning processes in a single layer, deep learning processes in multiple lay-

¹ untezadem@gmail.com Orchid Id: 0000-0002-4059-1488

² ipek@sakarya.edu.tr Orchid Id: 0000-0001-9619-2403

*Corresponding Author

ers. In machine learning, you set the parameters so that an input can be defined. Deep learning, on the other hand, creates its own rules by determining its own parameters. In this case, deep learning algorithms can identify the differences in the entered data that cannot be perceived by human senses.

Deep learning started to make a name for itself in 2010 with the development of an artificial neural network model called “AlexNet” by Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever and Geoffrey E. Hinton from the University of Toronto. Deep learning, to define simply, is the name we give to training multi-layer artificial neural networks with an algorithm called “backpropagation”. ([Krizhevsky, 2012](#)) Deep learning models are based on the data on which they are trained. It shows great success in applications such as classification, regression analysis and estimation in time series. By using these models, it is possible to make future financial forecasts in many areas such as the stock market, precious metals and crypto markets. There are many deep learning models used for this purpose, and the success rates of each differ according to many variables such as the data set used, the time interval or the technique applied.

In today’s economic world, people want to increase their existing capital by evaluating different investment areas. Metals such as gold, silver and platinum, which are accepted all over the world, experience fluctuations in their prices globally and investors want to earn profits by evaluating these products. Technical and fundamental analysis methods are used for graphical direction estimation of these products. In addition, with the widespread use of deep learning methods, different methods have been put into practice for graphical direction estimation.

Machine learning can be considered as a subset of artificial intelligence. Machine learning can be defined as a model that can make decisions or make predictions even though it is not fully programmed to perform a task using a sample dataset called “training data”. Deep learning can be considered as a subset of machine learning. Although not very different from each other, the fields of study are the same, but artificial neural networks used in deep learning have a structure that mimics a biological nerve cell. A nerve cell makes an inference by comparing the information it has received with previous information. Deep learning algorithms analyze information by labeling and assigning elements such as a human brain to various categories ([Jakhar & Kaur, 2009](#)).

There are basically 3 types of machine learning algorithms: Supervised, semi supervised and unsupervised. For supervised learning, a training set with inputs and outputs is fed into the algorithm, accompanied by a supervisor, so that meaningful results are obtained. Based on machine-learned relationships, it can make assumptions for a sample that has never been introduced ([Mohri et al, 2012](#)). Support vector machines, linear regression, logistic regression, naive bayesian classifiers, decision trees, k-nearest neighbor algorithms and artificial neural networks are examples of frequently used supervised learning algorithms ([Russell ve Norvig, 2010](#)). In the training set used in the semi-supervised learning method, there are labeled and unlabeled data as in both supervised and unsupervised learning methods. This method is used when labeling all data is difficult and costly. Semi-supervised learning method can be used to solve problems such as regression, classification and sequencing. Unsupervised learning is the algorithms in which only the inputs are given to the system as a training set, and the output and labeling information is not given. It is not necessary to have a supervisor during training to the system. The system using the data tries to perform operations such as classification and clustering by examining the input-output relations itself ([Mohri et al, 2012](#)).

Deep learning algorithms can be considered as a sub-branch of artificial intelligence and machine learning terms. Deep learning, inspired by the human brain structure and the working principle of nerve cells, is a kind of machine learning. As with biological nerve cells, artificial neurons receive input signals, collect and process them and transmit them to the outputs. ([Şişmanoğlu et al., 2019](#)) Deep learning uses many layers of nonlinear processing units for feature extraction and transformation. Each successive layer accepts the output of the previous layer as input ([Şeker et al., 2017](#)).

LSTM and ARIMA architectures are the most used algorithms to predict future of time series models. ARIMA architecture is a type of statistical models for forecasting time series data ([Box and Jenkins, 1970](#)). Non-stationary time series is made stationary by using finite differencing of the data in ARIMA models. ARIMA is an acronym that represents AutoRegressive Integrated Moving Average. LSTM deep learning algorithm, developed by [Hochreiter and Schmidhuber \(1997\)](#) allows the preservation of the weights that are forward and back-propagated through layers. The network can continue to learn over many time steps

by maintaining a more constant error. Thus, the network can be used to learn long term dependencies. An LSTM cell contains the forget and remember gates which allow the cell to determine what information to prevent or pass based on its strength and importance (Kingma and Ba, 2018)

Bingol et al. has made similar study on gold price prediction and has found that ARIMA architecture has better results among other future prediction models. Another research made a comparison between ARIMA and LSTM architectures and had an estimation on stock market graphs. The study has shown that LSTM architecture was superior to ARIMA (Namin and Namin, 2018). Alpay's research article has also used LSTM architecture to predict USD/TRY price for future. The study reveals that specific epoch and batch size values can make a successful prediction (Alpay, 2020).

Most of the recent studies focus on the forecasting of the gold prices ignoring the forecasts of other precious metals. For this reason, this study includes the forecasting of silver prices by using LSTM and ARIMA methods. Employing the prices of silver, predictive power of the model rises to provide better results for investors who aim to develop their portfolio and make more profitable investments.

In our study, first of all, silver/ounce parity data were obtained between 01.01.2018 and 12.04.2021. These data were used for testing. The obtained data were normalized. These data were taught to the LSTM and ARIMA deep learning algorithms used in the application. Then, the forecast values for the dates 13.04.2021 and 21.04.2021 were produced with two algorithms. Then, the performance of these estimations was evaluated using MSE and RMSE performance criteria.

2. Materials and Methods

In our study, firstly, data such as daily opening, closing, highest, lowest and silver/ounce parity values were obtained for the time period between 01.01.2018 and 12.04.2021. The source of the dataset is a website and the link is as follows: <https://eatradingacademy.com/software/forex-historical-data/>. You can use the following link to access the entire dataset: https://raw.githubusercontent.com/SnnUntz/Data/main/XAGUSD_D1.csv Only the 10-day portion of all data is shown in Table 1.

Table 1

Used silver/ounce data

Date	Open	High	Low	Close	Volume
2013-01-01	30.294	30.337	30.178	30.203	60
2013-01-02	30.197	31.490	30.193	31.033	1527
2013-01-03	31.042	31.183	29.981	30.102	1495
2013-01-04	30.100	30.264	29.208	30.205	1646
2013-01-06	30.193	30.237	30.139	30.170	64
2021-04-07	25.154	25.266	24.843	25.145	1596
2021-04-08	25.142	25.608	24.951	25.389	1641
2021-04-09	25.394	25.492	24.971	25.191	1453
2021-04-11	25.170	25.253	25.154	25.235	118
2021-04-12	25.235	25.264	24.694	24.795	1552

After downloading the data, it is prepared for use in deep learning with LSTM and ARIMA algorithms. During the preparation phase, the data were normalized to be between 0 and 1. After preprocessing, the algorithms to be used for estimation were selected.

With its ability to remember both long term and short-term values, the LSTM models have proved financially rewarding for the treatment of time series, thereby becoming the preferred Deep Learning tool for time series analysis (Sadefo Kamdem et. al., 2020). For this reason, the LSTM algorithm was used in our study.

The Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) and its variants are the most used in the literature for forecasting stock price series (Aamir and Shabri, 2018). These have indicated that the ARIMA model has a strong predictive potential in the short term and has the ability to compete favorably with existing stock price prediction tools (Ariyo et. al., 2014). For this reason, the second algorithm used in our study was chosen as ARIMA.

2.1. Prediction Model Developed Using LSTM Architecture

Long and Short Term Memory is a variation of RNN and are known to learn problems with long-range temporal dependencies, so RNNs are sometimes replaced with LSTMs in MT networks (Hochreiter, S. and Schmidhuber, 1997). LSTMs also have this chain-like structure, but the structure of the repeating module is different from RNN. In place of a single neural network layer, there are four layers in a module. These layers interact within the same modules as well as with other modules for learning (Saini and Sahula, 2018) A typical structure of LSTM module is shown in Figure 1.

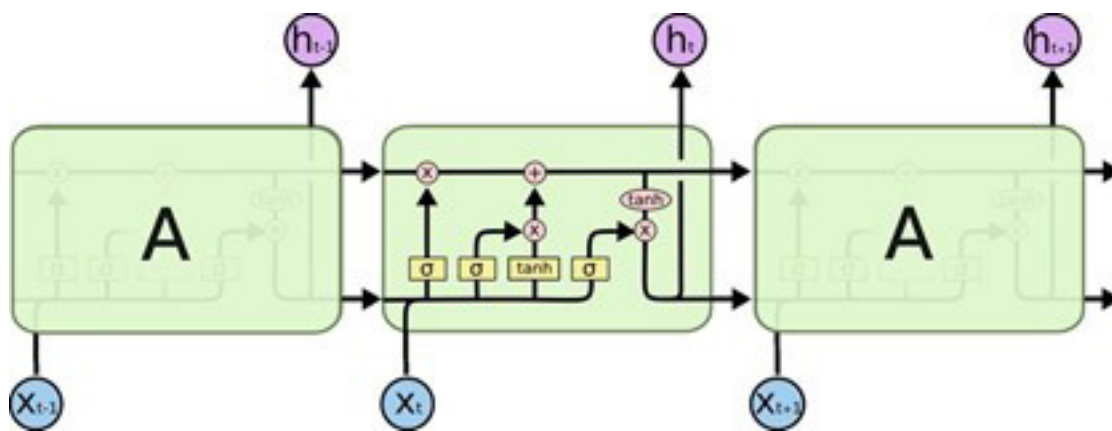


Figure 1. The repeating module in an LSTM contains four interacting layers (Saini and Sahula, 2018)

The algorithm, which obtains the data that needs to be processed through the link we have added, has only used the data since 2018 and has been deemed sufficient. The loaded and processed data is shown at Figure 2.

Date	Close
2018-01-01	17.004
2018-01-02	17.191
2018-01-03	17.090
2018-01-04	17.166
2018-01-05	17.187
...	...
2021-04-07	25.145
2021-04-08	25.389
2021-04-09	25.191
2021-04-11	25.235
2021-04-12	24.795

1020 rows x 1 columns

Figure 2. Loaded data for the LSTM algorithm

As can be seen, the closing value was taken from the data and 1020 rows of data were loaded as of 1.1.2018. Our normalized graph is as shown at Figure 3.



Figure 3. Normalized silver/ounce graph for LSTM architecture

As training data, the last 30 days of data were processed for every 10-day chart. It is programmed to make a 10-day forecast for the future.

In the algorithm we use, it is stated that the closer the loss values are to each other, the better the result will be. In the model we applied, the loss and accuracy values are given as [Figure 4](#).

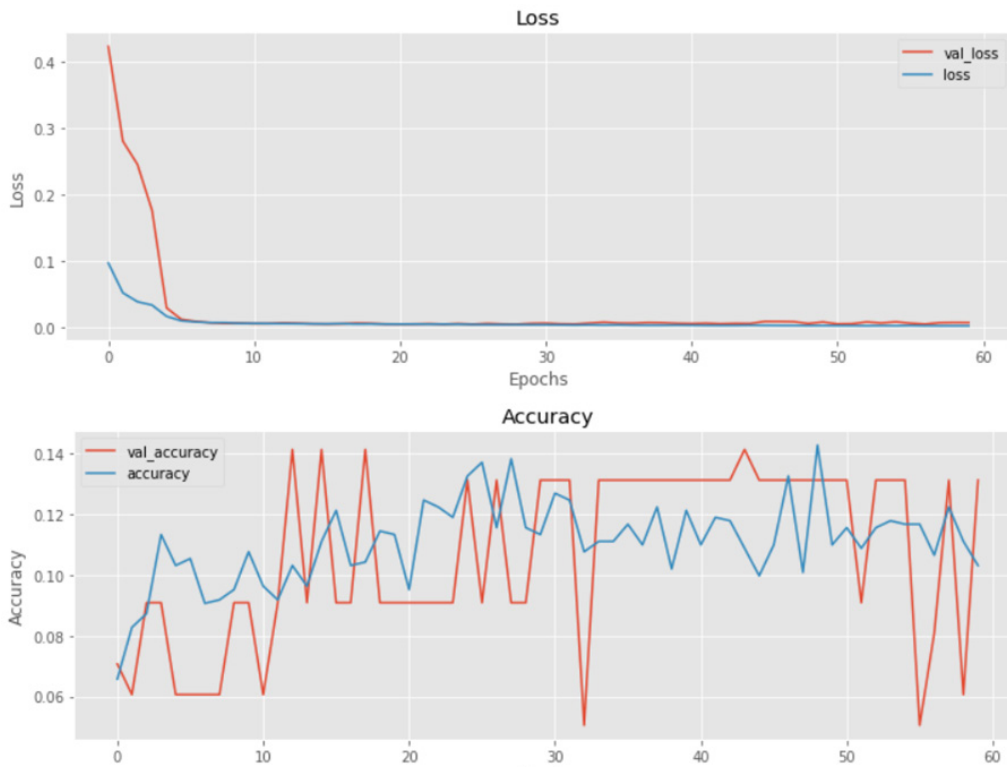


Figure 4. Loss and accuracy values for the LSTM algorithm

The forecast made from the test data and the actual data graph for the last 10 days are as [Figure 5](#) It is seen that mostly consistent results are given. After the test estimation, the algorithm is run for the actual estimation.



Figure 5. Test prediction graph for LSTM algorithm

We want to create a forecast graph for 10 days ahead from the last day on the data fed into the system. The daily closing values for the forecast graph made by the algorithm and the entire graph are as [Figure 6](#) and [Table 2](#).

Table 2.

Daily closing values in the forecast made with the LSTM algorithm

Date	Closing Price
2021-04-12	25.102
2021-04-13	24.966
2021-04-14	24.995
2021-04-15	24.859
2021-04-16	25.066
2021-04-17	24.874
2021-04-18	24.879
2021-04-19	24.804
2021-04-20	25.188
2021-04-21	24.782

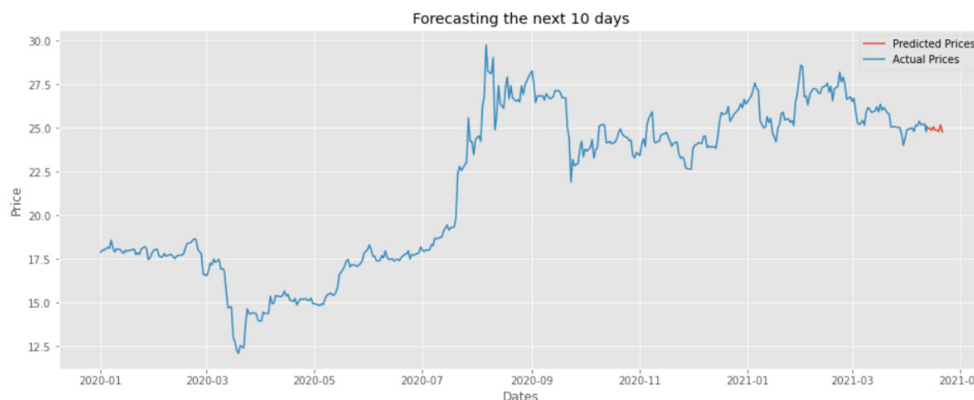


Figure 6. 10-day forecast model graph with LSTM algorithm

The details are not clear as the chart we obtained represents a long period of time. [Figure 7](#) is the graphic where we can see the details more closely.

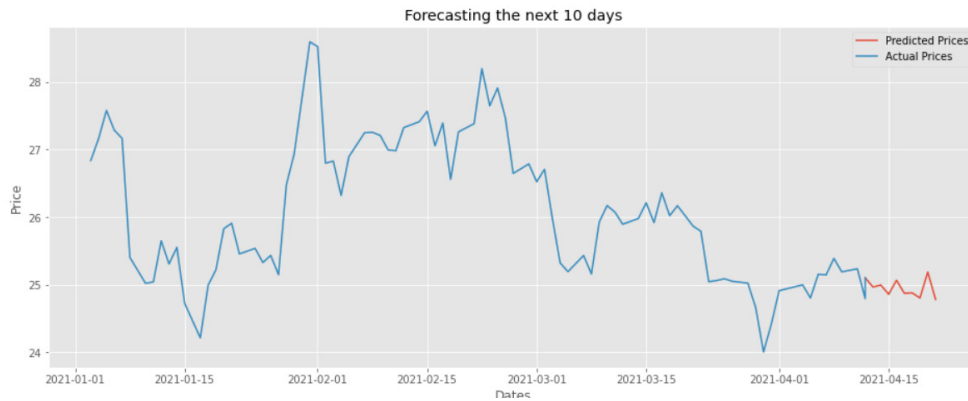


Figure 7. LSTM algorithm detail graph

2.2. Prediction Model Developed Using ARIMA Architecture

The time series model using the Box-Jenkins method was proposed by [Box and Jenkins \(1970\)](#). This approach is widely used in the literature due to its simplicity and good results. Often this method is referred to as the ARIMA method. The ARIMA method is quite different from other methods as the prediction series does not contain explanatory independent variables. When creating an ARIMA model, the current series must be stationary. If the series is not stationary, the difference of the series should be taken before using the method ([Gahirwal, 2013](#)).

In order to construct the best ARIMA model for exchange rate time series, the autoregressive (p) and moving average (q) parameters are need to be identified for an effective model. We decided to determine the best model based on Bayesian Information Criterion (BIC) for various orders of autoregressive (p) and moving average (q) terms keeping integrated term (d) as order 1 ([Babu and Reddy, 2015](#)). Since silver/ounce parity time series was used in this study, the parameters in ARIMA were determined in the same way.

The data source we used for the LSTM architecture was also used for the ARIMA architecture over the same link. [Table 3](#), showing the last 5 days of the data fed into the system is as follows. It also extends from 01.01.2018 to 12.04.2021.

Table 3.

Data table fed into the system for ARIMA architecture

	Date	Open	High	Low	Close	Volume
2566	2021-04-07	25.154	25.266	24.843	25.145	1596
2567	2021-04-08	25.142	25.608	24.951	25.389	1641
2568	2021-04-09	25.394	25.492	24.971	25.191	1453
2569	2021-04-11	25.170	25.253	25.154	25.235	118
2570	2021-04-12	25.235	25.264	24.694	24.795	1552

The algorithm will perform training and testing operations on this table based only on the closing values. The silver/ounce chart created according to the closing values of the system is as [Table 4](#). Our graph that expresses the daily change in price on the silver/ounce chart is as [Figure 8](#).

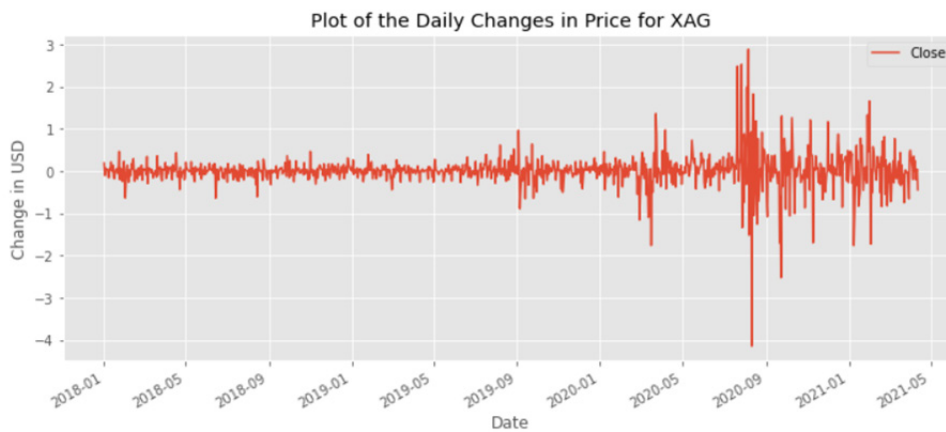


Figure 8. Silver/ounce daily price change chart for ARIMA architecture

Table 4.

Daily closing values in the forecast made with the ARIMA algorithm

Date	Closing price
2021-04-12	25.121
2021-04-13	24.829
2021-04-14	24.815
2021-04-15	24.840
2021-04-16	24.834
2021-04-17	24.852
2021-04-18	24.851
2021-04-19	24.866
2021-04-20	24.867
2021-04-21	24.880

3. Results and Discussion

Many architectures and algorithms are used for financial forecasting and they are developing day by day. Based on the literature research, LSTM and ARIMA architectures, which are two of the architectures that give the best results today, have been the main subject of our study and they were asked to make a 10-day forecast by processing the training and test data on the silver / ounce graph. In this context, starting from 01.01.2018, daily opening, closing, low, high and volume values for the silver/ounce chart were obtained and fed into the algorithms written for both architectures and the desired graphics were created.

Forecast values were produced by LSTM and ARIMA algorithms for the dates 12.04.2021 - 21.04.2021. The relationship between the estimated values produced and the actual values was examined. It is known that the algorithm that produces values close to the real values performs better. Many criteria can be used as performance criteria.

Performance measure is forecast accuracy. The measures are Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Squared Error (RMSE). The MAE is a measure of the difference between two continuous variables. The MAE is the average vertical distance between each actual value and the line that best fits the data. MAE is also the average horizontal distance between each data point and the best-fit line. Since the MAE value is easily interpretable, it is frequently used in regression and time series problems. The formula expression of MAE is as shown at [3.1](#) and [3.2](#).

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |e_j| \quad (3.1)$$

$$e_j^2 = (\text{Actual}_j - \text{Predicted}_j)^2 \quad (3.2)$$

It is a quadratic metric that measures the magnitude of error of a machine learning model, which is often used to find the distance between the predicted values of the estimator and the true values. The RMSE is the standard deviation of the estimation errors (residues). That is, residuals are a measure of how far the regression line is from the data points; The RMSE is a measure of how widespread these residues are. The formula expression of RMSE is as shown at [3.3](#).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n e_j^2}{n}} \quad (3.3)$$

Table 4.

MAE and RMSE values for LSTM and ARIMA algorithms

	MAE	RMSE
LSTM	733	870
ARIMA	811	920

As can be seen from the MAE and RMSE performance criteria, LSTM outperforms the ARIMA algorithm. The LSTM algorithm is relatively 5.74% and 10.64% better than the ARIMA algorithm in terms of RMSE and MAE, respectively.

4. Conclusion

Today, both financial markets and artificial intelligence gain importance day by day and both are affected by the world's economic situation and technological developments and meet at a common point. In the study we have done, it is aimed to predict which direction the graph will go by creating a forecasting model on silver, which is the most popular commodity along with gold. In this study, we created a prediction model based on the silver/ounce graph using two deep learning architectures that are used for continuous time series and that we see give the best results. In our study, the MAE and RMSE performance criteria are used to compare LSTM and ARIMA algorithms. According to the performance criteria, LSTM outperforms the ARIMA algorithm. The LSTM algorithm better than the ARIMA algorithm in terms of RMSE and MAE. It is possible to obtain different results by making changes in the written coding. Again, the results will change when we change deep learning layers or want to generate predictions for different time periods. Since no artificial intelligence or deep learning algorithm can know the future one hundred percent, trying to make predictions with high consistency has been the main subject of deep learning and financial forecasting studies. Our study shows that it is possible to make financial forecasts for the future with appropriate deep learning architectures as the main idea. In the future, it will be possible to make financial forecasts with higher consistency by using more advanced programming languages or algorithms.

Author Contributions

Adem Üntez: Analyzed the study, gathered the data, run algorithms and evaluated the conclusions.

Mümtaz İpek: Checked the steps of the study.

Conflicts of Interest

The authors declared no conflict of interest.

References

- Aamir M., Shabri A. (2018) Improving crude oil price forecasting accuracy via decomposition and ensemble model by reconstructing the stochastic and deterministic influences. *Adv Sci Lett.* 2018;24(6):4337–4342. Access: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/asp/asl/2018/00000024/00000006/art00111>
- Ariyo A.A., Adewumi A.O., Ayo C.K. (2014) Stock price prediction using the ARIMA model; *UKSim-AMSS 16th international conference on computer modelling and simulation. IEEE*; 2014. pp. 106–112. DOI: [10.1109/UKSim.2014.67](https://doi.org/10.1109/UKSim.2014.67)
- Babu AS, Reddy SK (2015) Exchange Rate Forecasting using ARIMA, Neural Network and Fuzzy Neuron. *Journal of Stock Forex Trading* 4, 1-5 155 DOI: [10.4172/2168-9458.1000155](https://doi.org/10.4172/2168-9458.1000155)
- Bingol et al., (2020) Gold price prediction in times of financial and geopolitical uncertainty: A machine learning approach. DOI: [10.13140/RG.2.2.31050.39366](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31050.39366)
- Box, G.E.P., Jenkins, G. (1970). Time series analysis, forecasting and control, Holden-day, San Francisco, CA. Access: [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2087370](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2087370)
- Gahirwal, M. (2013). Inter Time series sales forecasting. arXiv preprint Access: <https://arxiv.org/abs/1303.0117>
- Hochreiter, S. and Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8):1735–1780. DOI: [10.1162/neco.1997.9.8.1735](https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735)
- Jakhar D. and Kaur, I. (2019). Artificial intelligence, machine learning and deep learning: definitions and differences. *Clinical and Experimental Dermatology*, 45. DOI: [10.1111/ced.14029](https://doi.org/10.1111/ced.14029)
- Kingma, D.P., Ba, J. (2014). Adam: A method stochastic optimization. *3rd International Conference for Learning Representations, San Diego, 2015* Access: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>
- Krizhevsky, A., et al. (2012). Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* 25 (NIPS 2012), sf: 1097-1105. Arslan, B. (2019). DOI: [10.1145/3065386](https://doi.org/10.1145/3065386)
- Mehryar, Mohri, A. R. (2012). Foundations of Machine Learning. Cambridge, UNITED STATES, MIT Press second edition 2018. Access: <https://cs.nyu.edu/~mohri/mlbook/>
- Alpay, Ö. (2020). LSTM Mimarisi Kullanarak USD/TRY Fiyat Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2020 (ARACONF)*, 452-456. DOI: [10.31590/ejosat.araconf59](https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf59)
- Sadefo Kamdem, J., Bandolo Essomba, R., & Njong Berinyuy, J. (2020). Deep learning models for forecasting and analyzing the implications of COVID-19 spread on some commodities markets volatilities. *Chaos, solitons, and fractals*, 140, 110215. DOI: [10.1016/j.chaos.2020.110215](https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110215)
- Saini, Sandeep & Sahula, Vineet. (2018). Neural Machine Translation for English to Hindi. 1-6. *2018 Fourth International Conference on Information Retrieval and Knowledge Management (CAMP)* DOI: [10.1109/INFRKM.2018.8464781](https://doi.org/10.1109/INFRKM.2018.8464781)
- Sima Siami Namini, Akbar Siami Namin. (2018) Forecasting economic and financial time series: arima vs. lstm, Access: <https://arxiv.org/abs/1803.06386>
- Stuart J. Russell, Peter Norvig. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th edition. Prentice Hall Access: <http://aima.cs.berkeley.edu/>
- Şeker, A., Diri, B. & Balık, H. H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri Ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3 (3), 47-64.
- Şişmanoğlu, G., Koçer, F., Önde, M. A. & Sahingoz, O. K. (2020). Derin Öğrenme Yöntemleri ile Borsada Fiyat Tahmini. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 434-445. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.571386>



A Stable and High Accurate Numerical Simulator for Convection-Diffusion Equation

Osman Ünal^{1,*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate Education Institute, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey

Article History

Received: 22.08.2021

Accepted: 22.11.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – This study presents a simulator to obtain numerical solution of convection-diffusion equation. It includes explicit, fully implicit and semi-implicit time discretization techniques. In addition to time discretization techniques, this simulator contains several space discretization methods such as first-order upstream and UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology) techniques. It is observed that the use of UMIST or semi-implicit techniques in the different numerical simulator decreases numerical errors. However, the combination of UMIST and semi-implicit methods is not available in literature. The proposed numerical simulator is suitable for easily using the different combinations of time and space discretization methods. Second objective of this study is to present a novel combination that includes both semi-implicit time discretization technique and UMIST space discretization method to minimize numerical errors namely numerical dispersion and unphysical oscillation. Although UMIST method suppresses unphysical oscillation, it causes a small and undesired oscillation at flood front for very large Courant number. Thirdly, this study proposes a minor modification on the UMIST method to eliminate this unphysical oscillation. The novel combination of modified UMIST method and semi-implicit technique decreases numerical dispersion significantly and suppress unphysical oscillation effectively. Moreover, the numerical result of proposed model is very close to analytical solution.

Keywords – Finite difference method, high-resolution scheme, explicit method, fully implicit method, semi-implicit method

1. Introduction

A great number of physical phenomena and many real processes are effectively modeled by partial differential equations. One of the most widely used types of partial differential equations for describing these physical processes is the unsteady convection-diffusion equation. The convection-diffusion equation is used in simulating transport process (Peng et al., 2013), flow in oil and gas reservoirs (Kurganov & Tadmor, 2000), non-isothermal injection techniques, chemical displacement, miscible displacement and immiscible displacement (Kamalyar et al., 2014), pollutant dispersion in a river estuary (Morton, 2019), etc. Following Equation 1.1 shows one-dimensional form of convection-diffusion equation.

$$D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - v \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1.1)$$

There are two basic way to solve convection-diffusion equation. While one of them is analytical solution, the other is numerical techniques. Nowadays, there is no any analytical solution of multi-dimensional and complex physical systems. Therefore, it is necessary to use numerical techniques for these complicated problems. The finite difference method is one of the most commonly used numerical techniques for solution of convection-diffusion equation. This method has been used for many years due to its simplicity, prac-

¹  osman92unal@gmail.com

*Corresponding Author

ticality and effectiveness. The finite difference method is applied for time discretization or space discretization. There are a number of time and space discretization techniques in literature. However, some of them stand out such as explicit, fully implicit and semi-implicit techniques for time discretization and first-order upstream and UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology) methods for space discretization. Although the explicit method is efficient for some simple conduction problems, it needs stability criteria. Otherwise, it is unstable especially for high Courant number and large time step size. When using the explicit method, the time step size is chosen with care to get well-posed numerical solution. This requirement sets a serious constraint for the explicit method because choosing small time step size causes the simulation time to become quite long. Even though the implicit method is stable for large time step size and high Courant number, it leads to numerical dispersion like the explicit method. On the other hand, second-order accurate semi-implicit method significantly reduces numerical dispersion. One another method to decrease numerical dispersion is to use higher-order space discretization techniques for example UMIST method. However, the combination of semi-implicit and UMIST methods is not available in literature. The objective of this study is to combine second-order accurate semi-implicit method and UMIST technique in order to minimize numerical errors.

The analytical solutions of some one-dimensional systems exist in literature. They are used to validate the reliability of numerical methods. After verification of numerical techniques with analytical solution for simple and one-dimensional problem, proposed numerical techniques may be used for sophisticated and multi-dimensional problems. All numerical methods used in this study are checked with the following analytical solutions.

$$U(x, t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - vt}{2\sqrt{Dt}} \right) + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x + vt}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (1.2)$$

If physical dispersion coefficient is zero, equation 1.2 (Peaceman, 2000) is undefined. The convection-diffusion equation transforms to the transport equation for that cases (cancelling of first term in Equation 1.1). The transport equation is used for convection-dominated fluid flow. The analytical solution of transport or advection equation is described in following Equation 1.3 (Sarraf, 2002).

$$U(x, t) = G(x_0) = G(x - vt) \quad (1.3)$$

In Equation 1.3, $G(x_0)$ refers to initial condition. The exact solution of transport equation depends mainly on initial condition and it may be defined as propagation of all points on the initial condition with the same speed that is constant velocity (Sarraf, 2002).

2. Materials and Methods

The convection-diffusion equation is solved using time discretization and space discretization techniques. While accumulation term (last term in Equation 1.1) is approximated by time discretization methods, convection term (second term in Equation 1.1) and diffusion term (first term in Equation 1.1) are estimated by space discretization techniques. Although there are a number of space and time discretization methods, some of them lead to unacceptable numerical errors. One of the aims of this study is to select best combination of space and time discretization techniques in order to minimize numerical dispersion and suppress unphysical oscillation.

2.1. Time Discretization

Time discretization is applied to transient or unsteady problems and it is also called as temporal discretization. Temporal discretization is the integration of diffusion and convection terms over each time steps. Explicit, implicit and semi-implicit methods are the most widely used approaches to calculate the integral over a time step. The explicit and the fully implicit methods are first-order time discretization

methods and they leads to significant numerical errors namely numerical dispersion. The explicit method gives stable results with numerical dispersion for small Courant number. However, it is not stable for large Courant number. The coefficient of interested grid block central value for previous time step in numerical solution of explicit method must be positive (Versteeg & Malalasekera, 2007) because next time step values are calculated by adding to previous time step values. Following stability criteria must be provided for numerical solution of convection-dominated fluid flow equation using explicit time scheme and first-order upstream space discretization method.

$$U_i^{n+1} = U_i^n - \Delta t \left(v \frac{U_i^n - U_{i-1}^n}{\Delta x} \right) \quad (2.1)$$

The coefficient of at right-hand side in Equation 2.1 must be positive. The following inequality (Equation 2.2) is obtained to provide positive coefficient of.

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{v} \quad (2.2)$$

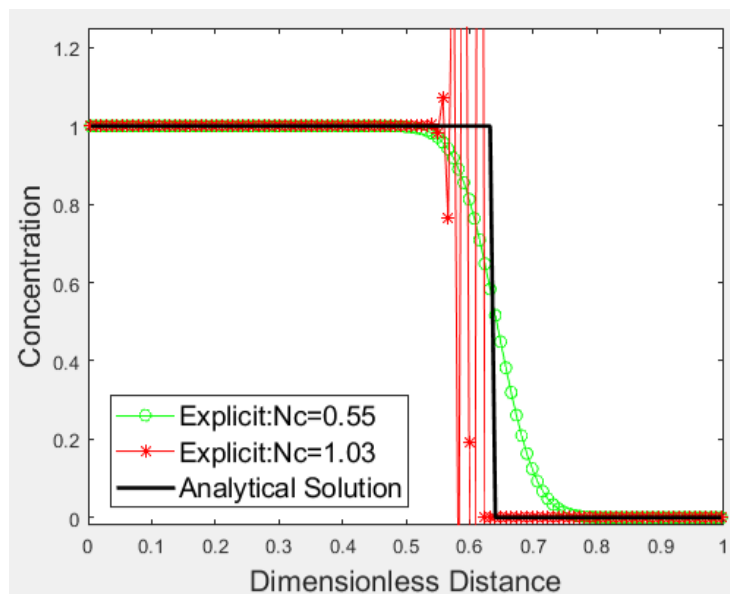


Figure 1. Explicit scheme for first-order upstream method (dx=0.1).

Figure 1 shows numerical solutions of advection equation (physical dispersion is zero, $D=0$) using the explicit time discretization method and first-order upstream space discretization technique for 0.55 and 1.03 Courant number (for both cases space interval are same, $dx=0.1$ and time step sizes are 0.055 and 0.103 for green line with circle and red line with star, respectively). According to Figure 1, the explicit method for small Courant number ($Nc=0.55$) is stable (there is no oscillation) with large numerical dispersion (green line with circle). However, the explicit method is unstable (it has large unphysical oscillation) when Courant number is greater than 1 (red line with star) due to the large time step size ($dt=0.103$). This numerical result is far away from analytical solution and it's not acceptable to model any physical system. This is the main disadvantage of explicit time discretization methods that are not convenient for large time step sizes or large Courant number. The implicit time discretization methods should be used to suppress unphysical oscillation (red line) for large Courant number and higher-order space discretization method should be used to diminish numerical dispersion (green line).

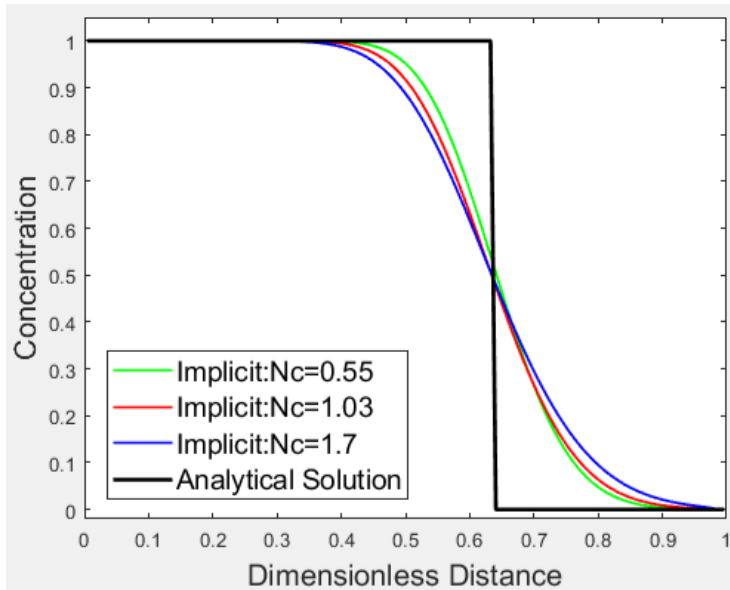


Figure 2. Implicit scheme for first-order upstream method (dx=0.1).

Figure 2 indicates numerical results of fully-implicit scheme and first-order upstream space discretization technique for 0.55, 1.03 and 1.7 Courant number (for both cases space interval are same, dx=0.1 and time step sizes are 0.055, 0.103 and 0.17 for green, red and blue lines, respectively). According to numerical results of Figure 2, increasing of the time step sizes leads to numerical dispersion without any oscillation. The main advantage of fully-implicit method over the explicit scheme is stability. The implicit method is unconditional stable and it can be used even for large time step size and high Courant number. The small time step interval must be selected for explicit method in order to provide stability requirement and obtain meaningful numerical results. The small time step size causes the numerical solution to take quite long. Therefore, the fully-implicit method is used to reduce total simulation time. In spite of the stability advantage of fully-implicit technique, the numerical results in Figure 2 are far from analytical solution due to the numerical dispersion. When time step size or Courant number increases, the numerical dispersion of implicit method becomes greater. Hence, higher-order methods are used to minimize numerical dispersion like semi-implicit time discretization method.

The semi-implicit method called also as Crank-Nicolson technique (Crank & Nicolson, 1947) is second-order accurate approximation and it reduces numerical errors effectively. Following equations show full discretization of convection-diffusion equation using explicit, fully-implicit and Crank-Nicolson method respectively. In Equation 2.3, superscripts n and n+1 refer to current time step and next time step. Subscripts i, i-1/2, i+1/2 are index for nodes, left face value and right face value, respectively. The face values are used to numerically calculate the first derivative.

$$D \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{\Delta x^2} - v \frac{U_{i+\frac{1}{2}}^n - U_{i-\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} = \frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\Delta t} \tag{2.3}$$

$$D \frac{U_{i+1}^{n+1} - 2U_i^{n+1} + U_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2} - v \frac{U_{i+\frac{1}{2}}^{n+1} - U_{i-\frac{1}{2}}^{n+1}}{\Delta x} = \frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\Delta t} \tag{2.4}$$

$$\begin{aligned}
 &0.5 \left(D \frac{U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n}{\Delta x^2} - v \frac{U_{i+\frac{1}{2}}^n - U_{i-\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} \right) \\
 &+ 0.5 \left(D \frac{U_{i+1}^{n+1} - 2U_i^{n+1} + U_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2} - v \frac{U_{i+\frac{1}{2}}^{n+1} - U_{i-\frac{1}{2}}^{n+1}}{\Delta x} \right) = \frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\Delta t}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

The left-hand side terms in Equations 2.3, 2.4 and 2.5 can be expressed as a function of time namely F(t). The Figure 3 shows numerical integral of Equations 2.3, 2.4 and 2.5 respectively.

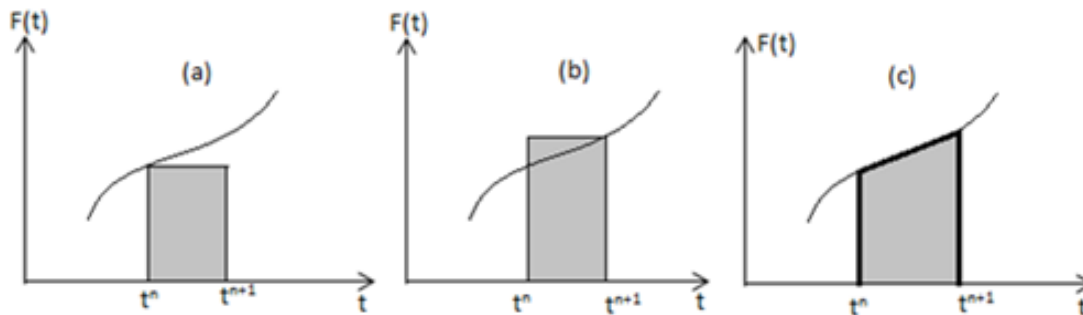


Figure 3. Integral approximations for explicit method (a), implicit method (b) and semi-implicit method (c).

In Figure 3, it's assumed that black curved line is a continuous function. The objective in numerical integration is to determine the area under the continuous function between t^n and t^{n+1} time intervals. According to Figure 3, the integral approximations of explicit and fully-implicit methods have significant numerical errors at lower side and upper side of the function. Therefore, these techniques lead to numerical dispersion. However, numerical integration of semi-implicit method is closer to analytical integration. Hence, it reduces numerical dispersion seriously (see the pink line in Figure 4). The numerical results in Figure 4 are designed for large Courant number ($Nc=1.7$) in order to indicate the effect of large time step sizes. It's assumed that space ($dx=0.1$) and time ($dt=0.17$) intervals are same for both cases to compare different types of time discretization. In Figure 4, blue line is first-order time discretization method and it causes large numerical dispersion. It has large numerical errors due to ineffective numerical integration technique. However, the pink line is second-order method and it decreases numerical errors significantly. That's why it's closer to analytical solution compared to first-order technique.

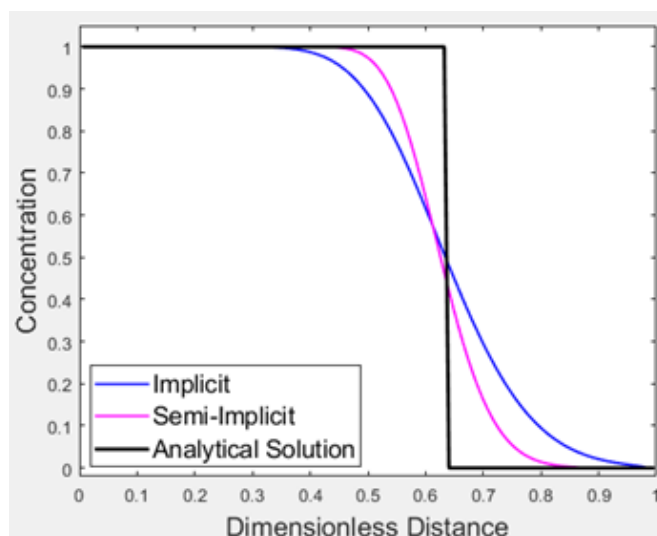


Figure 4. Implicit and semi-implicit scheme for first-order space method ($Nc=1.7$, $dx=0.1$ and $dt=0.17$).

2.2. Space Discretization

The space discretization techniques are applied to convection and diffusion terms. The diffusion term is discretized using second-order central difference method and only grid block or node central values are required to calculate numerical result of diffusion term. On the other hand, space discretization of convection term depends on grid block face values. However, there is no any exact knowledge about face values in numerical calculation. It may be predicted using some techniques. Therefore, the numerical errors arise from these approximations. Equations [2.6](#) and [2.7](#) show first-order upstream method ([Ertekin et. al., 2001](#)) and TVD (Total Variation Diminishing) technique ([Harten, 1984, Sweby, 1984](#)) respectively.

$$U_{i+\frac{1}{2}}^n \approx U_i^n \quad (2.6)$$

$$U_{i+\frac{1}{2}}^n \approx U_i^n + \frac{1}{2} \varphi(r)[U_i^n - U_{i-1}^n] \quad (2.7)$$

The second term at right-hand side in Equation [2.7](#) is anti-diffusive term. It decreases numerical dispersion. The flux limiter for UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology) technique is described by following Equation [2.8](#) that is an extension of the Quick method ([Leonard, 1979](#)).

$$\varphi(r) = \min\left(2, 2r, \frac{3r+1}{4}, \frac{r+3}{4}\right) \quad (2.8)$$

In Equation [2.8](#), r is gradient ratio and it is defined as following Equation [2.9](#) ([Wolcott et. al., 1996](#)).

$$r = \frac{U_{i+1}^n - U_i^n}{U_i^n - U_{i-1}^n} \quad (2.9)$$

The UMIST technique reduces numerical dispersion effectively because it's higher-order space discretization method. The first-order upstream space discretization method and the UMIST space discretization technique with the implicit time discretization method has been used in [Figure 5](#). It is assumed that space interval is 0.15 ($dx=0.15$), time interval is 0.1 ($dt=0.1$) and Courant number is 0.67 ($Nc=0.67$). According to [Figure 5](#), the UMIST method gives sharper flood front than first-order upstream technique and it is closer to analytical solution. The use of higher-order technique (UMIST) decreases the space discretization errors. However, the numerical solution using UMIST method (third-order in space discretization) and implicit scheme (first-order in time discretization) still has numerical dispersion due to the time discretization errors. The combination of the semi-implicit method (second-order in time discretization) and the UMIST technique may bring the numerical solution closer to the analytical solution.

3. Results and Discussion

In this study, the importance of the use of higher-order finite difference technique is investigated. Nowadays, the explicit scheme ([Lundgren & Mattsson, 2020](#)) is still used to solve partial differential equation. However, it is unstable for large Courant number and large time step sizes (see red line in [Figure 1](#)). The small time step sizes must be used for the explicit scheme to obtain stable numerical results (see

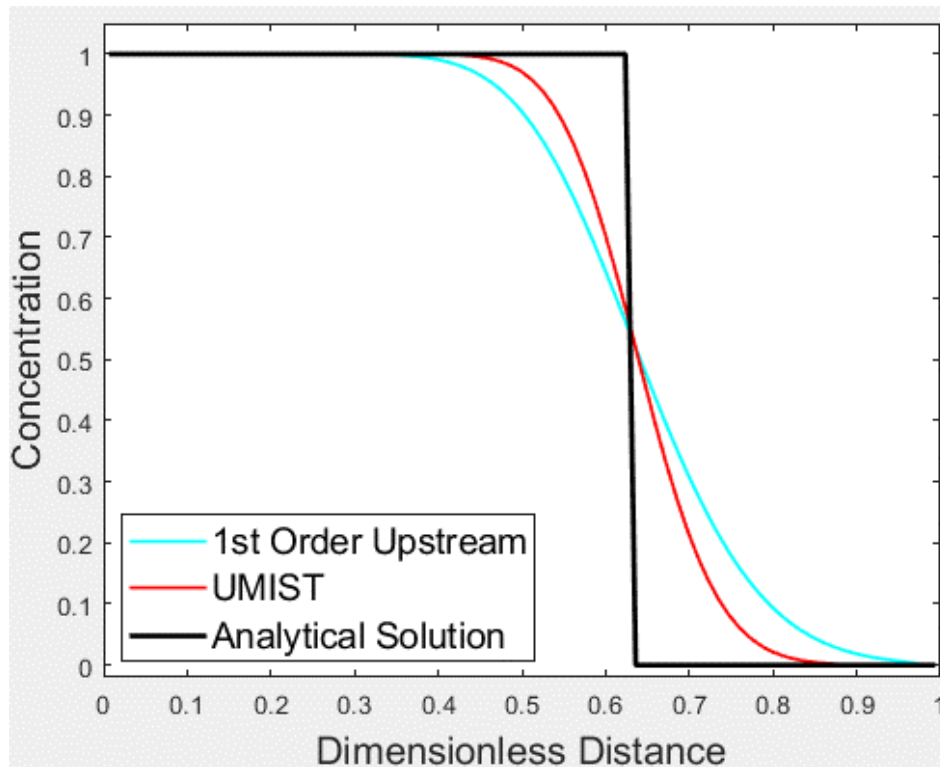


Figure 5. First-order upstream and UMIST methods for implicit scheme ($N_c=0.67$, $dx=0.15$ and $dt=0.1$).

green line in [Figure 1](#)). The use of small time step sizes causes quite long simulation time. Therefore, the higher-order techniques in space and time discretization for large time step sizes and large space intervals must be used to decrease total simulation time and obtain more accurate numerical results. It is observed that the application of UMIST space discretization method (third-order in space discretization) to the semi-implicit time discretization technique reduces numerical errors because semi-implicit method is second-order scheme. Moreover, proposed model is very stable and it is very close to analytical solution (see red line in [Figure 6](#)). This proposed model works properly for moderate Courant number (lesser than 1) and it diminish numerical dispersion impressively. Nevertheless, the novel combination of the UMIST method with the semi-implicit technique causes to a small unphysical oscillation at the flood front (see red line in [Figure 6](#)). In this study, it was observed that reducing the upper limit of the UMIST flux limiter function suppresses these undesired oscillations. In [Figure 6](#), it is assumed that space interval is 0.1 ($dx=0.1$), time interval is 0.13 ($dt=0.13$) and Courant number is 1.3 ($N_c=1.3$). [Figure 6](#) shows UMIST method with 2.0 and 1.3 upper limits for semi-implicit time discretization method. The proposed model (blue circles) minimizes numerical dispersion without any unphysical oscillation even for large Courant number.

It is important note that please use Supplementary material 1 and Supplementary material 2 or Supplementary material 3 in order to obtain all figures in this study.

4. Conclusion

This study has presented a numerical simulator for convection-diffusion equation. This simulator includes explicit, fully-implicit and semi-implicit time discretization techniques. It has been observed that explicit method requires the stability criteria and it is unstable for large Courant number. The time step size must be reduced to provide stability criteria for explicit scheme. However, decreasing time step size causes long simulation time. The fully-implicit method has been used because it is stable even for large Courant number. Despite the stability advantage of fully-implicit method, it is first-order accurate scheme like explicit method. Thus, the implicit method leads to numerical dispersion for large time step size. The second-order accurate semi-implicit or Crank-Nicolson time discretization method has been selected to minimize numerical dispersion. The proposed numerical simulator has also several space discretization

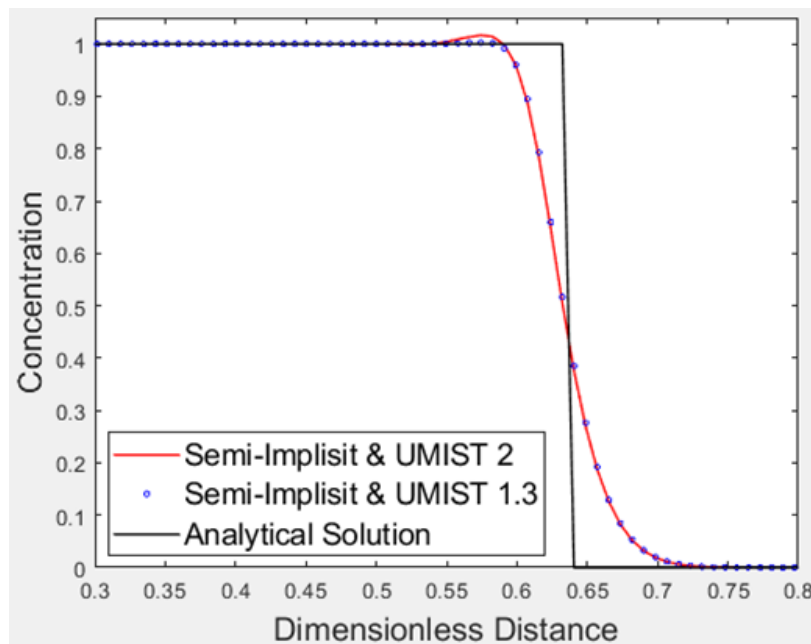


Figure 6. Application of UMIST methods to semi-implicit scheme ($N_c=1.3$, $dx=0.1$ and $dt=0.13$).

methods. The first-order upstream method is a scheme without any unphysical oscillation. Nonetheless, it is first-order method and it has large numerical dispersion. Although the higher-order UMIST method decreases numerical dispersion successfully, it has been noticed that the combination of UMIST method with semi-implicit technique causes a small unphysical oscillation at flood front. In this study, it is proposed to decrease upper limit of UMIST flux limiter function in order to suppress this undesired oscillation. The proposed model has minimized numerical dispersion without any unphysical oscillation. In this study, it is observed that this novel combination of modified UMIST method and semi-implicit technique minimizes the most important numerical errors namely numerical dispersion and unphysical oscillation and it is very close to analytical solution. Moreover, the novel combination method can be easily applied to all type of convection-diffusion problem especially for most recent physical problems such as the simulating miscible displacement, immiscible displacement, chemical displacement and non-isothermal injection, the contaminant and sediment movement in the rivers, lakes and groundwater aquifers, simulating transport and flow in oil and gas reservoirs, particularly in two-phase flow. Finally, all Matlab codes related to the numerical simulator have been added to Supplementary Materials in order to facilitate other researchers' work.

Author Contributions

Author O.Ü.: Performed all the study and has currently written the paper.

Conflicts of Interest

The author declares no conflict of interest.

Symbols

U	= concentration or interested value
D	= physical dispersion
N_c	= courant number
dt	= timestep
dx	= space interval
v	= velocity

Subscripts

i = index for nodes in the x direction

$i-1/2$ = index for left face values

$i+1/2$ = index for right face values

Superscripts

n = old timestep

$n+1$ = current timestep

References

- Crank, J., & Nicolson, P. (1947, January). A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat-conduction type. In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* (Vol. 43, No. 1, pp. 50-67). Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0305004100023197>
- Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H., & King, G. R. (2001). *Basic applied reservoir simulation* (Vol. 7). Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers. Retrieved from: <https://store.spe.org/Basic-Applied-Reservoir-Simulation--P12.aspx>
- Harten, A. (1984). On a class of high resolution total-variation-stable finite-difference schemes. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 21(1), 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1137/0721001>
- Kamalyar, K., Kharrat, R., & Nikbakht, M. (2014). Numerical Aspects of the Convection–Dispersion Equation. *Petroleum science and technology*, 32(14), 1729-1762. DOI: <https://doi.org/10.1080/10916466.2010.490802>
- Kurganov, A., & Tadmor, E. (2000). New high-resolution central schemes for nonlinear conservation laws and convection–diffusion equations. *Journal of Computational Physics*, 160(1), 241-282. DOI: <https://doi.org/10.1006/jcph.2000.6459>
- Leonard, B. P. (1979). A stable and accurate convective modelling procedure based on quadratic upstream interpolation. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 19(1), 59-98. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(79\)90034-3](https://doi.org/10.1016/0045-7825(79)90034-3)
- Lundgren, L., & Mattsson, K. (2020). An efficient finite difference method for the shallow water equations. *Journal of Computational Physics*, 422, 109784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2020.109784>
- Morton, K. W. (2019). *Numerical solution of convection-diffusion problems*. CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203711194>
- Peaceman, D. W. (2000). *Fundamentals of numerical reservoir simulation*. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1137/1021068>
- Peng, Y., Liu, C., & Shi, L. (2013, August). Solution of Convection-Diffusion Equations. In *International Conference on Information Computing and Applications* (pp. 546-555). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-53703-5_56
- Sarra, S. A. (2003). The method of characteristics with applications to conservation laws. *Journal of Online mathematics and its Applications*, 3, 1-16. Retrieved from: <http://www.scottsarra.org/math/papers/characteristicsSarra.pdf>
- Sweby, P. K. (1984). High resolution schemes using flux limiters for hyperbolic conservation laws. *SIAM journal on numerical analysis*, 21(5), 995-1011. DOI: <https://doi.org/10.1137/0721062>
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Pearson education. Retrieved from: <https://www.pearson.com/store/p/an-introduction-to-computational-fluid-dynamics-the-finite-volume-method/P100001392465/9780131274983>
- Wolcott, D. S., Kazemi, H., & Dean, R. H. (1996, October). A practical method for minimizing the grid orientation effect in reservoir simulation. In *SPE annual technical conference and exhibition*. OnePetro. DOI: <https://doi.org/10.2118/36723-MS>

A Stable and High Accurate Numerical Simulator for Convection-Diffusion Equation

Osman Ünal^{1,*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate Education Institute, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Turkey

Supplementary Materials

Supplementary material 1. Sub-function to run the numerical simulator.

```
function y=TVD(x)
% Select Space Discretization Method (SDM)
%For First Order Upstream Method->SDO=1
%For UMIST->SDO=30
SDO=30;
if SDO==1%First Order Upstream
y=0;
elseif SDO==30%UMIST 1.3
y=max(0,min([2,2*x,(3*x+1)/4,(x+3)/4]));
end
end
```

Supplementary material 2. The numerical simulator.

Note: In order to run Matlab codes in *Supplementary material 2*, it's required to get "TVD.m" Matlab file. It can be obtained using *Supplementary material 1* The name of the Matlab file must be "TVD" without quotes. Secondly, designed TVD.m Matlab file and the numerical simulator mfile (in *Supplementary material 2*) must be at the same path. Thirdly, if you don't want to use *Supplementary material 1* and *Supplementary material 2* in order to run Matlab file, you can use *Supplementary material 3*.

```
tic; clc; clearvars;
%%INPUT DATA
t=7.7;%Total simulation time
dt=0.13;%Time interval
I=120+1;%Number of points at i-direction
dx=0.1;%Space interval
X=dx/2:dx:I*dx-dx/2;%Distance
W=1;%W=1(upstream) W=0.5(mid-point) W=0(downstream)
Q=0.5;%Q=1(implicit) Q=0.5(CN) Q=0(explicit)
vf=1;%Velocity*(df/du)
L=vf*dt/dx;%Courant Number
D=0;%Physical dispersion
K=D*dt/2/dx^2;%Diffusion term coefficient
U00=0.5; Ui0=0;%Initial Condition
U0n=1; UIn=0;%Boundary Condition
Ucc=0.00001;%Convergence Criteria
dU=10^-8;%NRI interval
%%OUTPUT DATA
Up(1)=U00;
Up(2:I)=Ui0;
Un(1)=U0n; Un(2:I-1)=NaN; Un(I)=UIn;
for n=1:t/dt%Time iteration
if Q==0%Explicit solution
for i=2:I-1
if i==2
rf=Up(i); lf=Up(i-1);
```

```

else
rf=Up(i)+0.5*max(0,TVD((Up(i+1)-Up(i))/(Up(i)-Up(i-1))))*(Up(i)-Up(i-1));
lf=Up(i-1)+0.5*max(0,TVD((Up(i)-Up(i-1))/(Up(i-1)-Up(i-2))))*(Up(i-1)-Up(i-2));
end
Un(i)=dt*(D*(Up(i+1)-2*Up(i)+Up(i-1))/dx^2-vf*(rf-lf)/dx)+Up(i);
end
Up=Un;%End of explicit solution
else%Implicit solution
Uv=Up;
it=1;
vUv=Ucc;
while vUv>=Ucc%NR iteration
iU=Uv+dU;
%Determination of A and B Matrices
%A matrix
f(1:I)=NaN;
for ii=1:I
if ii==1
f(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*U0n+U0n+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii))-L*(Q*(U0n-U0n)+(1-Q)*(Up(ii)-
Up(ii)))-U0n+Up(ii);
elseif ii==2
f(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*Uv(ii)+U0n+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)-U0n)+(1-
Q)*(Up(ii)-Up(ii-1)))-Uv(ii)+Up(ii);
elseif ii==3
rvi=(Uv(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-U0n);
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-U0n);
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
f(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
elseif 3<ii && ii<I-1
rvi=(Uv(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
f(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
elseif ii==I-1
rvi=(UIn-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
f(ii)=K*(UIn-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-Uv(ii-
1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
elseif ii==I
f(ii)=K*(UIn-2*UIn+Uv(ii-1)+Up(ii)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(UIn-Uv(ii-1))+(1-
Q)*(Up(ii)-Up(ii-1)))-UIn+Up(ii);
end
end
A=f';
%B matrix
B=zeros(I,I);
fiU(1:I)=NaN;
for ii=1:I
if ii==1
%for east

```

```

fiU(ii)=K*(iU(ii+1)-2*U0n+U0n+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii))-L*(Q*(U0n-U0n)+(1-Q)*(Up(ii)-
Up(ii)))-U0n+Up(ii);
B(ii,ii+1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
elseif ii==2
%for center
fiU(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*iU(ii)+U0n+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(iU(ii)-U0n)+(1-
Q)*(Up(ii)-Up(ii-1)))-iU(ii)+Up(ii);
B(ii,ii)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for east
fiU(ii)=K*(iU(ii+1)-2*Uv(ii)+U0n+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)-U0n)+(1-
Q)*(Up(ii)-Up(ii-1)))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii+1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
elseif ii==3
%for west
rvi=(Uv(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-iU(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-iU(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-iU(ii-1))/(iU(ii-1)-U0n);
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(iU(ii-1)-U0n);
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfp_i=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfp_i*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*Uv(ii)+iU(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
iU(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii-1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for center
rvi=(Uv(ii+1)-iU(ii))/(iU(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(iU(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(iU(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-U0n);
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-U0n);
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfp_i=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfp_i*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*iU(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(iU(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-iU(ii)+Up(ii);
B(ii,ii)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for east
rvi=(iU(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-U0n);
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-U0n);
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfp_i=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfp_i*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(iU(ii+1)-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii+1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
elseif 3<ii && ii<I-1
%for west-west
rvi=(Uv(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-iU(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-iU(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfp_i=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfp_i*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii-2)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for west
rvi=(Uv(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-iU(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-iU(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-iU(ii-1))/(iU(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(iU(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfp_i=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfp_i*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*Uv(ii)+iU(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
iU(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);

```

```

B(ii,ii-1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for center
rvi=(Uv(ii+1)-iU(ii))/(iU(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(iU(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(iU(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(Uv(ii+1)-2*iU(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(iU(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-iU(ii)+Up(ii);
B(ii,ii)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for east
rvi=(iU(ii+1)-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(iU(ii+1)-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-
Uv(ii-1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii+1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
elseif ii==I-1
%for west-west
rvi=(UIn-Uv(ii))/(Uv(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-iU(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-iU(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(UIn-2*Uv(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-Uv(ii-
1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii-2)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for west
rvi=(UIn-Uv(ii))/(Uv(ii)-iU(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(Uv(ii)-iU(ii-1)); rvi_1=(Uv(ii)-iU(ii-1))/(iU(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(iU(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(UIn-2*Uv(ii)+iU(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(Uv(ii)+ADTvi-iU(ii-
1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-Uv(ii)+Up(ii);
B(ii,ii-1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
%for center
rvi=(UIn-iU(ii))/(iU(ii)-Uv(ii-1)); lfvi=max(0,TVD(rvi));
ADTvi=0.5*lfvi*(iU(ii)-Uv(ii-1)); rvi_1=(iU(ii)-Uv(ii-1))/(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
lfvi_1=max(0,TVD(rvi_1)); ADTvi_1=0.5*lfvi_1*(Uv(ii-1)-Uv(ii-2));
rpi=(Up(ii+1)-Up(ii))/(Up(ii)-Up(ii-1)); lfpi=max(0,TVD(rpi));
ADTpi=0.5*lfpi*(Up(ii)-Up(ii-1)); rpi_1=(Up(ii)-Up(ii-1))/(Up(ii-1)-Up(ii-2));
lfpi_1=max(0,TVD(rpi_1)); ADTpi_1=0.5*lfpi_1*(Up(ii-1)-Up(ii-2));
fiU(ii)=K*(UIn-2*iU(ii)+Uv(ii-1)+Up(ii+1)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(iU(ii)+ADTvi-Uv(ii-
1)-ADTvi_1)+(1-Q)*(Up(ii)+ADTpi-Up(ii-1)-ADTpi_1))-iU(ii)+Up(ii);
B(ii,ii+1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
elseif ii==I
%for west
fiU(ii)=K*(UIn-2*UIn+iU(ii-1)+Up(ii)-2*Up(ii)+Up(ii-1))-L*(Q*(UIn-iU(ii-1)))+(1-
Q)*(Up(ii)-Up(ii-1))-UIn+Up(ii);
B(ii,ii-1)=(fiU(ii)-f(ii))/dU;
end
end
B(:,1)=[]; B(:,end)=[];%End of the Determination of A and B Matrices
v=sparse(B)\sparse(A); vX=Uv(2:end-1)'\v; Uv=[U0n vX' UIn];
vUv=max(abs(v)); it=it+1;
end %End of NR iteration

```

```

Un=Uv; Up=Un;%End of the implicit solution
end%End of the numerical solution
%Analytical Solution
i=1; Ua(1:I)=NaN;
for x=X
if D==0
Ua(i)=1-heaviside(x-vf*dt*n); %Analytical Solution with Method of Characteristics
else
Ua(i)=0.5*erfc((x-
vf*dt*n)/(2*(D*dt*n)^0.5))+0.5*exp(vf*x/D)*erfc((x+vf*dt*n)/(2*(D*dt*n)^0.5));
end
i=i+1;
end
%Plot Solution
set(gcf, 'Units', 'Normalized', 'OuterPosition', [0 0 1 1]);
plot(X/I/dx,Ua,'gv-','markerfacecolor','g');
hold on
plot(X/I/dx,Ua,'k-','linewidth',2);
xlabel('Dimensionless Distance','fontsize',12)
ylabel('Concentration','fontsize',12)
legend('Numerical Solution','Analytical Solution')
hold off
pause(0.001)
end
toc

```

Supplementary material 3. Google Drive link.

In order to reach Matlab files, please use following Google Drive link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1JCKzqNRVqzAFGR8M3wqQMsGMDtqKuamx?usp=sharing>



Determination of Appropriate Thresholding Method in Segmentation Stage in Detecting Breast Cancer Cells

Cihat Ediz Akbaba¹, Adem Polat^{2,*}

¹Department of Electrical-Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana, Turkey

²Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 24.08.2021
Accepted: 25.10.2021
Published: 10.03.2022

Research Article


Abstract – As in all cancer types, the early detection of breast cancer is vital in terms of patients holding on to life. Today, computer-aided image processing systems play an important role in the detection of diseases. Analyzing the images with accurate image processing methods is very important for professionals to interpret the images and to develop the treatment methods for diseases appropriately. The images containing cancer cells (tumoroid) used in this study were obtained from the mini-Opto tomography device that creates 3D images by reconstruction of 2D images taken from different angles. It is an electronic, mechanical, and software-based device capable of 3D imaging of tumoroids up to 1 cm in diameter in size. Observing an entire tumor spheroid that has the size of several centi-meters in size in a single square image with a microscope is not possible, but with mini-Opto tomography it is possible. In our study, a few layers of 3D images of the tumoroid produced by MCF-7 breast cancer cells obtained on the different days from the mini-Opto device were used. Image thresholding offers many advantages at the segmentation stage in order to distinguish the target objects. In this study, the determination of the most appropriate thresholding method for detecting the main tumor masses in the layered images was investigated. Moreover, the contours of the tumoroid were determined in the original images based on applying the outcomes of thresholding. While various thresholding methods have been applied on diverse images in the literature, we have applied a few thresholding methods to small tumors up to 2 mm in size. As a result of the qualitative assessment based on the results of the contour drawings on the thresholded images, the global thresholding and adaptive thresholding methods gave the best results.

Keywords – Breast cancer segmentation, thresholding methods, image processing, MCF-7 cancer cells, breast cancer cells, tumoroid.

1. Introduction

In the world, women with breast cancer are deprived of early diagnosis and treatment of the disease because of many reasons such as social, economic, and geographic reasons, and these women pass away due to lack of intervention. When breast cancer is detected early depending on its type and with the right intervention at the right time, a significant increase in the life span of patients has been observed. There are different treatment methods for breast cancer in women, and choosing the best treatment method depends on the nature of the tumor, the cancer stage, and the preference of the patient (Waks & Winer, 2019). In order to develop effective treatment methods, tumorous structures must be screened using various imaging methods. Although X-ray imaging has been used for many years to diagnose the disease, many new methods have been developed up to date (Alarabeyyat & Alhanahnah, 2016). Another method of detecting breast cancer is that women regularly check their breast areas. The mammography method is an imaging method used to view cancer by sending low-dose X-rays to the breast and it is widely used (Kulkarni, Bhagyashree, & Udipi, 2010).

¹  edizakbaba@gmail.com

²  adempolat@comu.edu.tr

*Corresponding Author

The images used in our study are the images obtained from the mini-Opto tomography device, which is formed by blending the digital breast tomosynthesis which has the ability to view the breast organ in three dimensions and the microscope device that displays the microscopic cells in two dimensions. Mini-Opto tomography device is an electronic, mechanical and software-based program that creates a new three-dimensional image by reconstruction method from images taken from different angles in two dimensions (Polat, et al., 2019a).

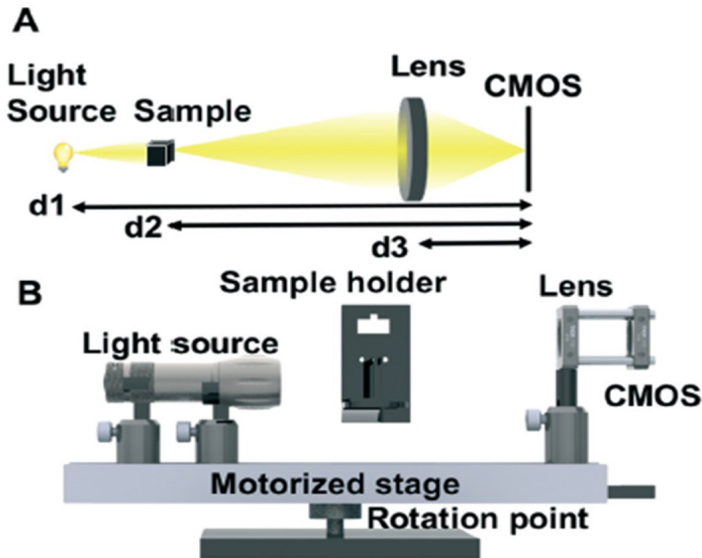


Figure 1. Basic structure of mini-Opto tomography device. A) Optical structure. B) Mechanical structure.

Figure 1 shows the basic structure of the mini-Opto tomography device. After the sample is placed in the holder, the light-camera system takes various images by moving at different angles around the sample to be imaged. These images go through a series of processes in the Matlab environment using (3D total variation (TV) regularized algebraic reconstruction technique (ART)) and finally, a new three-dimensional layered image is created (Polat, Matela, Dinler, Zhang, & Yildirim, 2019b). Since it is difficult to apply image processing techniques on to 3D images, these images must be converted into 2D layered images. Figure 2 shows the 2D images of 3 different days obtained from the 3D layered image.

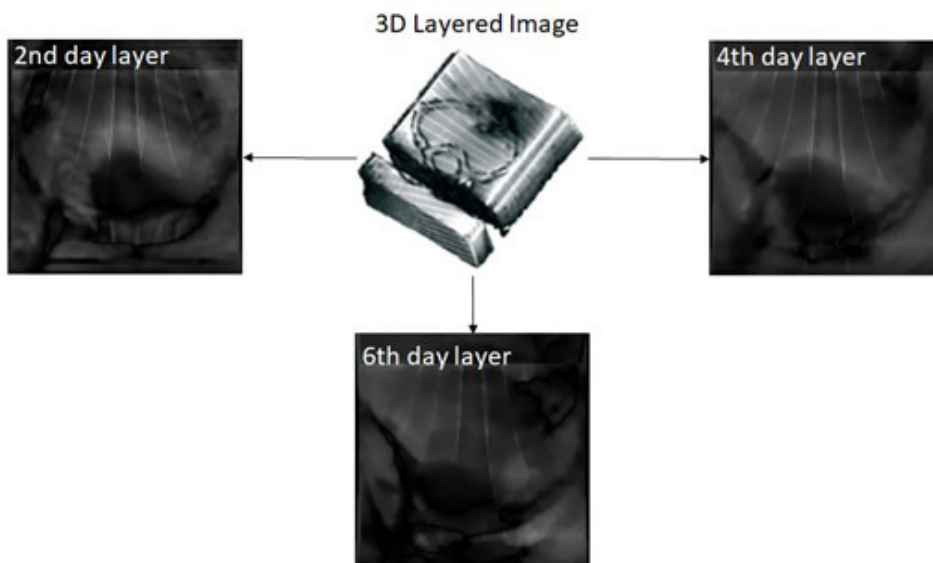


Figure 2. 2D layer images of the fifth day obtained for three different days from the 3D layered image.

There are many important studies in the literature for the thresholding process used in the segmentation step, which is an important step in breast cancer detection. Badawy et. al., applied the double thresholding method on mammogram images in breast cancer segmentation. It was concluded that the applied method not only made significant contributions to the detection of breast cancer in mammogram images but also had significant advantages in the processing time and storage area (Badawy, Hefnawy, Zidan, & GadAlah, 2017). Fuzzy entropy with a level set (FELs) thresholding method using on various cancer images is promising in medical image segmentation and can be used to classify cancer types according to the clinical diagnosis method (Maalood, Al-Salhi, & Lu, 2018). Kumar et., al. concluded that multilevel thresholding is more efficient than classical thresholding methods, according to the results obtained from analysis of metrics in the segmentation of digital mammogram images (Kumar, Kumar, Bajaj, & Singh, 2018). Jian et al. proposed the color thresholding method for image segmentation of blood cells. As a result of the performance analysis of the color thresholding method, the qualitative and quantitative evaluation of this method was made and as a result, they concluded that the method was effective in the segmentation of blood cells (Jian, Nazahah, Yusoff, & Shakir, 2019).

2. Materials and Methods

The following algorithm was used to separate the main tumor masses from the image background in the layered images obtained from the mini-Opto tomography device.

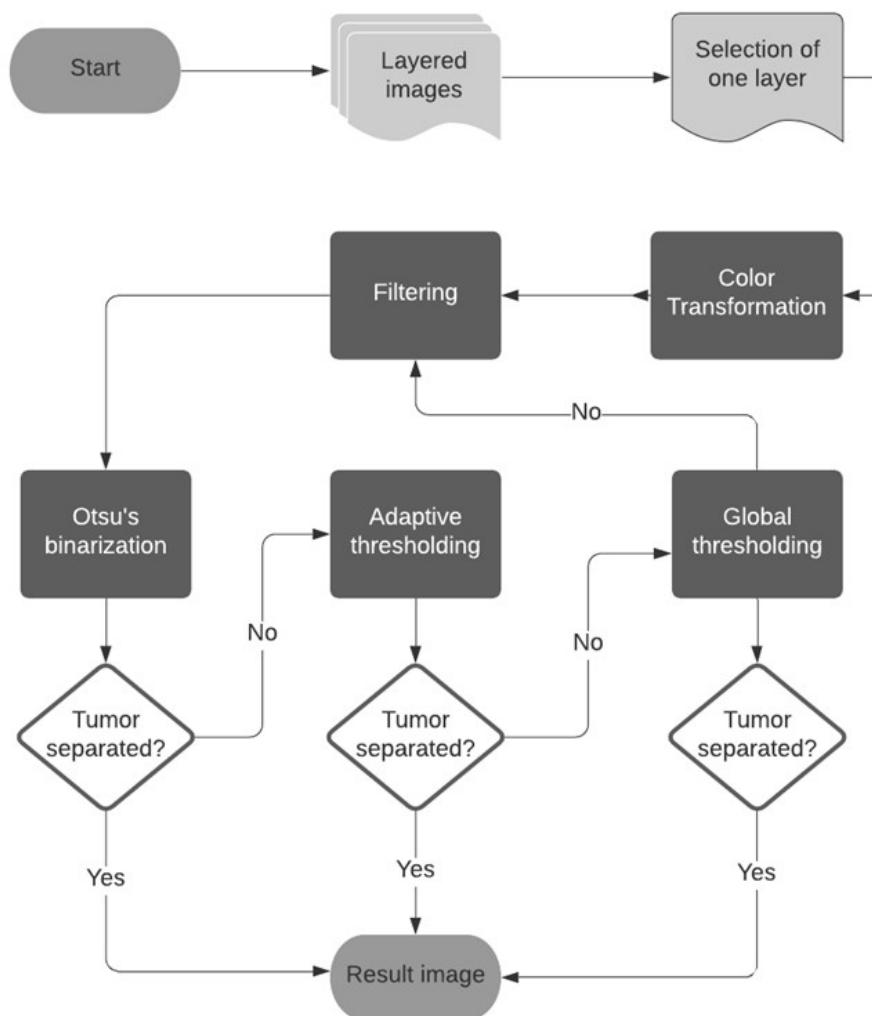


Figure 3. The general representation of the image segmentation process and the decision of the appropriate thresholding method.

Looking at [Figure 3](#), after the layered images are obtained from the mini-Opto tomography device, the images are pre-processed in order to make these images ready for the segmentation step. In the pre-processing process, images are converted into color tones between 0-255, that is, color tones between black and white, which have less intensity information than color images. Another important step in pre-processing is the filtering process, which enables the images to be further developed. In this process, unwanted objects such as unnecessary details and noises on the images are eliminated and a more advanced image is obtained. After the pre-processing step, the thresholding process, which is the basis of the work, is performed in the segmentation step. In the thresholding step, the pixels in the image are divided into two different groups, namely 0 and 1, so we are one step closer to the main tumor mass. In order to distinguish the main tumor mass in the image from the image background, an appropriate thresholding method should be chosen. In our study, global thresholding, adaptive thresholding and Otsu's binarization methods were applied, respectively, for images that passed through the preprocessing stage.

The global thresholding method is the simplest thresholding method and since the difference between the object and the background in the image is significant, a single threshold value is used to separate the object from the background ([Senthilkumaran & Vaithegi, 2016](#)). In the global thresholding operation, the value is calculated by the following formula.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & src(x, y) > T(x, y) \\ 0, & src(x, y) \leq T(x, y) \end{cases} \quad (2.1)$$

In [2.1](#), value is the pixel value of the source image, is the threshold value determined to separate the object in the image from the image background, and is the binary image obtained as a result of the thresholding process. When the pixel value with coordinate is greater than the threshold value, the result is 1 and a value of 1 represents the object in the image. Otherwise, the result is 0 and a value of 0 represents the background. In our study, the main tumor structure in the cancerous image represents the object and other parts in the image represent the background.

In another thresholding method, the adaptive thresholding method, when the objects in the image have different light intensities, a single threshold value will not give accurate results in image segmentation ([Sujji, Lakshmi, & Jiji, 2013](#)). Therefore, different threshold values are used in different parts of the image. In other words, the image is made binary by using more than one threshold value instead of a single threshold value. In the adaptive thresholding method, there are two methods that determine how to calculate the threshold value, mean adaptive and gaussian adaptive. In the mean average weighted adaptive thresholding method, the threshold value is the average of the areas of neighboring pixels, while in the gaussian weighted adaptive thresholding method, the threshold value is the weighted sum of the neighborhood values where the weights are a Gaussian window ([Mapayi, Viriri, & Tapamo, 2015](#); [Mordvintsev & Abid, 2017](#)).

Normally, a threshold value is determined to convert a gray image to a binary form, and image pixels are grouped into object and background to this threshold value. However, in some cases, fixed threshold values may not give accurate results on all images. It is based on the approach of minimizing the weighted sum of the object and the background pixels in the image in order to create an optimum threshold value in the Otsu method, which is based on threshold selection according to statistical criteria ([Al-Tarawneh, 2012](#)). Otsu method has a value that will maximize the variance between these two classes by accepting that there are two separate classes on the image ([Liu & Yu, 2009](#)). The interclass variance is calculated by the following formula.

$$\sigma_s = \sigma - \sigma_b = w_1(t)w_2(t)(\mu_1(t) - \mu_2(t))^2 \quad (2.2)$$

Here, variables are class intensities and variables are weighted class averages. Weighted class averages are calculated as follows.

$$\mu_1(t) = \sum_{i=0}^t P_r\{i\} H\{i\} \quad (2.3)$$

$$\mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^{255} P_r\{i\} H\{i\} \quad (2.4)$$

In Equations 2.3 and 2.4, gives the histogram value belonging to the t th color level, and the μ_2 value, which gives the maximum variance value by calculating the variance for each value from 0 to 255, is accepted as the threshold value. The results obtained by applying the global, adaptive and Otsu's thresholding methods, which are mentioned in Chapter 2, on cancer images of the second, fourth and sixth days are discussed in the third section.

Computer-aided image processing systems are used to detect suspicious lesions on cancerous images, and these systems can produce output about the type of cancer in addition to detecting suspicious areas. Thus, radiologists make detailed analyzes using these outputs and interpret the images (Yassin, Omran, El Houbay, & Allam, 2018). In our study, a qualitative analysis of the thresholding methods that can best distinguish the main tumor masses from the image background in the images was performed. Python programming language and OpenCV library were used as computer-aided diagnostic systems on the images.

Our python code consists of three main steps. The first step is to upload the images. In the second step, which is the preprocessing, it was aimed to enhance the images and make them ready for the segmentation step. In the third step that is the segmentation part, various thresholding processes were applied to separate the main mass from the background of the image. The pseudocode of the process is presented below.

Installation OpenCv library packages

- Import Numerical Python package
- Import Image read package
- Import image processing functions

Step 1. Uploading raw images

```
>> for i = each image
    importing image [i]
>>end
```

Step 2. Pre-processing

Step 2.1. Convert colored image to gray type image

Step 2.2. Apply filters to the converted image

```
>> for k = each filter
    >> for i = each image
        apply filter[k] filter to gray image[i]
    >>end
>>end
```

Step 3. Segmentation

Step 3.1. Apply thresholding methods to images

```
>> for m = each thresholding methods
    >> for n = each filtered image
        apply thresholding[m] to filtered image[n]
        find counter image[n]
        draw counter image[n]
        Find the main tumor mass contour and delete the other contours in the image[n]
    >>end
>>end
```

3. Results and Discussion

Figure 4, 5 and 6 show the results obtained when different thresholding methods are applied to the fifth layer images belonging to the second, fourth, and sixth days in the segmentation stage. On day 2, the main tumor mass was separated from the image background as a result of the global thresholding method, one of the thresholding methods, and this method gave the best result. Selecting a single threshold value on the raw image was successful in separating the main tumor mass from the image background.

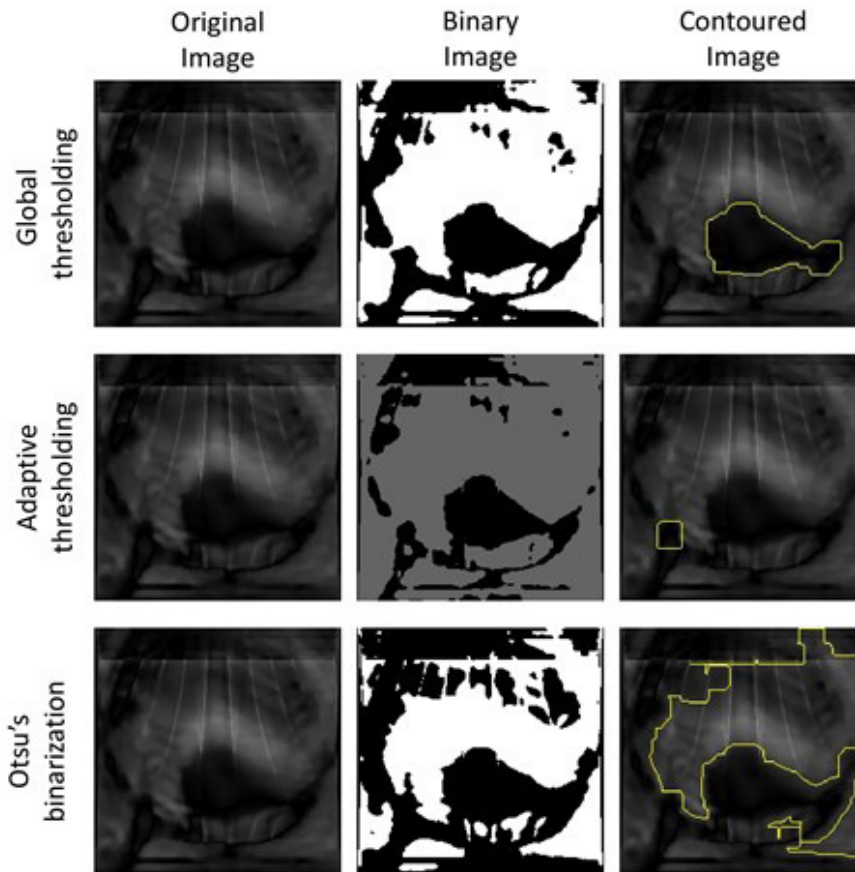


Figure 4. The result images obtained when different thresholding methods are applied to the fifth layer on the second day.

Figure 5 shows the result images when 3 different thresholding methods are applied to the fourth-day image. The global thresholding method detected a region close to the main tumor mass. But, as can be seen from the figure, the adaptive thresholding method gave the most successful result in separating the main tumor mass from the image background. Because the main tumor mass has different light intensity, more than one threshold value was determined rather than a single threshold value to separate the main tumor mass from the image background.

Looking at Figure 6, the global thresholding and adaptive thresholding methods gave the most successful results in revealing the main tumor mass on the sixth day image. Since the main tumor structure has different light intensity, the adaptive thresholding method gave more successful results than the global thresholding method.

Since the pixel distributions between the object and the background in the second, fourth and sixth day images are very different from each other, the correct threshold value could not be calculated exactly. Therefore, the Otsu's binarization method did not give successful results on the images.

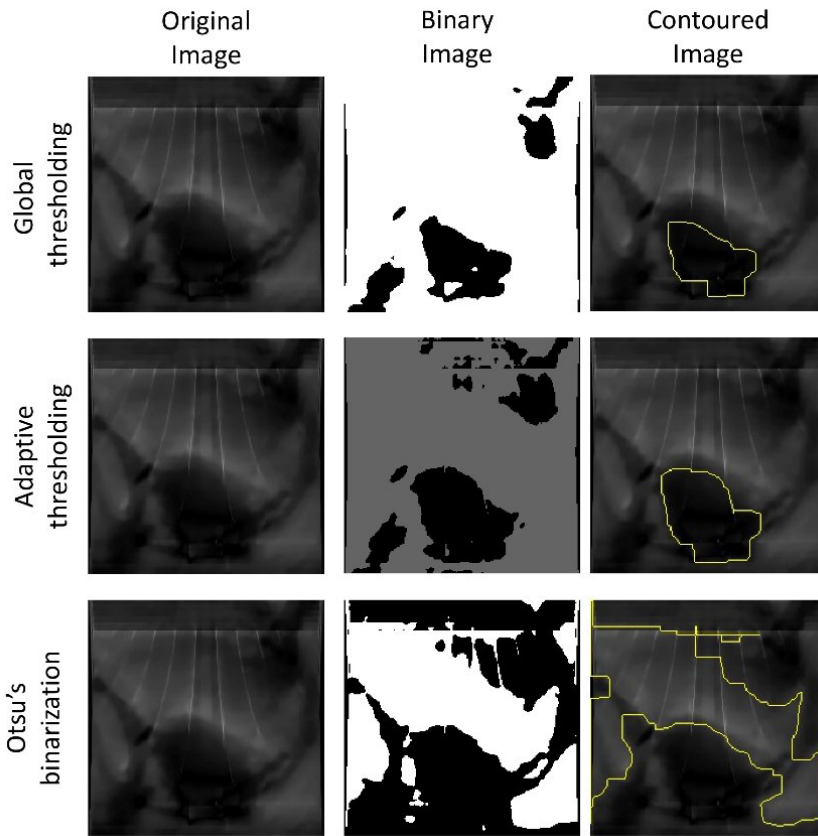


Figure 5. The result images obtained when different thresholding methods are applied to the fifth layer on the fourth day.

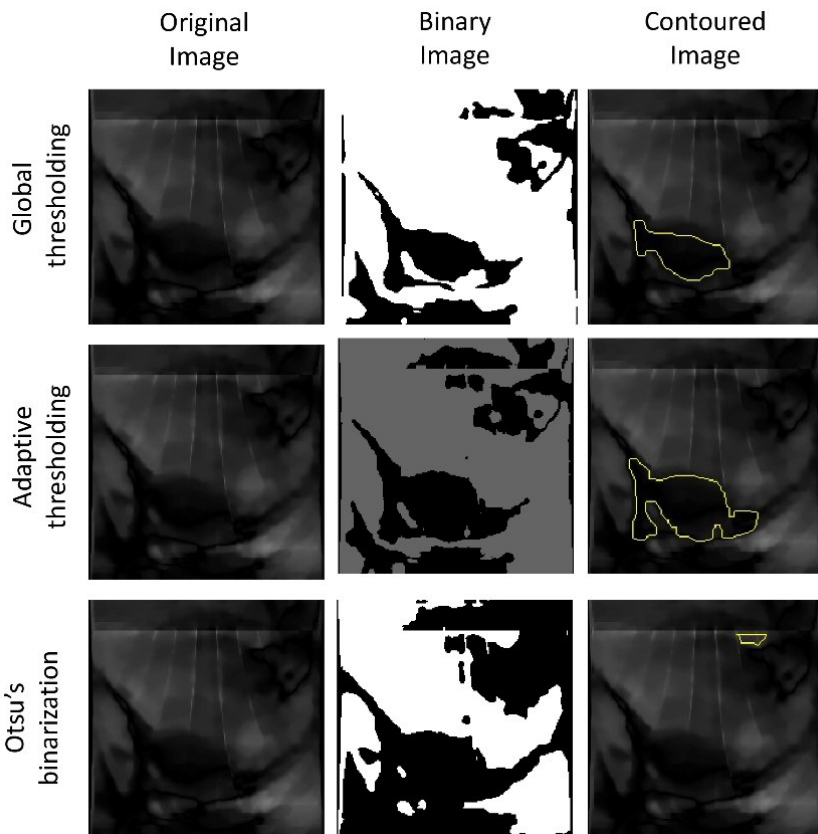


Figure 6. The result images obtained when different thresholding methods are applied to the fifth layer on the sixth day.

When our study is compared with similar studies in the literature, it was seen that there are some similarities and differences. In a study which conducted by Badawy et. al., a double thresholding has been proposed for the segmentation of mammogram images ([Badawy, et. al., 2017](#)). Because the detection of scattered details in mammogram structures was necessary. However, we used the global thresholding method, which consists of a single threshold value, since there was a significant difference between the color tone of the main tumor structure and the ones of the image background in our image on the 5th day. Another study, the reference ([Kumar, et. al., 2018](#)), claimed that multi-level thresholding method yields better results than the classical thresholding method, as more density is used to represent objects in a breast cancer image. Unlike in our study, the global thresholding method which is a classical thresholding method applied to the second-day image gave a more successful result than the multi-level thresholding method. The biggest reason for this situation is that although the color levels are similar when the image is examined in its entirety, the pixel density of the main tumor mass is significantly different from the rest of the image. In a study conducted by Joseph et. al., while K-means clustering which is an unsupervised and clustering algorithm followed by morphological filtering has been proposed to detect tumor structure in brain MRI images ([Joseph, Singh, & Manikandan, 2014](#)). In our study, we were able to detect the tumor structure without the need for further operation by using the thresholding method at the segmentation stage.

4. Conclusion

Breast cancer is the second most common type of cancer in the world and the first among cancer types seen in women. Therefore, early detection is vital for the patient's life. There are various medical imaging methods for early detection of diverse types of cancer. In our study, the mini-Opto tomography device was used to analyze breast cancer cells that build tumors up to 2 mm in size. Image processing methods were used on the two-dimensional images of the tumor spheroid produced in the laboratory, obtained with the device. We focused on some thresholding methods to separate the main tumor structures in the images from the image background. Among these thresholding methods we used in the study, the global thresholding and the adaptive thresholding methods gave the best results. The results showed that the thresholding method alone without a requirement of additional operation could be sufficient to separate the main structures in an image from the background of that image. The biggest limitation of the study is the low resolution of the images obtained from the mini-Opto tomography device. Considering this limitation, especially in tumor-background border crossing regions, the cells that cover border pixels of the main tumor structure could not be distinguished clearly. Therefore, in the future, by strengthening the technological infrastructure of the mini-Opto tomography platform, high-resolution images would be obtained and the image processing techniques to be applied to these images would yield results that are more superior. In future studies, it is aimed to diversify more thresholding methods used in the segmentation step of image processing methods to detect cancerous cells in images. Moreover, thresholding methods could be combined with various morphological operations to analyze the developments of the detected tumors in their own habitat.

Acknowledgement

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Author Contributions

Adem Polat: Conceived the original concept, designed the methodology and the experiments, and wrote the manuscript.

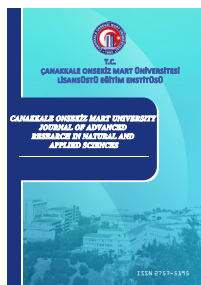
Cihat Ediz Akbaba: Applied the methodology, analyzed the simulations, and wrote the manuscript.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Al-Tarawneh, M. S. (2012). Lung cancer detection using image processing techniques. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 11(21), 147-158. Retrieved from: http://lejpt.academicdirect.org/A20/147_158.pdf
- Al-Hadidi, M. R., Alarabeyyat, A., & Alhanahnah, M. (2016). *Breast cancer detection using k-nearest neighbor machine learning algorithm*. Paper presented at the 2016 9th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE). (pp. 35-39). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/DeSE.2016.8>
- Badawy, S. M., Hefnawy, A. A., Zidan, H. E., & GadAllah, M. T. (2017). Breast cancer detection with mammogram segmentation: a qualitative study. *International Journal of Advanced Computer Science Application*, 8(10), 117-120. doi: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.081016>
- Jian, T. X., Nazahah, M., Yusoff, M. M., & Shakir A. R. K. (2019). *Segmentation of Irrelevant Regions Using Color Thresholding Method: Application in Breast Histopathology Images*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. (pp. 1-5). doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1372/1/012027>
- Joseph, R. P., Singh, C. S., & Manikandan, M. (2014). Brain tumor MRI image segmentation and detection in image processing. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(1), 1-5. doi: <https://doi.org/10.15623/IJRET.2014.0313001>
- Kulkarni, D. A, Bhagyashree, S. M, & Udipi, G. R (2010). Texture Analysis of Mammographic images. *International journal of computer applications*, 5(6), 12-17. Retrieved from: <https://www.ijcaonline.org/volume5/number6/pxc3871297.pdf>
- Kumar, A. S., Kumar, A., Bajaj, V., & Singh, G. K. (2018). *Fractional-order darwinian swarm intelligence inspired multilevel thresholding for mammogram segmentation*. Paper presented at the 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). (pp. 0160-0164). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2018.8524302>
- Liu, D., & Yu, J. (2009). *Otsu method and K-means*. Paper presented at the 2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems. (pp. 344-349). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/HIS.2009.74>
- Maolood, I. Y., Al-Salhi, Y. E. A., & Lu, S. (2018). Thresholding for medical image segmentation for cancer using fuzzy entropy with level set algorithm. *Open Medicine*, 13(1), 374-383. doi: <https://doi.org/10.1515/med-2018-0056>
- Mapayi, T., Viriri, S., & Tapamo, J.-R. (2015). Adaptive thresholding technique for retinal vessel segmentation based on GLCM-energy information. *Computational and mathematical methods in medicine, 2015*. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/597475>
- Mordvintsev, A., & Abid, K. (2017). OpenCV-Python Tutorials Documentation, Release 1. 2, 2018. Retrieved from: https://opencv24-python-tutorials.readthedocs.io/_downloads/en/stable/pdf/
- Polat, A., Hassan, S., Yildirim, I., Oliver, L. E., Mostafaei, M., Kumar, S., Maharjan, S., Bourguet, L., Cao, X., Ying, G., Hesar, M. E., & Zhang, Y. S. (2019a). A miniaturized optical tomography platform for volumetric imaging of engineered living systems. *Lab on a Chip*, 19(4), 550-561. doi: <https://doi.org/10.1039/C8LC01190G>
- Polat, A., Matela, N., Dinler, A., Zhang, Y. S., & Yildirim, I. (2019b). Digital Breast Tomosynthesis imaging using compressed sensing based reconstruction for 10 radiation doses real data. *Biomedical Signal Processing Control*, 48, 26-34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.08.036>
- Senthilkumaran, N., & Vaithegi, S. (2016). Image segmentation by using thresholding techniques for medical images. *Computer Science Engineering: An International Journal*, 6(1), 1-13. doi: <https://doi.org/10.5121/cseij.2016.6101>
- Sujji, G. E., Lakshmi, Y. V. S., & Jiji, G. W. (2013). MRI brain image segmentation based on thresholding. *International Journal of Advanced Computer Research*, 3(1), 97-101. Retrieved from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.300.6479&rep=rep1&type=pdf>
- Waks, A. G., & Winer, E. P. (2019). Breast cancer treatment: A review. *Jama*, 321(3), 288-300. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2018.19323>
- Yassin, N. I. R., Omran, S., El Houby, E. M. F., & Allam, H. (2018). Machine learning techniques for breast cancer computer aided diagnosis using different image modalities: A systematic review. *Computer methods programs in biomedicine*, 156, 25-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.12.012>



Calculation Of Gruneisen Parameter, Compressibility, And Bulk Modulus as Functions Of Pressure In $(C_6H_5CH_2NH_3)_2PbI_4$

Arzu KURT^{1*}

¹Department of Energy Management, Faculty of Applied Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

Article History

Received: 01.10.2021

Accepted: 03.11.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – Hybrid organic-inorganic perovskites (HOIPs) exhibit multiple structural phase transitions, which result in enhanced mechanical and electronic properties of these perovskites. Order-disorder of organic components was thought to be the main factor to cause these phase transitions up to the last decade; however, recent research about HOIPs have shown that the structural phase transition also occurs with the induced pressure or temperature. The research studies related to the pressure have attracted a great deal of scholarly interest due to its contribution to the functionality of HOIPs in many current applications. Two-dimensional halide perovskites having been synthesized in the last few years have been increasingly studied thanks to its superior hysteresis in flexibility and mechanical properties under pressure. It is important to understand and model theoretically how induced pressure affects mechanical and electronic properties of $(PMA)_2PbI_4$ in order to develop new potential applications in optoelectronics. In this study, the isothermal mode-Grüneisen parameter, the isothermal compressibility, and the bulk modulus were calculated as functions of pressure at ambient temperature by using the calculated Raman frequencies and observed volume data for the selected IR modes in $(PMA)_2PbI_4$. These calculated parameters were compared with the observed measurements reported for the Pbcn, Pccn and Pccn (isostructural) phases in the studied perovskites. The results obtained in the present study, which were highly compatible with the experimental measurements, showed that $(PMA)_2PbI_4$ is usable in optoelectronic applications

Keywords – HOIPs, Phase Transition, Grüneisen Parameter, Bulk Modulus.

1. Introduction

Hybrid Organic-Inorganic Perovskites (HOIPs) have been attracting a considerable amount of scientific attention due to their potential for photovoltaic, optoelectronic, and electronic applications in the last quarter. Power conversion efficiency in photovoltaics can be increased up to 24.2% by using HOIPs as active materials in photovoltaic (PV) productions processes. Therefore, a great many scientists have intended to research mechanical and electronic properties of HOIPs over the last decades (Kooijman, Muscarella, & Williams, 2019). Perovskites whose general formula is ABX_3 is a member of HOIPs (Breternitz & Schorr, 2018). This type of HOIPs has a well-defined multiple quantum well, which can be altered by optimizing the organic-inorganic layers (Kawano et al., 2014). Thanks to these properties, HOIPs make a great material for photovoltaic applications, light-emitting diode, and light detectors (Bandiello et al., 2016; Fang et al., 2015; Khadka, Shirai, Yanagida, Ryan, & Miyano, 2017; Qin, Dong, & Hu, 2015). Recently, 2D (two dimensional) HOIPs are reported to have excellent stability under ambient conditions (Dou et al., 2015; Yang et al., 2017). $(C_6H_5CH_2NH_3)_2PbI_4$ (shortly; $(PMA)_2PbI_4$) is a good example of 2-D HOIPs, which exhibit multiple phase transitions under pressure at ambient temperature. Tian et al. have carried out X-ray diffraction (XRD) experiments to investigate the crystal structure in $(PMA)_2PbI_4$ and the change of optical properties at various pressures. They have obtained that all the Bragg diffraction peaks yield slightly high values with the increasing pressure as expected, while they report an additional peak at 4.6 GPa and

¹  arzukurt@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

splitting peak at 7.7 GPa. They have attributed these anomalies to a possible phase transition (Tian et al., 2020). These pressure-induced phase transitions are associated with Pbcn to Pccn at 4.6 GPa and Pccn to Pccn (isostructural) at 7.7 GPa. Although there is no explicit emerging peak in the XRD pattern at 7.7 GPa in the research by Tian et al (2020), the literature incorporates works reporting by considering the splitting of peak in XRD pattern that similar HOIPs exhibit isostructural phase transitions (Wang, Wang, Xiao, Zeng, & Zou, 2016). Apart from the operationalization of pressure as a good tool to provide more effective properties by lattice contraction without the involvement of composition change, there are various other efforts, e.g., chemically manipulating dimensionality and introducing additional properties into HOIPs, (Mao, Chen, Ding, Li, & Wang, 2018; Ren et al., 2020). The first study about pressure induced transition was carried on $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ perovskite by Wang et al. in 2015 (Y. Wang et al., 2015). After this work, the amount of research related to the behaviors of HOIPs under pressure has substantially increased, and thus many structures of HOIPs have been discovered, which are applicable in PV, photoluminescence (PL), and optoelectronics (Ou et al., 2019; Ou et al., 2018; Ren et al., 2019; L. Wang et al., 2017; Yuan et al., 2019). The main goal of the studies on administering high pressure on HOIPs has been to adjust the band gap with the recovery of metastable phase in industrial applications. Although many experimental studies have been carried out to explain adequately the pressure dependency of mechanical and electronic properties of HOIPs, there has been a need for a theoretical approach to account for these macroscopic thermodynamic parameters without making expensive and grueling experiment.

In this study, I calculated the pressure dependency of the Grüneisen parameter (γ_T), compressibility (κ_T) and the bulk modulus (β) values of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ for 794 cm^{-1} $\nu_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} and 1045 cm^{-1} $\beta(\text{C-H})$, 1212 cm^{-1} $\delta(\text{C-H})$, 1496 cm^{-1} $\delta(\text{NH}_3^+)$, 2903 cm^{-1} $\nu_s(\text{CH}_2^+)$, and 3068 cm^{-1} $\nu_s(\text{NH}_3^+)$ modes at ambient temperature by using the experimental volume data and Raman frequencies. Besides, the IR wavenumbers of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ were calculated for 794 cm^{-1} $\nu_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} and 1045 cm^{-1} $\beta(\text{C-H})$, 1212 cm^{-1} $\delta(\text{C-H})$, 1496 cm^{-1} $\delta(\text{NH}_3^+)$, 2903 cm^{-1} $\nu_s(\text{CH}_2^+)$, and 3068 cm^{-1} $\nu_s(\text{NH}_3^+)$ modes in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ through the calculated Grüneisen parameters of these IR modes and experimental volume data in the literature (Tian et al., 2020). Moreover, the calculated bulk modulus was discussed in consideration of the available literature for all the IR modes in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$.

2. Materials and Methods

The Grüneisen parameter, slightly altered with the volume of a crystal lattice as a function of pressure and/or temperature is dimensionless. Changed temperature and/or pressure affect the size or dynamics of a crystal lattice; thus, familiar macroscopic thermodynamic properties, such as heat capacity and thermal expansion, tend to change, leading to slight shifts in the vibrational frequencies of atoms in a molecular crystal. It is almost impossible to determine the Grüneisen parameter experimentally. Because of that, investigating macroscopic parameters necessitates a detailed knowledge of the phonon distribution spectrum of the material, while researching microscopic parameters entails experimental measurements of the thermodynamic properties at high pressure and temperature. This duality can be resolved by associating the Grüneisen parameter with the vibrational frequency of the atom in the molecular crystal. In 1912, Grüneisen indicated in his original article that the Grüneisen parameter (denoted by γ) is related to the volume dependence of mode frequency by regarding the quantum harmonic oscillator of Einstein's theory as a mode of crystal vibration (Grüneisen, 1912)(Grüneisen, 1912);

$$\gamma = \alpha K_T / \rho C_V \quad (2.1)$$

α , K_T , ρ , and C_V are volume expansion coefficient, isothermal bulk modulus, density, and specific heat at constant volume, respectively. Despite quantum mechanics begin with Planck's theory of blackbody radiation in 1900, Boltzmann's identification about the quantization of thermally excited atomic energy level and transition between these levels was a crucial for definition of transition probabilities between these levels. The relation between the quantized energy of radiation and its frequency is explained by Planck's theory (Planck, 1901);

$$\Delta E = h\nu \quad (2.2)$$

where h is Planck constant and ν is the frequency of photon. Planck's theory explains the spectral density of electromagnetic radiation emitted by a black body in thermal equilibrium at a constant temperature T . Planck's theory is valid for not only the radiation but also the energies of oscillatory phenomena at the atomic energy level. The probability of transition between two atomic states (from 1st to 2nd state) in a molecule or an atom driven by temperature is referred to as the Boltzmann factor, which is characterized only by these two states' energy difference:

$$\frac{p_2}{p_1} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \quad (2.3)$$

where $\Delta E = E_2 - E_1$, k is the Boltzmann constant and T is ambient temperature. In generally, the probability of transition from the n^{th} state relative to the ground state ($n=0$) can be defined by integrating the Planck's formula into the Boltzmann factor;

$$p(n) = p(0)e^{-\frac{nh\nu}{kT}} \quad (2.4)$$

where $p(n)$ is the probability of occupation of state n , $p(0)$ is the probability of occupation of ground state, n is the state of atom. If the n^{th} state in an atom is filled with electrons, the energy of the state ($nh\nu$) is added to the total energy of atom by multiplying the probability of the state energy;

$$\Delta E(n) = nh\nu p(n) = p(0)nh\nu e^{-nh\nu/kT} \quad (2.5)$$

Adding the contributions by all the states, the average total energy in an atom can be defined as;

$$E = \sum_{n=0}^{\infty} E(n) = \frac{h\nu}{[\exp(h\nu/kT) - 1]} \quad (2.6)$$

This energy corresponds to the thermal energy of a single mode in crystal oscillation with a natural frequency ν , which is function of volume, as in Einstein's theory (Einstein, 1907). The Einstein model, represented by Eq. (2.6), is the starting point for Grüneisen's theory (Stacey & Hodgkinson, 2019). Each mode of the frequency ν_i in the crystal has its own Grüneisen parameter value;

$$\gamma_i = -\left(\frac{\partial \ln \nu_i}{\partial \ln V}\right)_T \quad (2.7)$$

where ν_i is the frequency of the i^{th} mode, and V is the volume (Stacey & Hodgkinson, 2019). Differentiating Eq. (2.7) with respect to pressure (P), the isothermal Grüneisen parameter is reduced as;

$$\gamma_{T,i} = -\frac{V(\partial \nu_i / \partial P)_T}{\nu(\partial V / \partial P)_T} \quad (2.8)$$

the frequency (ν) and the volume (V) in Eq.(2.8) are dependent only on pressure (P) and T is ambient temperature and constant. The experimental volume data of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ show a parabolic change with pressure (Tian et al., 2020), so it was assumed that the function of the crystal volume is a second-order polynomial function of pressure as reported in my previous study (Kurt, 2020);

$$V_T(P) = a_0 + a_1P + a_2P^2 \quad (2.9)$$

a_0, a_1 and a_2 are the constants under isothermal condition. In order to determine these constants, Eq. (2.9) was fitted to the experimental data in the literature (Tian et al., 2020) for the orthorhombic $Pbca$ ($0 < P < 4.6$ GPa), orthorhombic $Pccn$ ($4.6 < P < 7.7$ GPa) and orthorhombic $Pccn$ (isostructural) ($7.7 < P < 20$ GPa) phases, as shown in Fig. 1 and given in Table 1. The frequencies of the IR modes in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ were also expressed as the second-order polynomial function with pressure, like volume data, and the relation of the frequencies was assumed as a function of pressure,

$$\nu_T(P) = b_0 + b_1P + b_2P^2 \quad (2.10)$$

b_0, b_1 and b_2 are the constant coefficients for each mode. The coefficients were determined by fitting Eq. (2.10) to the experimental data (Tian et al., 2020) for $\nu_s(\text{C-N})$, $\beta(\text{C-H})$, $\delta(\text{C-H})$, $\delta(\text{NH}_3^+)$, $\nu_s(\text{CH}_2^+)$, and $\nu_s(\text{NH}_3^+)$ IR modes for each phase in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$, as presented in Table 2. Then, by using the calculated volume data through the obtained coefficient from the experimental volume data, the isothermal Grüneisen parameter as a function of pressure was determined for $794 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{C-N})$, $970 \text{ cm}^{-1} \beta(\text{C-H})$, $1212 \text{ cm}^{-1} \delta(\text{C-H})$, and $2903 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{CH}_2^+)$ IR modes (Fig. 2).

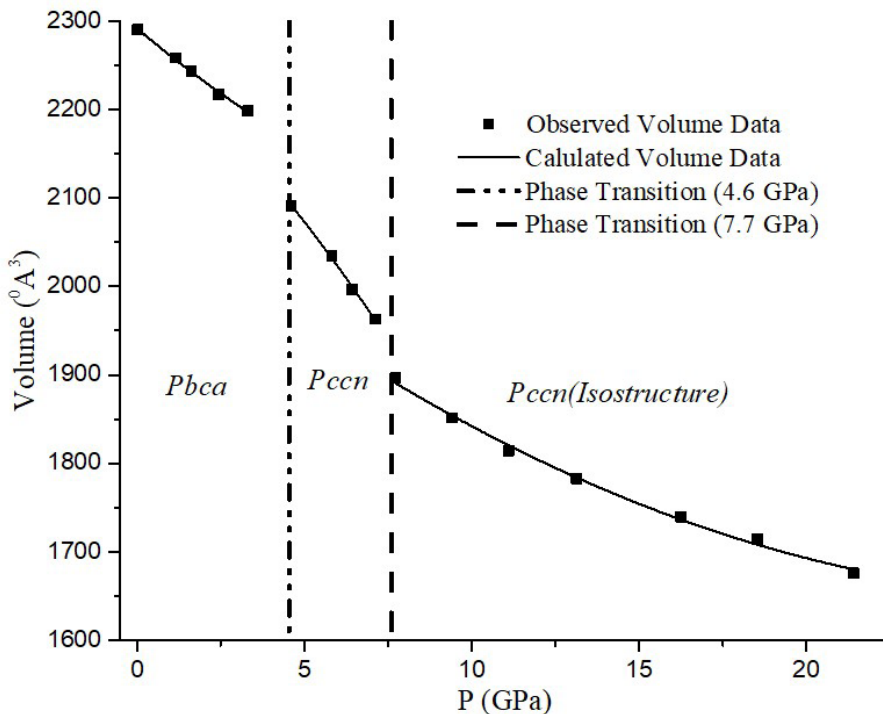


Figure 1. Observed and calculated volume data for $Pbca$, $Pccn$, and $Pccn$ (isostructural) phases.

Table 1

a_0 , a_1 , and a_2 values from Eq. (2.9) for Pbcn, Pccn, and Pccn (isostructural) phases of $(PMA)_2PbI_4$ at room temperature.

$(PMA)_2PbI_4$	a_0 (\AA^3)	$-a_1$ ($(\text{\AA}^3)/\text{GPa}$)	a_2 ($(\text{\AA}^3)^2/\text{GPa}^2$)	V_0 (\AA^3)
Pbcn	2291.61	31.79	0.98	2291.61
Pccn	2271.55	30.68	-1.81	2271.55
Pccn(Isostruc.)	2085.83	28.95	0.46	2085.83

By integrating Eq. (2.7), the frequency value as a function of pressure for each mode can be calculated as follows:

$$v_T(P) = v_0 \exp[-\gamma_T \ln(V_T(P)/V_0)] + \text{Const.} \quad (2.11)$$

The vibrational frequencies of 794 cm^{-1} $v_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} and 1045 cm^{-1} $\beta(\text{C-H})$, 1212 cm^{-1} $\delta(\text{C-H})$, 1496 cm^{-1} $\delta(\text{NH}_3^+)$, 2903 cm^{-1} $v_s(\text{CH}_2^+)$, and 3068 cm^{-1} $v_s(\text{NH}_3^+)$ IR modes were calculated as functions of pressure by excluding the constant term for each phase through the indicated Grüneisen parameter (Eq. 2.8) and the volume value (Eq. 2.9). The calculations for the vibrational frequencies of each IR mode did not, however, correspond to the observed frequencies. Hence, Eq. (2.11) had to be corrected with a pressure-dependent second-order polynomial, which is a constant term. In order to calculate exactly the IR frequencies of $v_s(\text{C-N})$, $\beta(\text{C-H})$, $\delta(\text{C-H})$, $\delta(\text{NH}_3^+)$, $v_s(\text{CH}_2^+)$, and $v_s(\text{NH}_3^+)$ modes, the constants of the additional pressure-dependent polynomial had to be determined.

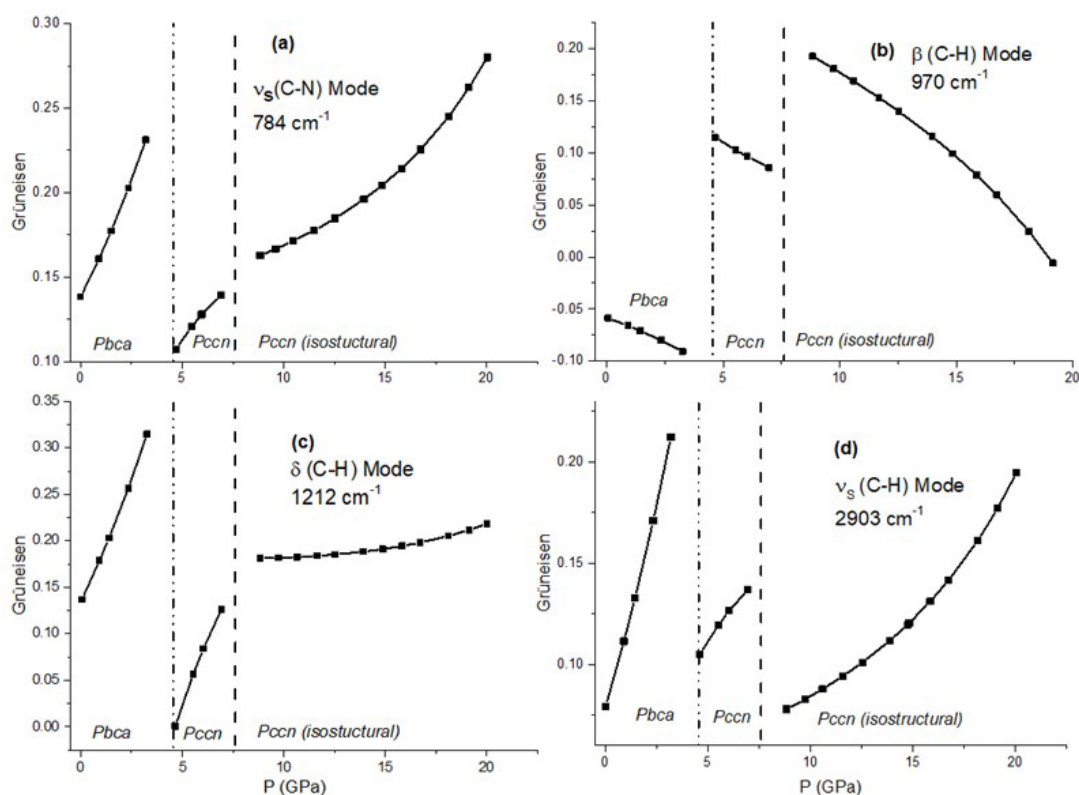


Figure 2. Grüneisen parameter of isothermal mode (Eq. 2.8) vs. pressure for Pbcn, Pccn, and Pccn(isostructural) phases.

c_0 , c_1 , and c_2 are the constants of the additional polynomial. The coefficients were determined by iterating Eq. (2.12) to the experimental frequencies data at room temperature (Tian et al., 2020) (Table 3). Hence, the predicted IR frequencies of the $\nu_s(\text{C-N})$, $\beta(\text{C-H})$, $\delta(\text{C-H})$, $\delta(\text{NH}_3^+)$, $\nu_s(\text{CH}_2^+)$, and $\nu_s(\text{NH}_3^+)$ modes with the observed data as functions of pressure for $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ were plotted in Fig. 3, 4, and 5.

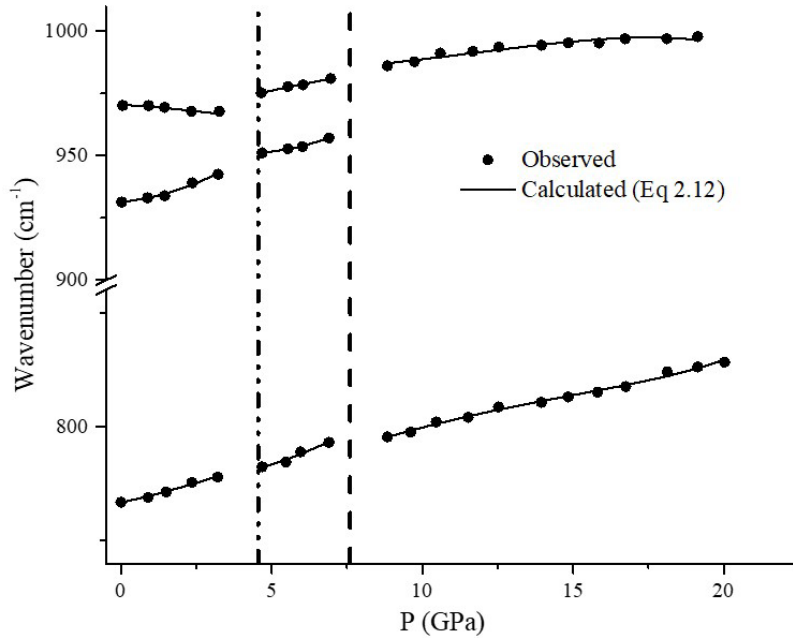


Figure 3. IR wavenumbers of 794 cm^{-1} $\nu_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} , $\beta(\text{C-H})$, modes as function of pressure for Pbca, Pccn, and Pccn(isostructural) phases.

$$\nu_T(P) = c_0 + c_1P + c_2P^2 + \nu_0 \exp[-\gamma_T \ln(V_T(P)/V_0)] \tag{2.12}$$

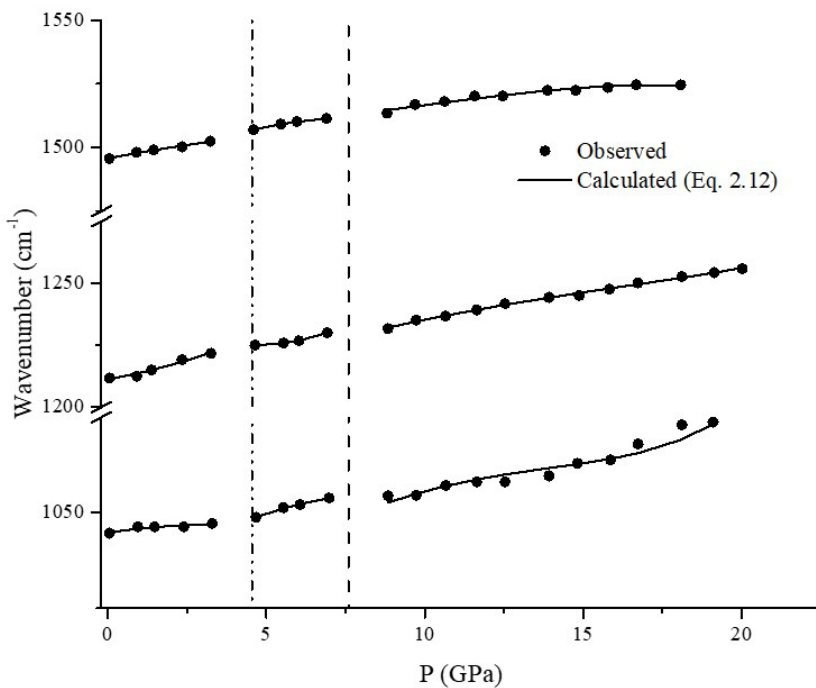


Figure 4. IR wavenumbers of 1045 cm^{-1} $\beta(\text{C-H})$, 1212 cm^{-1} $\delta(\text{C-H})$, 1496 cm^{-1} $\delta(\text{NH}_3^+)$ modes as function of pressure for Pbca, Pccn, and Pccn(isostructural) phases.

Bulk modulus is a constant used to describe the elasticity of a solid under pressure. In other words, this constant is a measure of a substance's capability of resisting volumic changes under high pressure and sometimes named as incompressibility. If a material has a high bulk modulus constant, the reduced volume under high pressure grows back to its initial volume when the pressure is removed. Bulk modulus is derived from compressibility and inverse of this parameter. In this study, the pressure-dependent isothermal compressibility and bulk modulus $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ were determined for the Pbca, Pccn and Pccn(isostructural) phases as well. In thermodynamics, the isothermal compressibility is calculated by the following relation;

$$\kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad (2.13)$$

By inserting Eq. (2.8) and Eq. (2.12) in Eq.(2.13), the isothermal compressibility can be deduced as a function of IR wavenumber shift. In this way, one can calculate the isothermal compressibility through the Raman frequencies shift and the Grüneisen parameter by using the below relation;

$$\kappa_T = \frac{1}{\gamma_T} \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T \quad (2.14)$$

Fig. 6 shows the calculated pressure dependence of the isothermal compressibility for all the phases. Additionally, the bulk modulus was determined for all the phases in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ by making linear regression to the inverse of the calculated isothermal compressibility (Fig. 7). The slope and intercept of the linear regression of the calculated bulk modulus are shown in Fig. 7.

3. Results and Discussion

Pressure, potentially causing changes in interatomic distance and molecular bond length, can be used to control the mechanic and electronic properties of solids in thermodynamics. Shrinkage in length not only affect mechanical properties but also electronic structure in an atom or molecules. From the viewpoint of mechanical properties, high pressure may cause a conversion from weak van der Waals (π), and hydrogen bonds to strong covalent or ionic bonds, as a result of which the coordination number increases. In terms of electronic properties, one of the most remarkable effects of pressure is a fast increase in the kinetic energies of electrons than in their potential energies. As a result of these alterations, a general trend occurs toward electron delocalization, which leads to pressure-induced energy band expansion, gap closure, and metallization (Zhang, Wang, Lv, & Ma, 2017). The pressure-induced mechanical and electronic changes lead to small changes in macroscopic properties, such as compressibility and bulk modulus. It is possible to produce and develop new types of HOIP structures by advancing pressure under room temperature. Further, the phase transition mechanisms of HOIPs can be managed by controlling pressure. In this study, firstly Eq. (2.9) was fitted to the experimental volume data available in the literature (Fig. 1) (Tian et al., 2020), and then the coefficients of Eq. (2.9) were determined for all the phases in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ (Table 1). Subsequently, the IR frequencies of $794 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} and $1045 \text{ cm}^{-1} \beta(\text{C-H})$, $1212 \text{ cm}^{-1} \delta(\text{C-H})$, $1496 \text{ cm}^{-1} \delta(\text{NH}_3^+)$, $2903 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{CH}_2^+)$, and $3068 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{NH}_3^+)$ modes were calculated as functions of pressure through the calculated volume and Grüneisen value for the $((\text{PMA})_2\text{PbI}_4\text{-I, Pbca})$, $((\text{PMA})_2\text{PbI}_4\text{-II, Pccn})$, and $((\text{PMA})_2\text{PbI}_4\text{-III, Pccn isostructural})$ phases at room temperature. Lastly, the compressibility and bulk modulus of the studied HOIPs were determined with Eq. (2.14) for all the phases.

Table 2

Values of the b_0 , b_1 , and b_2 from Eq. (2.10) for Pbcn, Pccn, and Pccn(isostructural) phases of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ at room temperature.

$(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$				
Pbcn Phase				
$\nu_T(P)$	b_0 (cm^{-1})	b_1 ($\text{cm}^{-1}/\text{GPa}$)	b_2 ($\text{cm}^{-1}/\text{GPa}^2$)	ν_0 (cm^{-1})
784(cm^{-1}) $\nu_s(\text{C-N})$	783.34	1.50	9.61×10^{-2}	783.34
931(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	931.27	1.34	6.97×10^{-1}	931.27
970(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	970.50	-0.78	3.57×10^{-2}	970.50
1045(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	1044.75	1.27	-1.86×10^{-1}	1044.75
1212(cm^{-1}) $\delta(\text{C-H})$	1211.14	2.26	3.36×10^{-1}	1211.14
1496(cm^{-1}) $\delta(\text{NH}_3^+)$	1495.75	2.36	-1.07×10^{-2}	1495.75
2903(cm^{-1}) $\nu_s(\text{CH}_2^+)$	2903.89	-3.16	-6.19×10^{-1}	2903.89
3068(cm^{-1}) $\nu_s(\text{NH}_3^+)$	3067.60	-1.49	1.48×10^{-1}	3067.60
Pccn Phase				
784(cm^{-1}) $\nu_s(\text{C-N})$	787.85	-5.58×10^{-1}	2.66×10^{-1}	787.85
931(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	962.47	-5.83	7.32×10^{-1}	962.47
970(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	962.74	2.87	3.44×10^{-2}	962.74
1045(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	1027.61	6.13	-3.41×10^{-1}	1027.61
1212(cm^{-1}) $\delta(\text{C-H})$	1245.60	-8.89	9.58×10^{-1}	1245.60
1496(cm^{-1}) $\delta(\text{NH}_3^+)$	1484.24	6.98	-4.42×10^{-1}	1484.24
2903(cm^{-1}) $\nu_s(\text{CH}_2^+)$	2877.58	1.49	-8.99×10^{-1}	2877.28
3068(cm^{-1}) $\nu_s(\text{NH}_3^+)$	3062.40	1.73×10^{-2}	-7.97×10^{-2}	3062.40
Pccn(Isostructure) Phase				
784(cm^{-1}) $\nu_s(\text{C-N})$	782.25	1.92	-1.76×10^{-2}	782.25
931(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	-	-	-	-
970(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	959.65	3.98	-1.05×10^{-1}	959.65
1045(cm^{-1}) $\beta(\text{C-H})$	1056.81	-1.28	1.13×10^{-1}	1056.81
1212(cm^{-1}) $\delta(\text{C-H})$	1207.60	3.11	-3.48×10^{-2}	1207.60
1496(cm^{-1}) $\delta(\text{NH}_3^+)$	1486.22	4.22	-1.16×10^{-1}	1486.22
2903(cm^{-1}) $\nu_s(\text{CH}_2^+)$	2855.09	-1.72	-4.19×10^{-2}	2855.09
3068(cm^{-1}) $\nu_s(\text{NH}_3^+)$	3055.68	0.51	-6.54×10^{-2}	3055.68

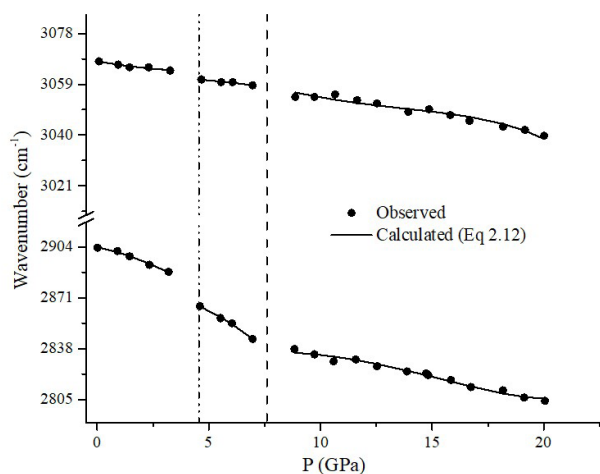


Figure 5. IR wavenumbers of $2903 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{CH}_2^+)$, and $3068 \text{ cm}^{-1} \nu_s(\text{NH}_3^+)$ modes as function of pressure for Pbcn, Pccn and Pccn(isostructural) phases.

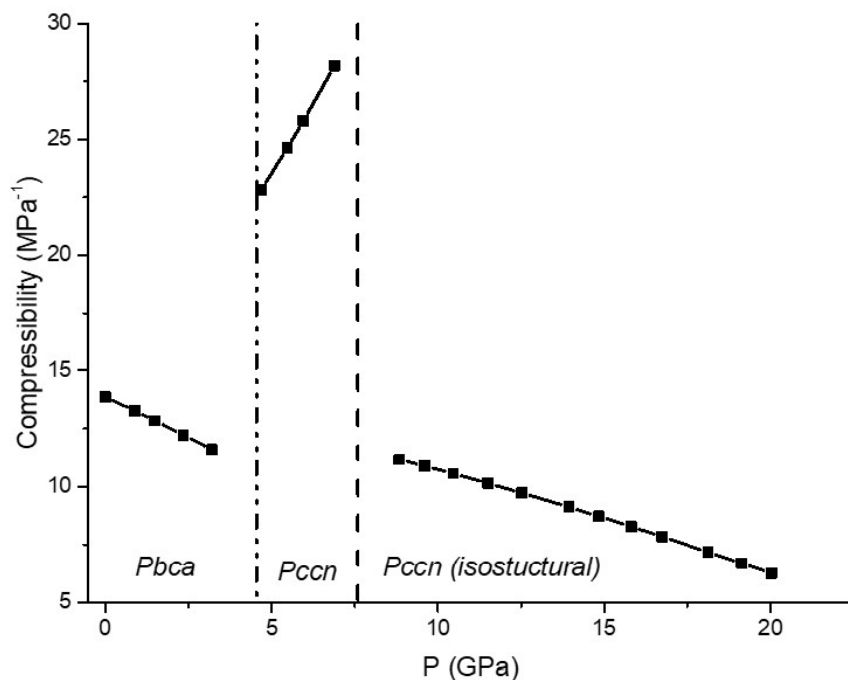


Figure 6. Isothermal compressibility κ_T vs. pressure from Eq. (2.14).

The Grüneisen parameter is used to correlate microscopic variation of materials with measurable macroscopic parameters in thermodynamics, as stated above. In order to correlate between pressure and mechanical, electronic structure in the studied HOIPs, the Grüneisen parameter as a function of pressure was calculated for 794 cm^{-1} $\nu_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} and 1045 cm^{-1} $\beta(\text{C-H})$, 1212 cm^{-1} $\delta(\text{C-H})$, 1496 cm^{-1} $\delta(\text{NH}_3^+)$ modes of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ in the Pbcn, Pccn, and Pccn(isostructural) phases at room temperature (Fig. 2). The parameter was observed to increase with increasing pressure for all the modes except for $\beta(\text{C-H})$ modes (Fig. 2). It is clear from Fig. 2 that there is a discontinuity in the Grüneisen parameter at 4.6 GPa and 7.7 GPa for all the modes. Although the crystal volume of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ varied very slightly with pressure and the structural phase transition could not be seen explicitly at the volume data and Raman frequency data, substantial changes were observed between 0 and 20 GPa and an explicit discontinuity in the Grüneisen parameter at phase transition pressure (Fig. 2). Liu et al. too report a sharp rise in the band gap at 7.7 GPa, caused by inorganic layer structure distortion (Liu et al., 2018). The discontinuity in the Grüneisen parameter and the sharp rising in the band gap in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ at 7.7 GPa was showed to be a isostructural phase transition due to the changes in the electronic structure of the studied HOIPs at this pressure. Tian et al. have inferred from high-pressure X-ray diffraction (XRD) measurements that a structural phase transition between Pbcn and Pccn has occurred at 4.6 GPa (Tian et al., 2020), which was also detected in the Grüneisen parameter calculations in the present study. Although Tian et al. could determine no noticeable peak from the XRD measurements of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ at 7.7 GPa, the Grüneisen parameter calculation in this research paper proved the occurrence of this phase transition.

The IR frequencies of the internal modes in HOIPs shifted slightly due to the pressure-induced variations in length and bend of atomic bond. In general, the bond length between atoms shrank, while the bending angle of Pb-I increased with the increasing pressure. Fig. 3 and 4 show that the wavenumbers (frequency) of $\beta(\text{C-H})$ and $\nu_s(\text{C-N})$ modes in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ tend to increase with pressure, and this behaviour is completely associated with the vibrations of organic ligand (PMA) in $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{NH}_3)_2\text{PbI}_4$. It is known that the distinctive internal IR modes in PMA, e.g., $784\text{-}1045\text{ cm}^{-1}$ $\beta(\text{C-H})$ bending mode in the benzene ring, $970\text{-}1212\text{ cm}^{-1}$, $\nu_s(\text{C-N})$ and $\delta(\text{C-H})$ in the stretching mode, emerge at high frequencies (Cai, Lv, & Feng, 2012). The observed data and performed calculations too indicated this behavior. 1496 cm^{-1} IR mode ($\delta(\text{NH}_3)$ mode) corresponding to the N-H bending mode showed similar characteristic with $\beta(\text{C-H})$, $\nu_s(\text{C-N})$ modes and exhibited blueshift as the pressure was increased. This behaviour can be ascribed to the enhancement of the inter-molecular interaction, specified the strengthening of pressure induced hydrogen bonds. $\nu_s(\text{CH}_2)$

Table 3

Values of the c_0 , c_1 , and c_2 from Eq. (2.12)

$\nu_T(P)$	(PMA)₂PbI₄		
	c_0 (cm ⁻¹)	c_1 (cm ⁻¹ /GPa)	c_2 (cm ⁻¹ /GPa ²)
784(cm ⁻¹) ν_s (C-N)	-6.19 x10 ⁻³	-5.64 x10 ⁻²	-1.76 x10 ⁻¹
931(cm ⁻¹) β (C-H)	-3.91 x10 ⁻²	2.91 x10 ⁻¹	-9.59 x10 ⁻¹
970(cm ⁻¹) β (C-H)	0	0	0
1045(cm ⁻¹) β (C-H)	9.20 x10 ⁻³	-5.81 x10 ⁻²	-2.00 x10 ⁻¹
1212(cm ⁻¹) δ (C-H)	-2.73 x10 ⁻²	1.69 x10 ⁻¹	- 5.19 x10 ⁻¹
1496(cm ⁻¹) δ (NH ₃ ⁺)	1.36 x10 ⁻³	-8.31 x10 ⁻³	-5.91 x10 ⁻²
2903(cm ⁻¹) ν_s (CH ₂ ⁺)	3.46 x10 ⁻²	-2.81 x10 ⁻¹	9.25 x10 ⁻¹
3068(cm ⁻¹) ν_s (NH ₃ ⁺)	-7.29 x10 ⁻³	3.11 x10 ⁻²	-1.43 x10 ⁻¹
	Pbca Phase		
784(cm ⁻¹) ν_s (C-N)	2.27	-1.36	7.72 x10 ⁻³
931(cm ⁻¹) β (C-H)	7.48	-4.43	-8.29 x10 ⁻²
970(cm ⁻¹) β (C-H)	-9.77 x10 ⁻¹	6.32 x10 ⁻¹	6.26 x10 ⁻²
1045(cm ⁻¹) β (C-H)	-4.59	2.81	9.06 x10 ⁻²
1212(cm ⁻¹) δ (C-H)	9.83	-5.87	-1.50 x10 ⁻¹
1496(cm ⁻¹) δ (NH ₃ ⁺)	-5.44	3.37	1.05 x10 ⁻¹
2903(cm ⁻¹) ν_s (CH ₂ ⁺)	-7.48	4.48	-3.03
3068(cm ⁻¹) ν_s (NH ₃ ⁺)	-6.78 x10 ⁻¹	3.96 x10 ⁻¹	-6.98 x10 ⁻³
	Pccn Phase		
784(cm ⁻¹) ν_s (C-N)	-12.73	2.42	-1.34 x10 ⁻¹
931(cm ⁻¹) β (C-H)	-	-	-
970(cm ⁻¹) β (C-H)	-4.79	-3.20	2.86 x10 ⁻¹
1045(cm ⁻¹) β (C-H)	-54.93	10.24	-6.03 x10 ⁻¹
1212(cm ⁻¹) δ (C-H)	-9.25	1.80	-8.74 x10 ⁻²
1496(cm ⁻¹) δ (NH ₃ ⁺)	14.77	-2.89	2.29 x10 ⁻¹
2903(cm ⁻¹) ν_s (CH ₂ ⁺)	36.75	-6.95	4.09 x10 ⁻¹
3068(cm ⁻¹) ν_s (NH ₃ ⁺)	29.88	-5.61	3.39 x10 ⁻¹
	Pccn(Isostructure) Phase		
784(cm ⁻¹) ν_s (C-N)	-12.73	2.42	-1.34 x10 ⁻¹
931(cm ⁻¹) β (C-H)	-	-	-
970(cm ⁻¹) β (C-H)	-4.79	-3.20	2.86 x10 ⁻¹
1045(cm ⁻¹) β (C-H)	-54.93	10.24	-6.03 x10 ⁻¹
1212(cm ⁻¹) δ (C-H)	-9.25	1.80	-8.74 x10 ⁻²
1496(cm ⁻¹) δ (NH ₃ ⁺)	14.77	-2.89	2.29 x10 ⁻¹
2903(cm ⁻¹) ν_s (CH ₂ ⁺)	36.75	-6.95	4.09 x10 ⁻¹
3068(cm ⁻¹) ν_s (NH ₃ ⁺)	29.88	-5.61	3.39 x10 ⁻¹

(C-H stretching) and ν_s (NH₃) (N-H stretching) internal modes in (PMA)₂PbI₄ appeared at 2903 cm⁻¹ and 3068 cm⁻¹, respectively (Fig. 5). These modes exhibited redshift unlike β (C-H), ν_s (C-N), and δ (C-H) modes with the increasing pressure. The reason for the redshift is that the electronegativity of a nitrogen atom is greater than that of a carbon atom. Due to this difference in charge, the distance between N and I atoms in (PMA)₂PbI₄ is shorter than the C-I atoms in the orthorhombic (Pbca) phase. Caused by these short bond lengths, the bond energy in the halide part of (PMA)₂PbI₄ reduces with the increasing pressure. As a result of the weakening in the bonding energy of the halide part, the IR frequency of ν_s (NH₃) and ν_s (CH₂) modes decrease owing to the increasing pressure, as observed experimentally and as evident in the calculations in Fig. 5. The mechanical and electronic structure of HOIPs and the order of molecules in (PMA)₂PbI₄ were slightly altered by the inducing pressure. It can be concluded that the shifts in the IR wavenumber of the modes in the studied HOIPs are directly related to these alterations.

Table 4

Bulk modulus value (intercept (K_0), slope (K'_0)).

$(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$	K_0 (GPa)	K'_0	V_0 (\AA^3)	Pressure Interval (GPa)
Pbca	71.65	4.38	2291.61	$0 < P < 4.6$
Pccn	61.09	-3.72	2271.55	$4.6 < P < 7.7$
Pccn(Isostr.)	29.90	6.07	2085.83	$7.7 < P$

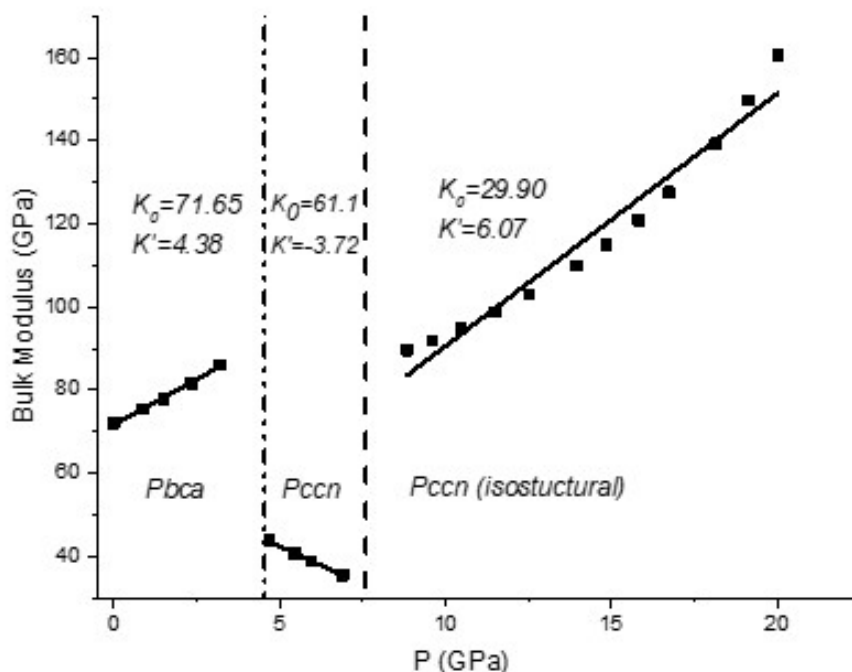


Figure 7. Isothermal Bulk modulus vs. pressure calculated from isothermal compressibility value (κ_T) for Pbca, Pccn, and Pccn(isostructural) phases of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$. Straight line corresponds to linear fit with coefficients (K_0) and (K'_0) as in Table 4.

Isothermal compressibility coefficient of a solid is a measure of the relative volume change in response to a pressure change at a constant temperature. This parameter is very important in the fabrication of perovskite as is the case for all solid materials. The materials with large compressibility are desired in manufacturing processes because their crystal structure can be adjusted very effectively by compression. In this study, the pressure dependence of the isothermal compressibility for the orthorhombic-Pbca (0-4.6 GPa), orthorhombic-Pccn (4.6-7.7 GPa), and orthorhombic-Pccn(isostructural) (7.7-20 GPa) phases were calculated through the Grüneisen parameter and the calculated IR frequency in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ (Fig. 6). When pressure was increased, the compressibility ordinarily decreased for the Pbca and Pccn(isostructural) phases, but it abnormally increased for the Pccn phase. In addition, a sharp change in the compressibility was detected at 4.4 and 7.7 GPa in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ (Fig. 6) due to the reordering of molecules in the vicinity of the phase transition pressure. The abnormal behaviour of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ in the Pccn phase can be attributed to a weak van der Waals interaction between ligand (PMA^+) and metal halide framework. Crystals with a layered structure as in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ mostly exhibit anisotropic behaviour under pressure owing to the various interactions between these layers (Tian et al., 2020). Another important parameter for fabrication processes of bulk materials is the bulk modulus, which refers to the inverse of the isothermal compressibility. Moreover, this parameter was calculated by using the calculated isothermal compressibility for all the phases in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$, as shown in Fig. 7 and Table 4. Tian et al. have determined the Bulk modulus value by fitting the third-order Birch-Murnaghan (BM) equation to the observed pressure-cell volume data (Tian et al., 2020). For the

Pbca phase (0-4.6 GPa), the current study's results ($K_0 = 71.65$ GPa, $K'_0 = 4.38$) and Tian's findings ($K_0 = 73.57$ GPa, $K'_0 = 4$) are almost the same. However, the results in this study are notably different from Titan et al's findings for the Pccn and Pccn(isostructural) phases (Table 4). The BM equation includes only the volume data, which are macroscopic parameters in thermodynamics (Birch, 1947), so the microscopic changes in the molecular structure cannot be analyzed explicitly. In the calculations, the microscopic changes through the Grüneisen parameter were taken into account, by which the isothermal compressibility and the bulk modulus were determined accurately.

4. Conclusion

In this study, the mechanical properties of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$, a good candidate for optoelectronic and photovoltaic applications, were analyzed in terms of pressure-induced phase transitions. The IR wavenumbers were calculated for the 794 cm^{-1} $\nu_s(\text{C-N})$, 931 cm^{-1} , 970 cm^{-1} and 1045 cm^{-1} $\beta(\text{C-H})$, 1212 cm^{-1} $\delta(\text{C-H})$, 1496 cm^{-1} $\delta(\text{NH}_3^+)$, 2903 cm^{-1} $\nu_s(\text{CH}_2^+)$, and 3068 cm^{-1} $\nu_s(\text{NH}_3^+)$ modes as the functions of pressure at room temperature in the Pbca, Pccn and Pccn(isostructural) phases of the $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ through the Grüneisen parameter. The calculated IR wavenumbers congruent with the observed data proved that the theoretical approach adopted for the purpose of this research study is practicable to calculate the pressure dependency of the IR wavenumber at room temperature. Besides, the isothermal compressibility and bulk modulus were calculated depending on pressure through the isothermal mode-Grüneisen parameter for the Pbca, Pccn and Pccn(isostructural) phases in $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$. The results for the bulk modulus were in accord with those by Tian et al. (2020) only for the Pbca phase; however, the result for the Pccn and Pccn(isostructural) phases did not corroborate those of Tian et al.. One can adjust desirable mechanical and electronic properties of $(\text{PMA})_2\text{PbI}_4$ by stretching or compressing in optoelectronic applications thanks to this small bulk modulus value.

Author Contributions

Arzu Kurt: Conceived and designed the analysis and wrote the paper.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Bandiello, E., Ávila, J., Gil-Escrig, L., Tekelenburg, E., Sessolo, M., & Bolink, H. J. (2016). Influence of mobile ions on the electroluminescence characteristics of methylammonium lead iodide perovskite diodes. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(47), 18614-18620. doi: [10.1039/C6TA06854E](https://doi.org/10.1039/C6TA06854E)
- Birch, F. (1947). Finite Elastic Strain of Cubic Crystals. *Physical Review*, 71(11), 809-824. doi: [10.1103/PhysRev.71.809](https://doi.org/10.1103/PhysRev.71.809)
- Breternitz, J., & Schorr, S. (2018). What Defines a Perovskite? *Advanced Energy Materials*, 8(34), 1802366. doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aenm.201802366>
- Cai, Y., Lv, J., & Feng, J. (2012). Spectral Characterization of Four Kinds of Biodegradable Plastics: Poly (Lactic Acid), Poly (Butylenes Adipate-Co-Terephthalate), Poly (Hydroxybutyrate-Co-Hydroxyvalerate) and Poly (Butylenes Succinate) with FTIR and Raman Spectroscopy. *Journal of Polymers and the Environment*, 21, 108-114. Doi: [10.1007/s10924-012-0534-2](https://doi.org/10.1007/s10924-012-0534-2)
- Dou, L., Wong, A. B., Yu, Y., Lai, M., Kornienko, N., Eaton, S. W., . . . Yang, P. (2015). Atomically thin two-dimensional organic-inorganic hybrid perovskites. *Science*, 349(6255), 1518-1521. doi: [10.1126/science.aac7660](https://doi.org/10.1126/science.aac7660)
- Einstein, A. (1907). Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme. *Annalen der Physik*, 327(1), 180-190. doi: <https://doi.org/10.1002/andp.19063270110>
- Fang, H.-H., Raissa, R., Abdu-Aguye, M., Adjokatse, S., Blake, G. R., Even, J., & Loi, M. A. (2015). Hybrid Perovskites: Photophysics of Organic-Inorganic Hybrid Lead Iodide Perovskite Single Crystals (Adv. Funct. Mater. 16/2015). *Advanced Functional Materials*, 25(16), 2346-2346. doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.201570107>
- Grüneisen, E. (1912). Theorie des festen Zustandes einatomiger Elemente. *Annalen der Physik*, 344(12), 257-306. doi: <https://doi.org/10.1002/andp.19123441202>

- Kawano, N., Koshimizu, M., Sun, Y., Yahaba, N. F., Yutaka, Yanagida, T., & Asai, K. (2014). Effects of Organic Moieties on Luminescence Properties of Organic–Inorganic Layered Perovskite-Type Compounds. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(17), 9101-9106. doi: [10.1021/jp4114305](https://doi.org/10.1021/jp4114305)
- Kooijman, A., Muscarella, L. A., & Williams, R. M. (2019). Perovskite Thin Film Materials Stabilized and Enhanced by Zinc(II) Doping. *Applied Sciences*, 9(8), 1678. Doi: <https://doi.org/10.3390/app9081678>
- Kurt, A. (2020). Pressure dependence of the Raman modes for orthorhombic and monoclinic phases of CsPbI₃ at room temperature. *Journal of Applied Physics*, 128(7), 075106. doi: [10.1063/5.0012355](https://doi.org/10.1063/5.0012355)
- Liu, S., Li, F., Han, X., Xu, L., Yao, F., & Liu, Y. (2018). Preparation and Two-Photon Photoluminescence Properties of Organic Inorganic Hybrid Perovskites (C₆H₅CH₂NH₃)₂PbBr₄ and (C₆H₅CH₂NH₃)₂PbI₄. *Applied Sciences*, 8(11), 2286. Doi: <https://doi.org/10.3390/app8112286>
- Mao, H.-K., Chen, X.-J., Ding, Y., Li, B., & Wang, L. (2018). Solids, liquids, and gases under high pressure. *Reviews of Modern Physics*, 90(1), 015007. doi: [10.1103/RevModPhys.90.015007](https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.015007)
- Ou, T., Liu, C., Yan, H., Han, Y., Wang, Q., Liu, X., . . . Gao, C. (2019). Effects of pressure on the ionic transport and photoelectrical properties of CsPbBr₃. *Applied Physics Letters*, 114(6), 062105. doi: [10.1063/1.5079919](https://doi.org/10.1063/1.5079919)
- Ou, T., Ma, X., Yan, H., Shen, W., Liu, H., Han, Y., . . . Gao, C. (2018). Pressure effects on the inductive loop, mixed conduction, and photoresponsivity in formamidinium lead bromide perovskite. *Applied Physics Letters*, 113(26), 262105. doi: [10.1063/1.5063394](https://doi.org/10.1063/1.5063394)
- Planck, M. (1901). Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum. *Annalen der Physik*, 309(3), 553-563. doi: <https://doi.org/10.1002/andp.19013090310>
- Qin, X., Dong, H., & Hu, W. (2015). Green light-emitting diode from bromine based organic-inorganic halide perovskite. *Science China Materials*, 58(3), 186-191. doi: [10.1007/s40843-015-0035-4](https://doi.org/10.1007/s40843-015-0035-4)
- Ren, X., Yan, X., Ahmad, A. S., Cheng, H., Li, Y., Zhao, Y., . . . Wang, S. (2019). Pressure-Induced Phase Transition and Band Gap Engineering in Propylammonium Lead Bromide Perovskite. *The Journal of Physical Chemistry C*, 123(24), 15204-15208. doi: [10.1021/acs.jpcc.9b02854](https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b02854)
- Ren, X., Yan, X., Gennep, D. V., Cheng, H., Wang, L., Li, Y., . . . Wang, S. (2020). Bandgap widening by pressure-induced disorder in two-dimensional lead halide perovskite. *Applied Physics Letters*, 116(10), 101901. doi: [10.1063/1.5143795](https://doi.org/10.1063/1.5143795)
- Stacey, F. D., & Hodgkinson, J. H. (2019). Thermodynamics with the Grüneisen parameter: Fundamentals and applications to high pressure physics and geophysics. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 286, 42. doi: [10.1016/j.pepi.2018.10.006](https://doi.org/10.1016/j.pepi.2018.10.006)
- Tian, C., Liang, Y., Chen, W., Huang, Y., Huang, X., Tian, F., & Yang, X. (2020). Hydrogen-bond enhancement triggered structural evolution and band gap engineering of hybrid perovskite (C₆H₅CH₂NH₃)₂PbI₄ under high pressure. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(4), 1841-1846. doi: [10.1039/C9CP05904K](https://doi.org/10.1039/C9CP05904K)
- Wang, L., Ou, T., Wang, K., Xiao, G., Gao, C., & Zou, B. (2017). Pressure-induced structural evolution, optical and electronic transitions of nontoxic organometal halide perovskite-based methylammonium tin chloride. *Applied Physics Letters*, 111(23), 233901. doi: [10.1063/1.5004186](https://doi.org/10.1063/1.5004186)
- Wang, L., Wang, K., Xiao, G., Zeng, Q., & Zou, B. (2016). Pressure-Induced Structural Evolution and Band Gap Shifts of Organometal Halide Perovskite-Based Methylammonium Lead Chloride. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 7(24), 5273-5279. doi: [10.1021/acs.jpcllett.6b02420](https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.6b02420)
- Wang, Y., Lü, X., Yang, W., Wen, T., Yang, L., Ren, X., . . . Zhao, Y. (2015). Pressure-Induced Phase Transformation, Reversible Amorphization, and Anomalous Visible Light Response in Organolead Bromide Perovskite. *Journal of the American Chemical Society*, 137(34), 11144-11149. doi: [10.1021/jacs.5b06346](https://doi.org/10.1021/jacs.5b06346)
- Yang, S., Niu, W., Wang, A.-L., Fan, Z., Chen, B., Tan, C., . . . Zhang, H. (2017). Ultrathin Two-Dimensional Organic–Inorganic Hybrid Perovskite Nanosheets with Bright, Tunable Photoluminescence and High Stability. *Angewandte Chemie International Edition*, 56(15), 4252-4255. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.201701134>
- Yuan, Y., Liu, X.-F., Ma, X., Wang, X., Li, X., Xiao, J., . . . Wang, L. (2019). Large Band Gap Narrowing and Prolonged Carrier Lifetime of (C₄H₉NH₃)₂PbI₄ under High Pressure. *Advanced Science*, 6(15), 1900240. doi: <https://doi.org/10.1002/advs.201900240>
- Zhang, L., Wang, Y., Lv, J., & Ma, Y. (2017). Materials discovery at high pressures. *Nature Reviews Materials*, 2(4), 17005. doi: [10.1038/natrevmats.2017.5](https://doi.org/10.1038/natrevmats.2017.5)



Growth and Feeding Ecology of Dnieper chub *Petroleuciscus borysthenicus* (Kessler, 1859) in Şahinkaya Reservoir, an Artificial Water Body of an Island Ecosystem (Gökçeada, Turkey)

Sevan Ağdamar^{1*}, Gülşah Saç²

¹Gökçeada School of Applied Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey

²Department of Marine and Freshwater Resources Management, Faculty of Aquatic Sciences, Istanbul University, Istanbul, Turkey

Article History

Received: 14.10.2021

Accepted: 17.11.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – Bio-ecological studies and life-history traits of small-bodied fishes are critical for the understanding of their ecological role as well as the assessment of their position and continuity in the ecosystems. The current study goals to present initial data on growth and feeding habits of small-bodied *Petroleuciscus borysthenicus* inhabited in an island ecosystem (Gökçeada, Turkey). During the seasonally sampling surveys from May 2020 to January 2021, a total of 163 specimens were collected from Şahinkaya Reservoir using electrofishing. SL and W values of samples ranged from 2.6–10.0 cm and 0.32–25.68 g, respectively. LWR and K values were estimated for all specimens as $W=0.017 \times SL^{3.114}$ ($r=0.988$) and $2.04 (\pm 0.28)$, respectively. F:M sex ratio was calculated as 1:1.33 with no significant difference from the ratio of 1:1 ($X^2=0.02$; $p>0.05$). Diet of the species comprised of ten different food items. Plant (63.6%) was the most preferred food item from the point of frequency of occurrence (F%), pursued by Diptera (31.8%) and Odonata (12.7%). According to IRI (%) values of food items, Diptera was the dominant food item in all seasons. B and B_A values were estimated as 3.18 and 0.24, respectively. The results showed that *P. borysthenicus* was more selective on conveniently accessible food materials in the environment and its food preference was affected by seasonal food supply.

Keywords – Condition factor, feeding habit, growth, insular ecosystem, length-weight relationship

1. Introduction

A fish species' body size is the result of evolutionary processes such as speciation, genetic drift, and natural selection, and it is correlated with a remarkable array of morphological, physical, physiological, and behavioural characteristics that allow it to adapt to its environment (Woodward & Warren, 2007; Albert & Johnson, 2012). Small-bodied fish species predominate in freshwater systems, particularly in tributaries of running waters or lakes. These fish, unlike marine species, are generally not preferred as human food and are not subject to fishing pressure. Growth, which is linked to natural longevity, age at maturity, and reproductive efficiency, as well as feeding behaviour, which determines their ecological niche, are generally overlooked in these small-scale fish due to their lack of commercial value (Kottelat & Freyhof, 2007). Bio-ecological studies and biographical characteristics of small-scale freshwater fish species, on the other hand, are critical for understanding the ecological role of species, as well as evaluating their position and continuity in ecosystems, when it comes to ecosystem management and species conservation status assessment (Chrisafi et al., 2007; Saç & Özuluğ, 2020a).

Petroleuciscus borysthenicus (Kessler, 1859) is the only species of the genus *Petroleuciscus* in continental Europe with a wide range and is known from the west, north and east of Black Sea and Azov Seas, the Aegean Sea, and north/northwestern Turkey (Kottelat & Freyhof, 2007; Öztürk & Küçük, 2007; Saygun et al., 2017; Saç & Özuluğ, 2019; Sarı et al., 2019). This small-bodied fish prefers shallow areas with slow currents and a wide range of habitat tolerance, from montane streams to marshes and lakes (Kottelat

¹ agdamars@gmail.com

² gulsahsac@gmail.com

*Corresponding Author

& Freyhof, 2007; Saç & Özüluğ, 2017). This fish was assessed as Least Concern (LC) species according to the IUCN criteria due to it has been widespread and abundant (Freyhof & Kottelat, 2008). However, limited information is available on the life history and bio-ecological characteristics of *P. borysthenicus*. Some previous studies available on the species are mainly focusing on length-weight relationships (LWRs) (Koutrakis & Tsikliras, 2003; Tarkan et al., 2006, 2009; İlhan et al., 2012) whereas the only data on growth, age and reproductive traits of *P. borysthenicus* from Turkey are reported by Serezli (2017) for the population inhabiting the streams flowing into Sapanca Lake.

Because of their unique traits and vulnerabilities, island ecosystems are of great significance for the long-term biological diversity conservation (Balzan et al., 2018). Thus, these unique ecosystems support a high level of biological diversity as well as privatized flora and fauna (MacArthur & Wilson, 1967). Because insular ecosystems are remote from the mainland, they can be used as natural experimental research areas to track changes in fauna and flora and understand the effects on habitat (Velmurugan, 2018).

Gökçeada, which is located near Çanakkale in the northwestern zone of the Aegean Sea, is the largest island of Turkey. The island covers an area of 290 km², with a 95 km coastline and the presence of *P. borysthenicus* was recently recorded from this island (Bakaç, 2018). The distribution of the species on the island is very limited; it inhabits only Çıkırım Stream and Şahinkaya Reservoir, which was built on this stream for irrigation purpose in the 1980s. Considering the current insufficient knowledge, there is a need to identify the life-history traits and bio-ecological characteristics of *P. borysthenicus*. The goal of the present study was to identify some growth patterns, feeding habits, and diet of *P. borysthenicus* living in Şahinkaya Reservoir.

2. Materials and Methods

Specimens of *P. borysthenicus* were collected seasonally from May 2020 to January 2021 from Şahinkaya Reservoir (40.1134000 N, 25.7721278 E; Gökçeada, Turkey) using electrofishing (SAMUS 1000 portable electroshocker; frequency 50-55 Hz). It is a shallow reservoir that was established for irrigation purposes on the Çıkırım Stream. Fish were sampled from approximately 100 m of shoreline with a max. depth of 1 meter in the reservoir's south region (Figure 1). Fish specimens were anaesthetized with clove oil and transferred to laboratory on ice. Total length (TL), fork length (FL) and standard length (SL) were all measured with a precision of 0.1 cm in the laboratory. On digital scales with a sensitivity of 0.01 g, total body weight (W) was weighed. Fish were sexed using a microscopic or macroscopic examination of the gonads. Observed sex ratios (female to male) were compared to the theoretical 1:1 ratio using the test of chi-square (Zar, 1999).



Figure 1. Map of sampling location in Şahinkaya Reservoir (Gökçeada Island, Çanakkale, Turkey)

The following equation was applied to estimate the LWR: $W=aL^b$, where W represents total weight, L represents standard length, and a and b represent parameters of regression (Le Cren, 1951; Froese, 2006). Equation ($W=aL^b$) was converted to natural logarithmic form ($\ln W = \ln a + b \ln L$), and the regression analysis calculated the parameters a (regression section) and b (slope). Equation was applied to estimate the confidence intervals (95%) for parameters a and b $95\%CI=x \pm (t_{0.05, (n-2)} \times SE)$ (x : a and b ; t : table value of t (t-test, 95% confidence); SE : standard error value of a and b ; see King 2007). To be comparable to the results of several research utilizing different length measures, the LWR was determined using linear regression analyses. The calculation of condition was performed using the Fulton's Condition Factor $K=(W/L^3) \times 100$, where W represents total weight (g) and L represents standard length (cm) (Ricker, 1975).

Fish were dissected and their digestive tracts (DTs) were removed for the diet analyses. Before examinations, all DTs were fixed in formaldehyde solution (4%). The index of vacuity (VI) was calculated as a percentage of empty DTs to identify seasonal changes in feeding intensity; $VI\%=(N_e/N_t) \times 100$, where N_e denotes point of empty DTs and N_t denotes total point of DTs (Sarkhanizadeh et al., 2014). Food objects were determined and classified to lowest probable taxonomic level by binocular microscope. After drying at 80°C for 2–4 hours, countable objects were counted and all food items were weighted (nearest 0.0001 g).

Each prey item's dietary value was determined by calculating its frequency of occurrence (F%) and relative importance index (IRI%, see Hyslop 1980) to identify the species' feeding habits: $IRI\%=[((N\%+W\%) \times F\%)/\Sigma((N\%+W\%) \times F\%)] \times 100$, where F% denotes frequency of occurrence percentage [(point of DTs involving a food object/total points of DTs with food) $\times 100$], N% represents the quantitative percentage of DTs including a specific food item in comparison to the total point of DTs, and W% is the gravimetric percentage of a specific food object in connection with the total weight of all consumed taxa. The significance of uncountable prey objects (e.g. plant materials) was assessed by taking their F (%) values into account. IRI (%) was used for only countable objects.

Schoener's Index (α ; see Schoener 1970) was used to calculate the overlap in diet between seasons; $\alpha=1-0.5(\Sigma(P_{xi}-P_{yi}))$, where P_{xi} and P_{yi} denote points proportions of food category i , in diets group x and group y . F (%) and IRI (%) values of food objects were used as point proportions for the index, respectively. Index values from 0 to 1, with overlap values of $\alpha=0.6$ or larger considered biologically relevant from the point of prey objects ingested by groups of x and y (Macpherson et al., 2010).

Costello's (1990) modified procedure was applied as a visual test to understand the significance of prey in the diet data and to evaluate the species' feeding strategy (Amundsen et al., 1996). Prey-specific abundance ($P_i\%$) was figured against the $F_i\%$ in this procedure. The estimation of the prey-specific abundance; $P_i=(\Sigma S_i/\Sigma S_{ii}) \times 100$; where P_i denotes prey-specific abundance of prey i , S_i represents the DT content (numerical) composed of prey i , and S_{ii} denotes total DT content in only those predators with prey i in their DT.

Levins' measure of niche breadth (Levins, 1968) and Levins' standardized (Hurlbert, 1978) index were used to calculate the species' dietary niche breadth; $B=1/\Sigma(P_j)^2$ and $B_A=(B-1)/(n-1)$, where B denotes Levins' measure of niche breadth, P_j represents the numerical proportion of individuals discovered using source j , B_A denotes Levins' standardized and n is the point of probable source states. When all specimens consist of only one source state, B and B_A are minimal (maximum specialization and minimum niche breadth). B values range from 1 to n , where n is total point of source states and B_A values range from 0 to 1.0 (Krebs, 1998). B_A values are specified higher when they are higher than 0.6, medium when they ranged from 0.4 and 0.6, and lower when they are less than 0.4 (Novakowski et al., 2008).

3. Results and Discussion

A total of 163 *P. borysthenicus* specimens were caught from Şahinkaya Reservoir. Specimens' SL and W ranged from 2.6 to 10.0 cm and 0.32 to 25.68 g, respectively (Table 1). The sex ratio was estimated to be 1:1.33, with no significant difference from the ratio of 1:1 ($\chi^2 = 0.02$; $p > 0.05$). The LWR of *P. borysthenicus* was calculated as $W=0.017 \times SL^{3.114}$ ($r=0.988$). For all individuals, the slopes of relationships (b values) pointed out a positive allometric growth ($b>3$). Table 1 shows the SL and W distributions, as well as the calculated parameters of LWRs for both sexes. The LWR results are $SL=0.801 \times TL+0.076$ ($r=0.996$), $SL=0.870 \times FL+0.099$ ($r=0.996$) and $FL=0.919 \times TL-0.018$ ($r=0.998$), respectively.

Table 1

Distribution of SL and W and calculated values of LWRs of *P. borysthenticus* inhabited in Şahinkaya Reservoir

Sexes	n	SL, cm	W, g	Regression Parameters		95% CL of <i>a</i>	95% CL of <i>b</i>	r
		Min.-Max.	Min.-Max.	<i>a</i>	<i>b</i>			
Female	54	3.8 – 10.0	1.01 – 25.68	0.012	3.304	0.015 – 0.019	3.160 – 3.449	0.988
Male	72	3.9 – 9.0	0.97 – 16.12	0.017	3.088	0.013 – 0.024	2.917 – 3.259	0.974
All ind.	163	2.6 – 10.0	0.32 – 25.68	0.017	3.114	0.014 – 0.019	3.038 – 3.190	0.988

Average K (\pm SD) values for female, male and all individuals were 2.09 (\pm 0.25), 2.04 (\pm 0.30) and 2.04 (\pm 0.28), respectively. For both sexes and all specimens, seasonal variation in K value was calculated (Table 2). The K value increased to maximum values for both sexes in the summer.

Table 2

Seasonal variations of SL and W distribution and K values (\pm SD) for female, male and all ind. of *P. borysthenticus* inhabited in Şahinkaya Reservoir

Sex	n	Spring			n	Summer		
		SL, cm Min.-Max.	W, g Min.-Max.	K \pm SD		SL, cm Min.-Max.	W, g Min.-Max.	K \pm SD
Female	15	4.4 – 12.31	1.49 – 12.31	2.08 \pm 0.15	12	5.6 – 10.0	4.65 – 25.68	2.41 \pm 0.13
Male	22	4.0 – 7.2	1.46 – 8.00	2.11 \pm 0.21	13	5.1 – 8.0	3.47 – 12.00	2.38 \pm 0.22
All ind.	44	3.5 – 8.3	0.91 – 12.31	2.08 \pm 0.20	26	3.6 – 10.0	1.20 – 25.68	2.40 \pm 0.18
Sex	n	Autumn			n	Winter		
		SL, cm Min.-Max.	W, g Min.-Max.	K \pm SD		SL, cm Min.-Max.	W, g Min.-Max.	K \pm SD
Female	16	6.0 – 8.6	4.78 – 12.24	2.08 \pm 0.13	11	3.8 – 6.3	1.01 – 4.61	1.76 \pm 0.13
Male	21	6.3 – 9.0	6.00 – 16.12	2.05 \pm 0.19	16	3.9 – 6.6	0.97 – 4.97	1.67 \pm 0.16
All ind.	57	2.6 – 9.0	0.32 – 16.12	2.07 \pm 0.17	36	3.4 – 6.6	0.72 – 4.97	1.71 \pm 0.14

Among 163 investigated individuals, only 110 fish had stomach contents. Vacuity index (VI, %) has differed by seasons: it was calculated as the highest in autumn (42.1%) and the lowest in summer (3.8%; see Table 3). The B and the B_A values were estimated as 3.18 and 0.24, respectively. The results showed that *P. borysthenticus* mainly fed on a limited range of prey. B and B_A in the diet of the species are indicated in Table 2. B values ranged from 1.4 (in winter) to 5.2 (in summer), while the B_A values varied between 0.1 (in winter) and 0.6 (in summer).

Table 3

Seasonal values of VI (%), B and B_A indices for *P. borysthenticus* inhabited in Şahinkaya Reservoir

	Spring (n=44)	Summer (n=26)	Autumn (n=57)	Winter (n=36)
Vacuity index (VI, %)	38.6	3.8	42.1	30.6
Levins' measure of niche breadth (B)	5.2	2.2	2.8	1.4
Levins' standardised niche breadth (B_A)	0.6	0.4	0.4	0.1

The species' diet consisted of 10 different food items; Diptera, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, Hemiptera, Coleoptera, Cladocera, Bivalvia, Hirudinea and Plant (macrophytes and algae). The IRI% could not be calculated in the plant because it is an uncountable food type. However, Plant (63.6%) was the most preferred food item from the point of frequency of occurrence (F%), pursued by Diptera (31.8%) and Odonata (12.7%). According to IRI (%) values of food items, Diptera predominated in all seasons (Table 4) and it was followed by Odonata in spring (37.6%), Hemiptera in summer (19.6%) and autumn (1.3%), and Hirudinea in winter (17.0%, see Table 4).

Table 4

IRI (%) values of food items in diet of *P. borysthenticus* inhabited in Şahinkaya Reservoir (Bold numerals show the highest importance values of food items according to F% and IRI% values)

	Spring				Summer				Autumn				Winter			
	F (%)	W (%)	N (%)	IRI (%)	F (%)	W (%)	N (%)	IRI (%)	F (%)	W (%)	N (%)	IRI (%)	F (%)	W (%)	N (%)	IRI (%)
Diptera	44.4	25.7	38.2	45.6	28.0	0.7	57.9	72.9	42.4	7.6	89.2	97.7	8.0	0.6	50.0	66.5
Ephemeroptera	7.4	2.2	3.6	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Odonata	37.0	45.0	18.2	37.6	8.0	5.3	15.8	7.5	6.1	1.5	2.7	0.6	-	-	-	-
Trichoptera	7.4	0.4	3.6	0.5	-	-	-	-	3.0	1.1	1.4	0.2	-	-	-	-
Hemiptera	22.2	14.2	23.6	13.5	16.0	1.3	26.3	19.6	9.1	0.4	5.4	1.3	-	-	-	-
Coleoptera	3.7	1.8	1.8	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cladocera	11.1	0.3	10.9	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	<0.1	25.0	16.5
Plant	18.5	10.6	-	-	88.0	92.7	-	-	60.6	87.4	-	-	92.0	98.5	-	-
Bivalvia	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	2.1	1.4	0.2	-	-	-	-
Hirudinea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	0.9	25.0	17.0

Food overlap values between the seasons are given in Table 5. The food overlap, calculated using the F (%), was significant for summer vs. autumn and summer vs. winter. A significant overlap in food composition, calculated using the IRI (%), was also observed between all the seasons except spring vs. autumn and spring vs. winter.

Table 5

Dietary overlap values (Schoener's Index) between the seasons. Significant values are those that are equal to or higher than 0.6 (* implying that overlap is significant)

	F (%)			IRI (%)		
	Summer	Autumn	Winter	Summer	Autumn	Winter
Spring	0.25	0.41	0.01	0.67*	0.48	0.48
Summer	-	0.72*	0.72*	-	0.75*	0.67*
Autumn	-	-	0.52	-	-	0.67*

Figure 2 indicates a schematic of the modified Costello graphical approach, and *P. borysthenticus* appears to have a generalist feeding strategy, with all prey points on the lower side of the diagram. From the point of prey importance, Bivalvia, Hirudinea, Coleoptera, Odonata, Cladocera, Trichoptera and Ephemeroptera had low axis values ($P_i\%$ and $F_i\%$), indicating a rare feeding behavior. Plant status on the diagram (Figure 2) and to be consumed by more than half of the specimens ($F_i\%=63.6\%$) contributes to the specialist feeding strategy of *P. borysthenticus* on it.

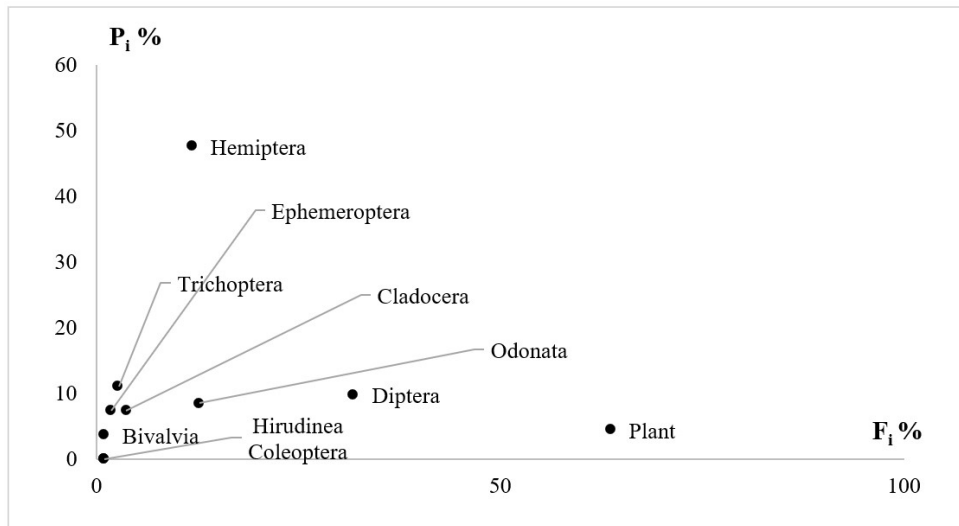


Figure 2. Feeding strategy diagram of modified Costello for the specimens of *P. borysthenicus* inhabited in Şahinkaya Reservoir.

The expected range for the value of the b value in the LWR equations is 2.5 – 3.5 (Froese, 2006) and for this research, b values for *P. borysthenicus* population inhabited in Şahinkaya Reservoir are within this range. The growth type of *P. borysthenicus* which calculated as positively allometric ($b > 3$) in this research is similar to the results of other works performed in Sapanca Lake, Ömerli Reservoir, Küçükçekmece Lagoon and the streams of Biga Peninsula (Tarkan et al., 2006, 2009; İlhan et al., 2012). In contrast, Koutrakis & Tsikliras (2003) reported a negative growth type for *P. borysthenicus* population inhabited in the Strymon Estuary, while Tarkan et al., 2006 and Serezli (2017) have reported an isometric growth for the populations in Terkos Lake and in the streams flowing into Sapanca Lake. Within-species variance in variables of LWR of fish are influenced by a number of conditions involving size range and growth phase, sex, level of stomach fullness, gonad maturity, general fish health, season and annual differences in environmental conditions (Tesch, 1971; Froese, 2006). However, in Şahinkaya population, different growth types were observed between females and males; while females had positive allometry, males showed isometric growth (Table 1). It is thought that sex and gonad maturity caused different growth patterns for females and males within the same population.

The correlation coefficients (r) for all the LLR equations calculated for *P. borysthenicus* population were higher than 0.95 and significantly linear. LLRs calculated for the species are thought to be comparable to the results of different studies, which used or will use different length measures.

The condition factor (K) value calculated for the female, male and all individuals of *P. borysthenicus* inhabited in Şahinkaya Reservoir is close to each other and over the value of 2.0. Similarly, Serezli (2017) has found very close values (2.01 for females, 2.07 for males and 2.01 for all specimens; calculated values from data) for the K values of the species in the streams flowing into Sapanca Lake. Fulton's K value is expressed as the ratio of body mass and the cube of length (Froese, 2006) and since this morphometric index is a calculation involving the length and weight of a fish, it could be influenced by the same factors effected on LWR (Hamid et al., 2015). The K value reflects the well-being of fish and varies according to the season, sex, size range, degree of gonad development, environmental conditions, food supply and parasitism (Froese, 2006). When seasonal variation of K value in this study is examined, it is seen that in both sexes the K values, which are low in winter, rise in the spring and reach their peak in the summer (Table 2). It is an expected result that the K value increases in the spring depending on the development of the gonads. It is thought that the higher values of the K in the summer may be related to the fish regaining the energy lost during reproductive activity in spring and increasing the degree of feeding activity. According to De Giosa et al. (2014), in water temperature of summer is in suitable values for growing and effective feeding action begins for many species. In addition, the relatively higher length and weight values of the fish examined in the summer may also be effective in the increase in the K value (Table 2).

Although there is no specific study on the feeding characteristics and diet of *P. borysthenicus*, it is thought that the species shows an omnivorous feeding characteristic like many other cyprinids and primarily feeds on insects and their larvae, as well as benthic invertebrates, algae and plankton (Kottelat & Freyhof, 2007). This study supported that *P. borysthenicus* has a wide food spectrum from zooplankton to Bivalvia, but it prefers mainly aquatic plants and insect larvae. There were no temporary changes in feeding intensity of *P. borysthenicus* and vacuity index values were very close to each other in four seasons (Table 3), but the food spectrum and preference of *P. borysthenicus* were changed seasonally. In the spring, a wide variety in the food spectrum was observed and especially Diptera and Odonata represented with high values of food importance index in the diet. However, over the summer, there was a noticeable decrease in food variety in the diet and the frequency occurrence values of aquatic plants in the stomach increased considerably. This has been associated with increasing the preference of the fish on easily accessible plants in the environment as a food resource to rapidly regain the lost energy after reproductive activity. In autumn, the aquatic plants were the main food item that had the highest value of F (%) in the diet of the species. Although there was an increase in the diversity of insect groups in the food spectrum, Diptera had the highest value as the index of relative importance. However, in winter, only Diptera was consumed among insect groups, and the fish still mainly fed on the plant (Table 4). Dipterans are the most abundant insects groups in aquatic systems and form large populations (Keiper et al., 2002) and their larvae or nymphs became important as easy prey due to their abundance and nutritional value, as can be seen in the diets of many freshwater fish species (Blanco-Garrido et al., 2003; Piria et al., 2005; Pompei et al., 2014; Saç et al., 2017; Saç & Özüluğ, 2020a, 2020b). Similarly, it has been determined that Diptera is an essential food item for *P. borysthenicus* in all four seasons.

Although *P. borysthenicus* can consume different food groups, it has shown maximum specialization on aquatic plants and Diptera. The positions of Plant and Diptera in the diagram support the view that fish having a general feeding strategy is selective over these two food items. The low values of Levins' indices (B and B_{λ}) also contribute to this inference. According to Krebs (1998), the broadest possible niche is possible when the fish consume all food types equally without discrimination and, the niche is narrow when all individuals only consume more of one food item against the other foods. The seasonal variation on the food spectrum and preference of *P. borysthenicus* conclude different levels of niche breadth. In spring, the variety of food consumed and their high values resulted in a wide niche size, while in winter the feeding with only a few food items and selectivity on the plant caused a narrow niche size (Table 3, Table 4).

4. Conclusion

The current study has exhibited base line data on LWR and condition parameters of *P. borysthenicus*, where there have been few studies on the growth characteristics. It has been determined that this population living in a reservoir shows positive allometric growth and has a good condition. Furthermore, for the first time, comprehensive dietary research on this small-bodied fish has been reported in this study. The results showed that *P. borysthenicus* was more selective on easily reachable food items in the environment and the seasonal change in its food preference was affected by seasonal variations in the food supply. Moreover, the occurrence of this species on Gökçeada inland waters has also yielded important findings for the freshwater biodiversity of Turkey, and also the island.

Acknowledgement

The current study was conducted as out of scope with the permission of Çanakkale Onsekiz Mart University Committee of Animal Experiments Local Ethics (Decision No: 2021/02-17) and dead animal tissues were used. The authors thank Özcan Gaygusuz and Sedat Ozan Güreşen for their help during the field surveys. The authors also thank Prof. Müfit Özüluğ, Dr. Ersin Doğaç, Dr. Çiğdem Gürsoy Gaygusuz, and Dr. Ümit Acar for their voluntary contributions to the study. The authors also thank Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences for granting us access to the Gökçeada Marine Research Unit's laboratory.

Author Contributions

Sevan Ağdamar: Collected data, conceived the study, designed the manuscript and wrote the introduction and conclusion.

Gülşah Saç: Performed data analysis and wrote the results and discussion.

Conflicts of Interest

The authors indicated that they have no conflicts of interest.

References

- Albert, J. S., & Johnson, D. M. (2012). Diversity and evolution of body size in fishes. *Evolutionary Biology*, 39, 324–340. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11692-011-9149-0>
- Amundsen, P. A., Gabler, H.M., & Staldvik, F. J. (1996). A new approach to graphical analyses of feeding strategy from stomach contents data-modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*, 48(4), 607–614. DOI: <https://doi.org/10.1006/jfbi.1996.0060>
- Bakaç, İ. (2018). *Assessment of distribution and abundances of freshwater fish in Canakkale, Turkey (In Turkish) (Master thesis)*. Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turkey. Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Balzan, M. V., Potschin-Young, M., & Haines-Young, R. (2018). Island ecosystem services: Insights from a literature review on case-study island ecosystem services and future prospects. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 14(1), 71–90. DOI: <https://doi.org/10.1080/021513732.2018.1439103>
- Blanco-Garrido, F., Sánchez-Polaina, F. J., & Prenda, J. (2003). Summer diet of the Iberian chub (*Squalius pyrenaicus*) in a Mediterranean stream in Sierra Morena (Yeguas stream, Cordoba, Spain). *Limnetica*, 22(3-4), 99–106. Retrieved from: <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/3211?show=full>
- Chrisafi, E., Kaspiris, P., & Katselis, G. (2007). Feeding habits of sand smelt (*Atherina boyeri* Risso, 1810) in Trichonis Lake (Western Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 23(3), 209–214. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00824.x>
- De Giosa, M., Czerniejewski, P., & Rybczyk, A. (2014). Seasonal changes in condition factor and weight-length relationship of invasive *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) from Leszcynskie Lakeland, Poland. *Journal of Advanced Zoology*, 2014, 678763. Retrieved from: <https://www.hindawi.com/journals/az/2014/678763/>
- Freyhof, J., & Kottelat, M. (2008). *Petroleuciscus borysthenticus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T61395A12461180. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T61395A12461180.en>. Downloaded on 09 November 2021.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Hamid, M. A, Mansor, M., & Nor, S. A. M. (2015). Length-weight relationship and condition factor of fish populations in Temengor Reservoir: Indication of environmental health. *Sains Malaysiana*, 44(1), 61–66. DOI: <https://doi.org/10.17576/jsm-2015-4401-09>
- Hurlbert, S. H. (1978). The measurements of niche overlap and some relatives. *Ecology*, 59(1), 67–77. <https://doi.org/10.2307/1936632>
- Hyslop, E. J. (1980). Stomach contents analysis a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17(4), 411–429. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>
- İlhan, A., Sarı, H. M., Saygı, H., & Ustaoglu, M. R. (2012). Length-weight relationships of freshwater fishes in the Biga Peninsula (northwestern Anatolia, Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 28(5), 857–858. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02033.x>
- Keiper, J. B., Walton, E. W., & Foote, B. A. (2002). Biology and ecology of higher Diptera from freshwater wetlands. *Annual Review of Entomology*, 47, 207-232. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145159>
- King, M. (Ed.) (2007). *Fisheries Biology, Assessment and Management* (2nd ed). Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications. Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118688038>
- Kottelat, M, & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European Freshwater Fishes*. Berlin, Germany: Kottelat, Cornol and Freyhof. Retrieved from: <http://joerg-freyhof.de/publications-overview/scientific-publications-2/306-handbook-of-european-freshwater-fishes>
- Koutrakis, E. T., & Tsikliras, A. C. (2003). Length-weight relationships of fishes from three northern Aegean estuarine systems (Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 19(4), 258–260. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2003.00456.x>

- Krebs, C. J. (1998). *Ecological methodology*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Educational Publishers.
- Le Cren, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20(2), 201–218. Retrieved from: <https://www.jstor.org/stable/1540>
- Levins, R. (1968). *Evolution in Changing Environments*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Retrieved from: <https://www.jstor.org/stable/j.ctvx5wbbh>
- MacArthur, R. H., & Wilson, E. O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Retrieved from: <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691088365/the-theory-of-island-biogeography>
- Macpherson, A., Holmes, J. A., Muir, A. M., & Noakes, D. L. (2010). Assessing feeding competition between lake whitefish *Coregonus clupeaformis* and round whitefish *Prosopium cylindraceum*. *Current Zoology*, 56(1), 109–117. DOI: <https://doi.org/10.1093/czoolo/56.1.109>
- Novakowski, G. G, Hahn, N. S., & Fugii, R. (2008). Diet seasonality and food overlap of the fish assemblage in a pantanal pond. *Neotropical Ichthyology*, 6(4), 567–576. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252008000400004>
- Öztürk, E., & Küçük, F. (2017). Fish fauna of Simav Stream. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 13(2), 132–152.
- Pompei, L., Giannetto, D., & Lorenzoni M. (2018). Feeding ecology of *Padogobius nigricans* (Canestrini, 1867) and *P. bonelli* (Bonaparte, 1846) in Aggia River (Umbria, Italy) and their diet overlap. *Hydrobiologia*, 740(1), 101–113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1942-1>
- Ricker, W. E. (1975). Computations and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1–382. Retrieved from: <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/1485.pdf>
- Piria, M., Treer, T., Aničić, I., Safner, R., & Odak, T. (2005). The natural diet of five cyprinid fish species. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 70(1), 21–28. Retrieved from: <https://hrcak.srce.hr/903>
- Saç, G., & Özuluğ, M. (2017). Effects of environmental variables on the distribution of fish assemblages in an endorheic stream (Istanbul, Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7150–7159. Retrieved from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183049460>
- Saç, G., Kaptan, Ç., & Özuluğ, M. (2017). Growth and diet of *Alburnoides tzenevi* Chichkoff, 1933 (Teleostei: Cyprinidae) in the Istranca Stream, Istanbul, Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 69(3), 361–368. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/320166645>
- Saç, G., & Özuluğ, M. (2019). The freshwater fish fauna of Istanbul Province (Turkey). *Turkish Journal of Bioscience and Collections*, 3(1): 19–36. DOI: <https://doi.org/10.26650/tjbc.201930004>
- Saç, G., & Özuluğ, M. (2020a). Life-history traits of *Phoxinus strandjae* Drensky, 1926 (Actinopterygii: Leuciscidae) from Istranca Stream, Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 72(3), 429–438. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/344401213>
- Saç, G., & Özuluğ, M. (2020b). Life history pattern and feeding habits of *Gobio bulgaricus* (Drensky, 1926) (Pisces: Gobionidae) in an endorheic stream (Istranca Stream, Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(1), 248–261. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118805>
- Sarkhanizadeh, A., Valinassab, T., & Fatemi, M. R. (2014). Evaluation of some feeding indices of *Atrobucca nibe* in the Northern Oman Sea. *Journal of Novel Applied Sciences*, 3(11), 1268–1274. <http://jnasci.org/wp-content/uploads/2014/12/1268-1274.pdf>
- Sarı, H. M., İlhan, A., Saç, G., & Özuluğ, M. (2019). Fish fauna of Yıldız Mountains (North-Eastern Thrace, Turkey). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(1), 65–73. DOI: <https://doi.org/10.12714/egejfas.2019.36.1.08>
- Saygun, S., Saygun, F., & Önel, C. (2017). Five new records for the ichthyofauna of Miliç River in Turkey. *Ordu University Journal of Science and Technology*, 7(2), 183–195.
- Schoener, T. W. (1970). Non-synchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology*, 51(3), 408–418. DOI: <https://doi.org/10.2307/1935376>
- Serezli, E. E. (2017). *Determination of fish diversity and some growth and reproduction features of a dominant fish species in Sapanca streams* (Doctoral Dissertation). Retrieved from: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Tarkan, A. S., Gaygusuz, Ö., Acıpinar, H., Gürsoy, Ç., & Özuluğ, M. (2006). Length–weight relationship of fishes from the Marmara region (NW-Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 271–273. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00711.x>

- Tarkan, A. S., Özuluğ, M., Gaygusuz, Ö., Gürsoy Gaygusuz, Ç., & Saç, G. (2009). Length-weight relationships of six freshwater fishes from small streams flowing into Lake Sapanca, NW Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(2), 230–231. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01201.x>
- Tesch, F. W. (1971). Age and growth. In W. E. Ricker (Ed.), *Methods for assessment of fish production in fresh waters* (pp. 98–130). Oxford, UK. Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/iroh.19690540313>
- Velmurugan, A. (2018). The nature and characters of tropical islands. In C. Sivaperuman, A. Velmurugan, A. K. Singh, & I. Jaisankar (Eds.), *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands* (pp. 3–30). Massachusetts, Boston. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128130643>
- Woodward, G. & Warren, P. (2007). Body size and predatory interactions in freshwaters: scaling from individuals to communities. In A. G. Hildrew, D. G. Raffaelli & R. Edmonds-Brown (Eds.), *Body size: the structure and function of aquatic ecosystems* (pp. 98–117). Cambridge, UK. Retrieved from: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611223>
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis* (4th ed.). Hoboken, New Jersey. Retrieved from: <https://trove.nla.gov.au/work/7899770>



Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Süreç Bazlı Hata Türleri Analizi

Pelin Poyraz¹, Fuat Şimşir^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 17.05.2021

Kabul: 24.08.2021

Yayın: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Günümüzde; doğal afetlerin artması, teknolojinin hızla gelişmesi, ürün ömrünün kısalması, maliyetlerin artması, politik sebepler, arz ve talepteki belirsizlikler sonucu giderek artan tedarik zinciri riskleri ile karşılaşılmaktadır. İşletme-ler rekabet avantajı sağlayabilmek, müşteri beklentilerini karşılayabilmek, sektörde pazar paylarını artırabilmek ve sürdürülebilirliklerini koruyabilmek için tedarik zinciri risklerini sistemli bir şekilde yönetmek durumundadırlar. Çalış-mada, iklimlendirme ve ısıtma sektöründeki bir firmanın talep planlama sürecinde oluşan hatalar analiz edilmiştir. Süreç HTEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) yönteminin, alanında uzman karar vericilerin bilgi ve tecrübelerini değerlendirmelerde göz önüne alamaması şeklindeki zayıf yönleri sebebiyle, risk analizine süreç aşamalı yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Bu amaçla, risk analizi için Bulanık SWARA-COPRAS tabanlı süreç aşamalı ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) modeli önerilmiştir. Kriterlerin önem ağırlıklarını belirleyebilmek için Bulanık SWARA yöntemi, hataları sıralayabilmek için Bulanık COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöneme göre, en önemli hataların; “HT-1: Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) toplantısında fark edilmesi” ve “HT5: Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” olduğu tespit edilmiştir. “HT18: Talep rakamlarının fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi” en önemsiz hata olmuştur. İlerleyen çalışmalarda, risk analizle-rinin etkinliklerinin benzer yaklaşımlarla değerlendirilebileceği ve karar destek sistemlerine entegre edilerek mevcut veya gelecek senaryoların analizinde kullanılabilirliği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler – Bulanık COPRAS, bulanık SWARA, çok kriterli karar verme, hata türü ve etkileri analizi, risk analizi

Process Based Failure Mode Analysis with Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods in Supply Chain Risk Management

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Karabuk University, Karabuk, Turkey

Article History

Received: 17.05.2021

Accepted: 24.08.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – Today, increasing supply chain risks are encountered due to increasing natural disasters, the rapid development of technology, shortening of product life, increasing costs, political reasons, uncertainties in supply and demand. Busi-nesses have to systematically manage their supply chain risks to gain a competitive advantage, meet customer expectations, increase their market share in the sector and maintain their sustainability. In the study, errors in the demand planning process of a company in the air conditioning and heating sector were analysed. Due to the weaknesses of the Process FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) method, that it cannot take into account the knowledge and experience of experts in the evaluations, a new process-based approach to risk analysis has been introduced. For this purpose, Fuzzy SWARA-COPRAS-based process-stage MCDM (Multi-Criteria Decision Making) model is proposed for risk analysis. The SWARA method was used to determine the importance levels of the criteria and the COPRAS method was used to sort the errors. According to this method, it has been determined that the most important mistake is “Demand figures are missing or incorrect, and the under-production is noticed at the S&OP (Sales and Operations Planning) meeting”. “Recognizing the excess production in the month-end stock report as a result of the overestimation of the demand numbers” has been found to be the least important mistake. In future studies, the effectiveness of risk analysis can be evaluated with similar approaches and integrated into decision support systems and used to evaluate current or future scenarios

Keywords – Failure modes and effect analysis, fuzzy COPRAS, fuzzy SWARA, multi criteria decision making, Risk analysis

¹ pelin_poyraz_14@hotmail.com

² fuatsimsir@karabuk.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Günümüz modern ekonomilerinde tedarik zincirleri, mal veya hizmetlerin üretimi için kritik yapılar haline gelmiştir. [Nagurney vd., \(2005\)](#) tedarik zincirlerinin üreticileri, dağıtıcıları ve perakendecileri kapsarken tüketicileri de içermesinden dolayı, değişen dünyada artan risk ve belirsizliklere cevap verebilecek sağlamlıkta olması gerektiğini belirtmişlerdir. Doğru bir tedarik zinciri risk analizi için öncelikle sistem veya süreçteki hataların doğru analiz edilmesi ve daha sonra etkisinin azaltılması gereklidir. Tedarik zinciri risklerinin analizi ile hatalar daha erken fark edilerek şiddetleri veya olasılıkları düşürülebilmektedir. Böylece üretim, depolama, taşıma, sigortalama, dağıtım, katma değerli işlemler, gümrükleme olmak üzere tüm işletme faaliyetleri risklerden korunarak maliyetler azaltılabilmektedir.

Çalışmada ısıtma iklimlendirme sektöründe faaliyet gösteren bir grup şirketinin, diğer grup şirketlerine ait ulusal satış ofisleri için yaptıkları üretim süreci ele alınmıştır. Ulusal satış ofisleri için yapılan üretimin talep planlama sürecindeki hatalar analiz edilmiştir. Tedarik zincirindeki riskler; çevre, insan, metot/prosedür kaynaklı hatalardan etkilenmektedir. İşletmede tedarik zinciri riskleri HTEA yöntemi ile analiz edilmektedir. Süreçteki hatalardan dolayı fazla ve eksik üretim yapma riskleri ile karşılaşmıştır. Hataların doğru bir şekilde analiz edilmesi ile ulusal satış ofislerine her üründen talep ettikleri miktarda, doğru zamanda teslimat yapılması sağlanacaktır. Bu sayede şirketin prestiji korunacak, müşteri memnuniyeti artacak ve maliyet, insan gücü, zaman gibi işletme kaynakları da etkin olarak yönetilecektir.

Tedarik zincirinde hataların analiz edilmesi için yapılmış çalışmalarda ve çalışmanın yapıldığı bu işletmede RÖS (Risk Öncelik Sırası) değeri olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kriterlerinin çarpımı ile bulunmuştur. Bu kriterler ve hesaplama tarzı, risklerin sıralanması için yetersiz kalmaktadır. Risklerin analizi için yapılan çalışmalarda anket yöntemi, klasik HTEA yöntemi, bulanık HTEA yöntemi, simülasyon yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, matematiksel modelleme, CVAR (Conditional Value at Risk - Risk Altındaki Koşullu Değer) yöntemi birçok çalışmada uygulanmıştır. Anket yöntemi uzmanların görüşlerini dikkate alırken değerlendirmede kullanılan kriterlerin ve bulanık durumların göz önüne alınmaması tam ve doğru bir değerlendirme yapılamamasına yol açmaktadır. Klasik HTEA yöntemi için kullanılan; olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kriterleri süreçteki hataları analiz edebilmek için yetersiz kalabilmektedir. CVAR yöntemi koşullu riske maruz değer anlamına gelmektedir. VAR (Value at Risk - Risk Altındaki Değer) yönteminin en kötü durum aşılırsa beklenen kaybı ifade edememesi sonucu geliştirilmiştir. CVAR yöntemi ile yapılan risk analizleri çok boyutlu olarak ele alınmalıdır. Bir sistemi simüle etmek ve sonuçların doğru olduğunu ispatlamak için zaman ve işlem maliyeti yüksek olabilmektedir.

Talep planlama sürecinde hatalar, farklı aşamalarda ortaya çıkabilmektedir. Hataların, herhangi bir süreçte ilerleyen safhalarda (sürecin son adımlarında) fark edilmesinin önemi ve maliyeti, başlangıç aşamalarında tespit edilmesine göre daha yüksek olmaktadır. Bu durumda zaman, işgücü, sermaye ve malzeme kaybı gibi önemli sorunlar oluşmaktadır. Ayrıca, hataların son adımlarda telafi edilmesi daha zor olmakta ve müşteri memnuniyetini de oldukça olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada, süreçteki hataların ilişkilendirmesi ve diğer iş adımlarına olan etkilerinin değerlendirilerek hataların analiz edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle ele alınan süreç revize edilmiş ve HTEA ekibi ile Süreç HTEA analizi uygulanmıştır. Klasik HTEA'da RÖS hesabının zayıf yönlerinin olması sebebi ile, son yıllarda geliştirilmiş SWARA ve COPRAS yöntemlerine bulanık mantık entegre edilerek hibrit bir yaklaşım geliştirilmiştir. Hibrit yaklaşım uzmanların subjektif görüşlerini göz önüne almakta, bulanık durumları değerlendirebilmektedir. Yaklaşımda sürece etki eden tüm kriterler bulanık ve öznel olarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda bu yöntemler, uygulama kolaylığından dolayı zaman ve işlem avantajı sağlamaktadır. Önerilen yaklaşımda bir hatanın kendinden sonra gelen hataları etkileme durumu da göz önüne alınarak süreç aşamalı bir inceleme yapılmıştır. Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yönteminin literatürde uygulamaları sınırlıdır. Çalışmada, bu iki yöntemin kullanımına farklı bir bakış açısı getirilerek elde edilen sonuçların HTEA yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmaları sağlanmıştır. İşletmede tedarik zinciri risklerinin değerlendirilmesinde kullanılan klasik HTEA yöntemi yerine, Bulanık SWARA-COPRAS temelli risk analiz modelinin kullanılması halinde hataların analizlerinin daha başarılı bir şekilde yapılması sağlanabilecektir.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, tedarik zincirindeki risklerin analizine ilişkin çalışmaların genellikle finans sektöründe olduğu görülmüştür. Risk analizi için çoğunlukla; Delphi tekniği, anket yöntemi, CVAR

kriteri, oyun teorisi kullanılmakla beraber ÇKKV yöntemlerinden da fazlaca faydalanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden ise en çok kullanılanlar; DEMATEL, AHP, VIKOR, ELECTRE, TOPSIS, Veri Zarflama Analizi, ANP metotları olmuştur. Çalışmalarda, risk yönetimi için yeni modeller önerilerek gerçek vakalarda ve simülasyon çalışmalarında etkililikleri ölçülmüştür.

[Venkatesh vd., \(2015\)](#) ile [Chowdhruy vd., \(2019\)](#) potansiyel tedarik zinciri risklerini analiz etmek için ISM (Yorumlayıcı Yapısal Modelleme) ve MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement-Sıralamaya Uygulanan Çapraz Eki Matrisi Çarpımı) yöntemlerini uygulamışlardır. Risklerin diğer tedarik zincirleri için oluşturduğu riskler ve tedarik zincirleri arasındaki ilişkiler Delphi tekniği ile incelenmiştir. Ayrıca ISM ve Bulanık MICMAC metodolojisini kullanarak risk öncelik numarası (RÖS) hesaplaması için yeni bir model önermişlerdir. [Gallab vd., \(2019\)](#) ile [Mensaha vd., \(2017\)](#) risklerin analizi için Matlab programını kullanarak simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Tedarik zincirinde kriterleri sıralamak ve aralarındaki ilişkileri bulmak için DEMATEL yöntemini kullanan [Jovic \(2014\)](#), İstanbul'da bulunan bir gıda dağıtım şirketi için iç ve dış risk faktörlerin, iş akışını ne kadar etkilediğini araştırmıştır. [Rajesh ve Ravi \(2015\)](#), tedarik zinciri risklerinin azaltılmasını sağlayan faktörler arasındaki sebep-sonuç ilişkilerini bulmak için Gri sistem teorisi ve DEMATEL yaklaşımlarının bir karışımını kullanmışlardır. Hataların analizi için HTEA yöntemi de çok sık başvurulan bir yöntemdir. [Giannakis ve Papadopoulos \(2016\)](#) ile [Valinejad ve Rahmani \(2018\)](#), tedarik sürdürülebilirlik risklerinin yönetimi için HTEA tekniğini kullanmışlardır. [Dong ve Cooper \(2016\)](#), tedarik zinciri risklerini etkileyen somut ve maddi olmayan unsurları karşılaştırmak için AHP yöntemine yakın ikili karşılaştırma matrisleriyle tutarlılığı artırabilecek bir yöntem önermişlerdir. [Jiang vd., \(2018\)](#) Çin'deki Qingdao limanındaki tedarik zinciri risklerini analiz etmek için AHP yöntemini risklerin ağırlıklandırılmasında kullanmışlardır. Tedarik Zinciri risklerinin değerlendirilmesinde ise SCOR modelini kullanmışlardır. [Prakash vd., \(2018\)](#) otomobil endüstrisinin tedarik zincirinde karşılaşılan başlıca riskleri değerlendirmek için FAHP (Fuzzy Analytical Hierarchy Process- Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi) karar verme tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada anket yöntemi ile alınan veriler IBM SPSS programı ile analiz edilmiştir. Net olmayan durumları hesaplamak için Chang'ın Extent analiz yöntemi kullanılmıştır. [Schaefer vd., \(2019\)](#) tedarikçilerin konumuna göre su kıtlığı riskini değerlendirmek için Monte Carlo Analitik Hiyerarşi Sürecini kullanmışlardır. Ahiyerarşik çerçeve oluşturarak 75 ülkedeki 1066 tedarikçiyi incelemişlerdir.

Makine Öğrenmesi (Machine Learning) yöntemleri son yıllarda geliştirilmesine karşın tedarik zinciri riskleri için de uygulanmıştır. [Yang \(2019\)](#), lojistik finansal risk ontolojisi önermek ve riskin değişkenliğine uyum sağlamak için Makine Öğrenmesi yöntemi ile bir model önermiştir. [Baryannis vd., \(2019\)](#) da Makine Öğrenmesi yöntemi ile bir tedarik zinciri risk tahmin çerçevesi önermişlerdir. Anket yöntemi, yapılan çalışmalarda risk analizleri için çok fazla uygulanan bir yöntemdir. [Jiang vd., \(2018\)](#) riskleri değerlendirmek için anket yöntemi uygulamışlardır. [Vilko vd., \(2019\)](#) Güney Finlandiya ve Finlandiya Körfezi'nde faaliyet gösteren firmalardan alınan geniş tabanlı, nitel görüşme verileri uzman paneli ile değerlendirmişlerdir. [Thun ve Hoenig \(2011\)](#), Alman otomotiv endüstrisinde 67 üretim tesisi ile bir anket çalışması yapmışlardır.

CVAR kriteri tedarik zinciri çalışmalarında risklerin ileriye dönük tahminlerinde ve davranışların tahmin edilmesinde kullanılmıştır. [Peng ve Pang \(2019\)](#), CVAR kriterini bir çiftçinin riskten kaçınma davranışını tanımlamak için kullanılmışlardır. [Silva vd., \(2019\)](#) CVAR yöntemini kullanarak aynı amaç fonksiyonunda ekonomik ve çevresel performansları hesaba katan karışık bir tam sayılı doğrusal programlama modeli (MILP) önermişlerdir. [Fan vd., \(2020\)](#) opsiyon fiyatı ve opsiyon kullanım fiyatının etkilerini, şartlı riske maruz değer (CVAR) minimizasyonu ile araştırmışlardır. Alıcı ve tedarikçi açısından risk ve faydalara göre fiyat belirleyebilmek için Stackelberg oyun modeli oluşturmuşlardır. [Ming vd., \(2019\)](#) riskten kaçınan bir üretici ve iki perakendecinin bulunduğu tedarik zincirinde, optimal fiyat kararlarını araştırmak için Stackelberg oyun modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada IBM SPSS programı ve Pareto analizi kullanılmıştır. [Raza ve Govindaluri \(2019\)](#), üreticinin ve perakendecinin riskten kaçındığı çift kanallı tedarik zinciri (DCSC) koordinasyon modelleri geliştirmişlerdir. Riskten kaçınma, talep kaçağı ve piyasa belirsizliğinin tedarik zinciri faaliyetlerinin performansı üzerindeki etkisi için detaylı bir sayısal deney yapılmıştır. [Serrano vd., \(2018\)](#) tedarikçilere yapılan ödemelerin değişkenliği riskinin nasıl yaratıldığını ve yukarı akışa etkilerini araştırmışlardır. Tedarik zincirindeki politikalar ve kısıtlamalar modellenmiş, gerçek tedarik zincirlerinde uygulanan davranış üretilmiştir. Değişkenliğin yayılmasına neden olan faktörler (endüstri riski, firmanın operasyonel kaldıraç oranı, finansal kaldıraç hedefinin varlığı ve borç maliyeti) belirlenmiştir.

Riskleri analiz etmek için oluşturulan yaklaşımlarda modelleme dilleri kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. [Gallab vd., \(2017\)](#) Fransa’da bulunan LPG tedarik zincirindeki karmaşıklığı modellemek ve bakım faaliyetlerinin risklerini analiz etmek için birleşik modelleme dilini (UML) ve Multi-Agents Systems’i (MAS) kullanarak yeni bir modelleme yaklaşımı sunmuşlardır. Önerilen modelin simülasyonu, AnyLogic platformu ile gerçekleştirilmiştir. [Wu vd., \(2019\)](#) Çin’in elektrikli araç tedarik zinciri için belirsiz durumlarda potansiyel risk faktörlerini tanımlamış ve değerlendirmek için bulanık sentetik değerlendirme yöntemi ile birleşik bulanık dilbilimsel terim geliştirmişlerdir. [Leblanc vd., \(2015\)](#) Kanada’da paketlenmeye hazır marul ve yeşil yapraklı sebzeler için ülke çapında ticaret verilerinin ilişkisel bir veri tabanını tasarlamak için bir yaklaşım sunmuşlardır. Bulaşıcı gıda risklerinin mekânsal dağılımını göstermek ve halk sağlığı riskini tahmin etmek için CanGRASP simülasyon aracı kullanılmıştır.

Tedarik zinciri risklerini analiz etmek için geliştirilen yaklaşımlarda matematiksel modelleme de göze çarpan bir yöntemdir. [Hsu vd., \(2019\)](#) operasyonel belirsizlik altında inşaat projeleri için riskten bağımsız lojistik konfigürasyonların tasarımı ve optimizasyonu için bir matematiksel model tasarlamışlardır. [Sabouhi vd., \(2018\)](#) esnek bir tedarik zinciri tasarlamak için bir ilaç şirketinde veri zarflama analizine (DEA) ve matematiksel programlama yöntemine dayalı entegre bir hibrid yaklaşım sunmuşlardır. Potansiyel tedarikçilerin verimliliği bulanık bir DEA modeli ile değerlendirilmiştir. [Jajja vd., \(2018\)](#) şirketlerdeki dayanıklılık performansını artırmak amacıyla tedarik zinciri riskinin, tedarik zincirlerini entegre etme konusunda etkisini açıklamak için SEM yöntemini (Yapısal eşitlik modellemesi) kullanmışlardır. [Oliveira vd., \(2019\)](#) çevresel risklerin hem iç hem de dış faktörlerini, bunların tedarik zinciri yönetimi üzerindeki etkilerini ve literatür çalışması yoluyla azaltma stratejilerini analiz etmişlerdir. 767 özet ve 70 tam makaleyi analiz ettikten sonra, on dört çevresel risk, üç ana sonuç ve bu riskleri yönetmek için on dokuz strateji belirlemişlerdir. [Shojei ve Haeri \(2019\)](#) inşaat projelerinde bulanık bilişsel haritalama ve gri ilişkisel analizleri kullanarak TZRY yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen yaklaşımla risk azaltma senaryoları geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir, en iyi risk azaltma senaryoları belirlenmiştir.

Sonuç olarak, tedarik zinciri risklerinin birçok sektörde farklı yöntemler ile analiz edildiği fakat risklerin birbiri ile ilişkilendirildiği çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Ayrıca bir süreçteki toplam riskin en aza indirilmesi için birbirini tetikleyen risklerin tespit edilmesi ve sürecin en başında yapılan hataların sürecin devamında daha fazla hatalara yol açma riskinin elimine edilmesi gerekir. Bu bakış açısı ile yapılan bir risk değerlendirme çalışmasının alana katkı vereceği düşünülmüştür. Literatürde, karar vericilerin subjektif yargılarının değerlendirilememesi de risk analizi için bir eksiklik oluşturmaktadır. SWARA ve COPRAS yöntemlerinin belirsiz olmayan karmaşık sistemlere uygulanması için bulanık mantık ile entegre edilmesi, yöntemlerin başarısını artırmaktadır. Çalışmada, Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemleri kullanılarak risklerin süreç aşamalı değerlendirilebildiği hibrit bir risk analiz modeli önerilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde materyal ve kullanılan yöntemler, üçüncü bölümde bulgular ve tartışma kısımları anlatılmış son bölümde ise sonuçlar yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Problemin çözümü için öncelikle Süreç HTEA yöntemi kullanılmıştır. Süreç HTEA’nın zayıf yönlerinin giderilmesi ve hataların daha detaylı analiz edilmesi amacı ile Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemleri ile bütünleştirilmiş bir yapı önerilmiştir.

2.1. Süreç HTEA Analizi

Süreç HTEA uygulama alanına göre bir süreçteki mevcut ya da sonradan gelişebilecek hataları tespit etmek için kullanılmaktadır. Analiz ile sürecin güvenliği ve etkinliği ölçülmekte, hataların büyük sonuçlara sebebiyet vermeden önlenmesi sağlanmaktadır. Süreç HTEA işletmelerin; kalite kontrol, talep planlama, üretim planlama, kalite iyileştirme süreçlerinde uygulanabilmektedir.

[Baykasoğlu vd., \(2003\)](#) Süreç HTEA’nın, “başlangıç ve tanımlama”, “analiz ve değerlendirme” ve “karar aşaması” olmak üzere üç ana aşamadan oluştuğunu belirtmiştir. Başlangıç ve tanımlama aşamasında, HTEA ekibi kurularak süreç tanımlanmaktadır. Analiz ve değerlendirme aşamasında, hata türleri ve hata türlerinin kriterlere göre puanları belirlenmektedir. Son aşamada ise, risk öncelik puanına göre hata türleri önceliklendirilerek önleyici eylemler alınmaktadır.

Süreç HTEA yönteminde RÖS (Risk Öncelik Sayısı) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$RÖS = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \times \text{Tespit edilebilirlik}$

RÖS değeri hesaplanırken kullanılan kriterlerden olasılık, bir hatanın oluşma sıklığını ifade etmektedir. Şiddet, bir hatanın sisteme olan etkisidir. Tespit edilebilirlik ise bir hatanın fark edilmesindeki kolaylıktır. Bu kriterler bazı uygulamalarda risklerin analiz edilmesi için yetersiz kalabilmektedir ([Şimsir vd., 2018](#)).

2.2. Bulanık Mantık

Azeri Kökenli Matematikçi Lotfi A. Zadeh bulanık mantık ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisini 1965 yılında geliştirmiş ve “Fuzzy sets” adlı makalesinde yayınlamıştır ([Zadeh, 1965](#)). Bulanık mantık, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin analizinde kullanılan alternatif bir yaklaşımdır. Gerçek hayattaki sistemlerin nerdeyse hiçbiri doğrusal değildir ([Baykasoğlu vd., 2003](#)). Bir bulanık çıkarım sistemi üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci aşama bulanıklaştırma aşamasıdır. Veri tabanında bulunan net veriler bulanıklaştırma ara yüzüne girerler. Bu aşamada sayısal veriler üyelik derecesinde çeşitli bulanık bölümlere dönüştürülmektedir. İkinci aşama işlem kurallarını içeren kural tabanlı çıkarım sistemidir. Bulanıklaştırılmış veriler çıkarım sisteminden bulanık veri olarak çıkarlar. Üçüncü aşama ise durulaştırma aşamasıdır. Bulanık veriler durulaştırma arayüzü ile net veri sağlarlar ([Taşdemir vd., 2016](#)). Bulanık mantıkta bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri 0 ve 1 dahil olmak üzere sonsuz değerler almaktadır.

SWARA ve COPRAS yöntemlerinin bulanık olarak kullanılması doğrusal olmayan sistemlerin değerlendirilmesi ve gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için önem taşımaktadır. Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemleri karmaşık durumların bulunduğu, kriterlerin net olmadığı, öznel bilgilerin olabildiği karar verme problemlerinde avantaj sağlamaktadır. Böylece sistemlerin insan gibi karar vermesi sağlanabilmektedir.

2.3. Bulanık SWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi), [Keršuliene vd., \(2010\)](#) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. ÇKKV problemlerindeki kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Kriterlerin önem değerlerine ilişkin uzman görüşlerini tahmin edebildiğinden uzman odaklı yöntem şeklinde de bilinmektedir. Ayrıca yöntem karar vericiye önceliklerini seçme imkanı sunmaktadır. Uzmanlardan alınan bilgilerin bir araya getirilebilmesi, yöntemin önemli özelliklerindedir.

Kriterlerin önemlerinin karar verici bazında bulanık değişkenler ile ifade edilmesi ile bulanık SWARA yöntemi uygulanmaktadır. Bulanık SWARA yöntemi karar verme sürecindeki karmaşıklıklar ve zorluklar nedeniyle kolaylık sağlamak ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmeye imkan vermektedir. Bulanık SWARA yöntemi altı adımdan oluşmaktadır ve aşamaları aşağıda verilmiştir ([Keršuliene vd., \(2010\)](#); [Mavi vd., 2017](#)).

1. Adım: Karar vericiler kriterleri en önemliden önemsiz doğru sıralar.

2. Adım: İkinci kriterden başlayarak, her bir kriter için göreceli önem düzeyi belirlenir. Bunun için, j kriteri ile bir önceki kriter (j-1) karşılaştırılır. [Keršuliene vd., \(2010\)](#) bu orantıyı “ortalama değerin karşılaştırmalı önemi” diye adlandırmış ve S_j simgesi ile göstermiştir.

3. Adım: Katsayı değeri (K_j) eşitlik (2.1) ile belirlenir:

$$K_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j = 1 \\ S_j + 1, & \text{eğer } j > 1 \end{cases} \quad (2.1)$$

4. Adım: Önem vektörü olan ara ağırlık değeri Q_j , eşitlik (2.2) ile hesaplanır.

$$Q_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j = 1 \\ \frac{Q_{j-1}}{K_j}, & \text{eğer } j > 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

5. Adım: Kriterlere ait bulanık ağırlık değerler (W_j) eşitlik (2.3) ile hesaplanır. W_j , j. inci kriterin bulanık ifade ile önemini göstermektedir.

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum_{k=1}^n Q_k} \quad (2.3)$$

6. Adım: l , m , u üçgensel bulanık dilsel değişkenlerin üyelik derecelerini ifade etmek üzere bulanık olan kriter ağırlıkları eşitlik (2.4) yardımı ile durulaştırılır.

l : elemanın en küçük olası değeri, m : elemanın en olası değeri, u : elemanın en büyük olası değeri

$$W_j = \frac{(W_j^u - W_j^l) + (W_j^m - W_j^l)}{3} + W_j^l \quad (2.4)$$

2.4. Bulanık COPRAS Yöntemi

COPRAS (COmplex PROportional ASsesment-Karmaşık Oransal Değerlendirme) yöntemi 1996 yılında Zavadskas ve Kaklauskas tarafından geliştirilmiştir. 2006 yılında Litvanya'da kamu binalarının güçlendirilmesi için uygulanmıştır (Kaklauskas vd., 2006). COPRAS yönteminde, alternatif ve kriterler net değerler olarak ele alındığından gerçek dünyada karar almak için belirsiz ve yetersiz kalmaktadır. Bu belirsizlik ve yetersizliği ortadan kaldırmak amacıyla Bulanık COPRAS yöntemi geliştirilmiştir (Nguyen vd., 2015).

COPRAS yöntemi, alternatifleri önem veya fayda puanlarına göre analiz ederek sıralayabilmektedir. Yöntem, alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerden faydalı olanların en üst düzeye çıkarılmasını ve faydasız olanların ise en aza indirilmesini amaçlamaktadır. COPRAS yöntemi birden fazla kriterin dikkate alındığı bir problemde hem maksimize hem de minimize edilmesi gereken her iki kriter türüne de uygulanabilmektedir (Podvezko, 2011). Bulanık COPRAS yönteminin; Fouladgar vd., (2012), Rabbani vd. (2014), Büyüközkan vd., (2018) ve Alkan ve Albayrak (2020)'in çalışmalarındaki gibi literatürde örnekleri bulunan uygulama adımlarına göre kullanımı tercih edilmiş ve bu adımlar aşağıda detayları ile anlatılmıştır:

1.Adım: Probleme ait kriterler ve alternatifler belirlenir. Yöntemde kullanılacak olan sözel ifadelerin bulanık üçgen ya da yamuk sayılar olarak karşılıkları belirlenir. Alternatifler, sözel değişkenlerden yararlanılarak her kriter açısından karar vericiler tarafından değerlendirilir (Yazdani vd., 2011).

2.Adım: Karar vericilerin oluşturduğu karar matrisleri, Eşitlik (2.5) yardımıyla birleştirilmiş karar matrisine dönüştürülür (Fouladgar vd., 2012). l , m , u kullanılacak üçgensel bulanık dilsel değişkenlerin üyelik derecelerini ifade etmektedir.

k : karar vericilerin sayısı

l : elemanın en küçük olası değeri, m : elemanın en olası değeri, u : elemanın en büyük olası değeri

X_{ij} : j. değerlendirme ölçütü bakımından i. alternatifin değeri

$$X_{ij}^l, X_{ij}^m, X_{ij}^u = (\min_k \{ X_{ij}^l \}, \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X_{ijk}^m, \max_k \{ X_{ij}^u \}) \quad (2.5)$$

3.Adım: Birleştirilmiş bulanık karar matrisindeki değerler Eşitlik (2.6) yardımı ile durulaştırılır. Kesin değerlere dönüştürülerek BNP (Best Nonfuzzy Performance Value-En İyi Bulanık Olmayan Performans Değeri) elde edilir (Fouladgar vd., 2012).

$$BNP = \frac{(X_{ij}^u - X_{ij}^l) + (X_{ij}^m - X_{ij}^l)}{3} + X_{ij}^l \quad (2.6)$$

4.Adım: Eşitlik (2.7) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisi elde edilir.

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad ; \quad i=1, \dots, m \text{ ve } j=1, \dots, n \quad (2.7)$$

5.Adım: Ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik (2.8) ile elde edilir.

$$X_{ij}=X_{ij}.W_j \quad ;i=1,\dots,m \text{ ve } j=1,\dots,n \quad (2.8)$$

6.Adım: Hedef doğrultusunda daha yüksek değerlerin daha iyi durumu gösterdiği faydalı kriterler için Eşitlik (2.9) kullanılarak, ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı bulunur. Daha düşük değerlerin daha iyi durumu gösterdiği faydasız kriterler için Eşitlik (2.10) kullanılarak ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı bulunur (Aksoy vd., 2015).

P_i = Faydalı kriterlerin normalize değerleri

R_i = Faydasız kriterlerin normalize değerleri

q = faydalı kriterlerin sayısı

$$P_i = \sum_{j=1}^q X_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, q \quad \text{faydalı kriterler} \quad (2.9)$$

$$R_i = \sum_{j=q+1}^n X_{ij} \quad j = q+1, q+2, \dots, n \quad \text{faydasız kriterler} \quad (2.10)$$

7.Adım: Alternatiflerin göreceli önem değerleri (Q_i) eşitlik (2.11) ile hesaplanır.

$$Q_i = P_i + \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}} \quad (2.11)$$

8.Adım: En yüksek göreceli önem değeri Eşitlik (2.12) ile hesaplanır.

$$K = \max Q_i \quad ; i=1,2, \dots, m \quad (2.12)$$

9.Adım: Alternatiflerin performans indeks değerleri (N_i) Eşitlik (2.13) ile hesaplanır.

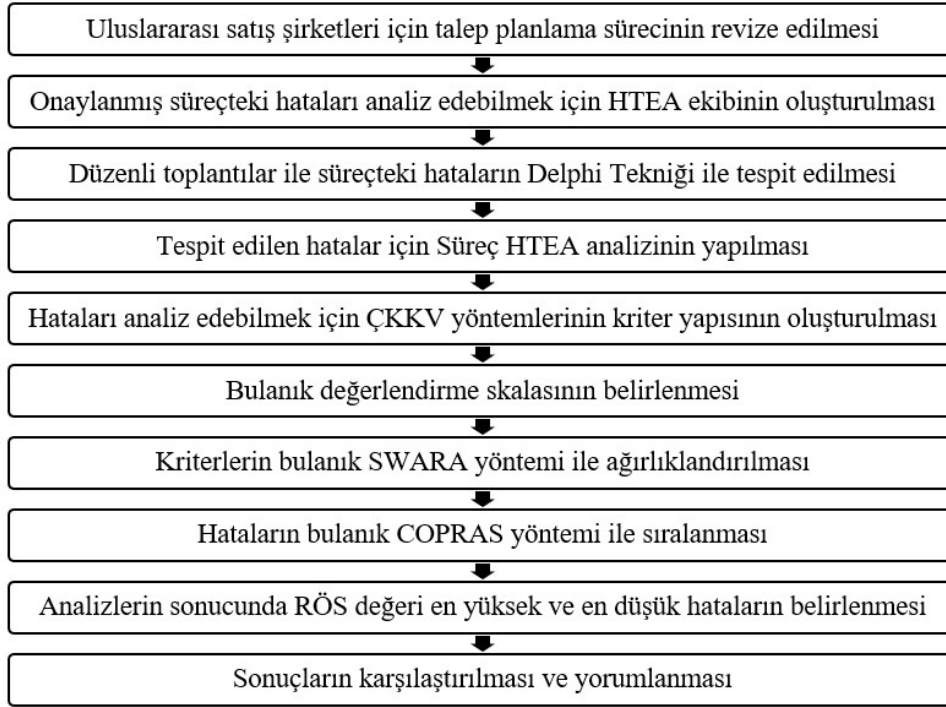
$$N_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \cdot \%100 \quad ; i=1,2, \dots, m \quad (2.13)$$

2.5. Materyal

Uygulama yapılan şirkette yerel pazar, küresel pazar ve Türkiye haricindeki diğer şubeler yani ulusal satış ofisleri için üretim yapılmaktadır. Ulusal satış ofislerinin üretimi için talep planlama sürecindeki hatalar ele alınmıştır. İklimlendirme soğutma sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin Türkiye fabrikasında ulusal satış ofisleri için yapılan üretimin, talep planlama sürecindeki hatalarının analizi yapılmıştır. Talep planlama sürecinde; sorumlu olan personellerin hatası, metot veya prosedür eksikliği veya çevresel etkiler nedeniyle, fazla üretim ve eksik üretim riskleri oluşmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için hataların analiz edilmesi ve sonrasında iyileştirilmesi gereklidir. Ulusal satış ofisleri için eksik veya fazla üretim yapılmasının maliyet, prestij kaybı, kaynakları verimli kullanamama gibi sonuçları olmaktadır. Uygulamanın aşamaları [Şekil 1](#)'de verilmiştir.

2.6. Süreç HTEA Analizinin Uygulanması

Süreç HTEA analizini uygulayabilmek için üç kişilik bir HTEA grubu oluşturulmuştur. Ekip lideri önderliğinde üyelerin bilgi ve birikiminden faydalanarak tüm süreç revize edilmiştir. Süreçte bulunan riskler, üyelerle yapılan düzenli toplantılarda analiz edilmiştir. Süreçteki hatalar, hataların nedenleri, müşterinin beklentileri ve hataların etkileri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada tespit edilen hata türleri, [Tablo 1](#)'de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırma Metodolojisi

Tablo 1

Hata türleri ve açıklamaları

Hata No.	Hataların Açıklaması
HT1	Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) toplantısında fark edilmesi
HT2	Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT3	Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT4	Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi
HT5	Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT6	Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT7	Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT8	Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT9	Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT10	Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi
HT11	Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT12	Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi

Tablo 1

Hata türleri ve açıklamaları (devamı)

Hata No.	Hataların Açıklaması
HT13	Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT14	Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin ay sonu raporunda fark edilmesi
HT15	Ulusal satış ofislerinin ay sonu stok bilgisi için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT16	Ulusal satış ofislerinin ay sonu stok bilgisi için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT17	Talep adetlerinin fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT18	Talep adetlerinin fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi
HT19	Talep adetlerinin eksik hesaplanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT20	Talep adetlerinin eksik hesaplanması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT21	Fazla Üretim Planı sonucu fazla stokun S&OP toplantısında fark edilmesi
HT22	Fazla Üretim Planı sonucu fazla stokun ay sonu stok raporunda fark edilmesi
HT23	Eksik Üretim Planı sonucu üretim açığının S&OP toplantısında fark edilmesi
HT24	Eksik Üretim Planı sonucu üretim açığının üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT25	Eksik veri girişi sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT26	Eksik veri girişi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi
HT27	Eksik veri girişi sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT28	Eksik veri girişi sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT29	Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT30	Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi
HT31	Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi
HT32	Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi

RÖS hesaplamasında kullanılan; şiddet, olasılık ve tespit edilme değerleri için 10'lu değerlendirme skalası kullanılmıştır ([Belu vd., 2012](#)). Bu değerlendirmelere göre [Şekil 2](#)'deki öncelik değerleri elde edilmiştir.

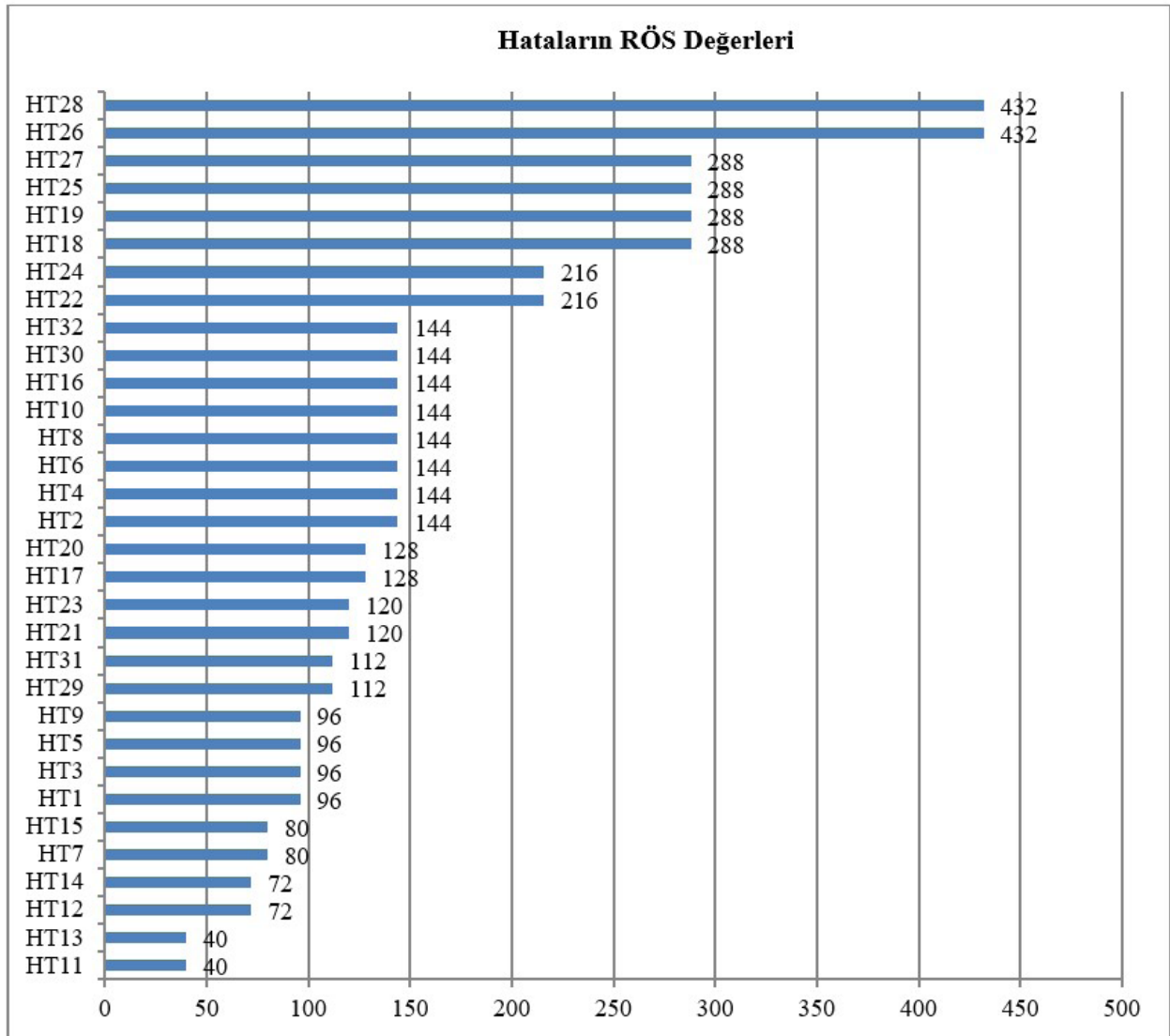
2.7. Süreç Bazlı Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS Yönteminin Uygulanması

Talep planlama sürecindeki hataların Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS yöntemi ile sıralanmasında kullanılacak kriterler Tablo 2'de verilmiştir. Üretim açığı durumu ve fazla stok durumu hataların etkilerini ifade etmektedir. Hataların kaynağı olarak ise çevre, insan ve metod/prosedür eksikliği kriterleri eklenmiştir. 10.kriter bir önceki iş adımının etkisi, bir süreçteki iş adımlarının birbirine etkilerini ifade etmektedir. Sürecin ilk iş adımında yapılacak bir hata diğer tüm adımları etkilerken, ikinci iş adımındaki hata da kendinden sonraki tüm iş adımlarını etkilemektedir. Bu nedenle son iş adımlarının etkisi ve olasılığı daha fazla olabilmektedir. Kalıcı bir iyileştirme sağlamak için sürecin en baştan hatasız ilerlemesi açısından bu kriter önem taşımaktadır. Böylece diğer adımlardaki hatalar da azaltılmış olacaktır ve fazla işlem maliyeti, zaman, işgücü gibi kayıpların önüne geçilecektir.

Tablo 2

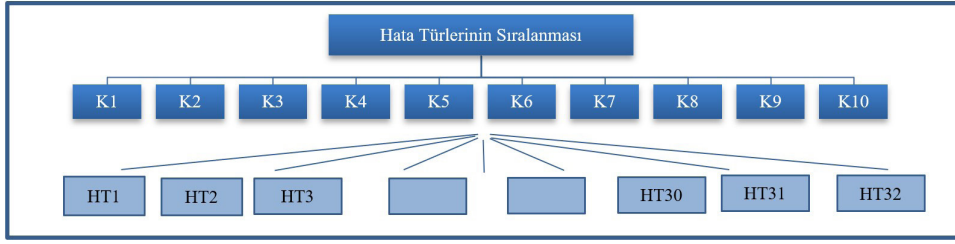
Kriterler ve açıklamaları

Kriterler	Açıklama	
K1	Müşteri beklentisi	İç müşterinin yani süreçten etkilenen kişinin beklentisidir
K2	SF (Üretim Açığı) Durumu	Müşteri talebinden az üretim yapılması durumudur
K3	Fazla stok durumu	Müşteri talebinden fazla üretim yapılması durumudur
K4	Metod/Prosedür	Metod/Prosedür eksikliğinin hatalara etkisidir
K5	Çevre	Müşteri, tedarikçi gibi çevreden kaynaklanan hataların etkisidir
K6	İnsan	İş adımını uygulayan personelin hatasının etkisidir
K7	Olasılık	Hatanın oluşma sıklığıdır
K8	Şiddet	Hatanın önemini ifade etmektedir
K9	Tespit edilebilirlik	Hatanın tespit edilebilmesindeki kolaylıktır
K10	Bir önceki iş adımının etkisi	Önceki iş adımının sonraki iş adımına etkisidir



Şekil 2. Süreç HTEA Analizi sonucu hata türlerinin sıralanması

Çalışmada oluşturulan kriter yapısı (K1-K10) ve hataların (HT1-HT32) gösterimi [Şekil 3](#)'te verilmiştir.



Şekil 3. Kriter yapısı ve hatalar

Bulanık SWARA yönteminde kullanılan kriterler ve kriterlerin sıralanması için tercih edilen bulanık dilsel değişkenler [Tablo 3](#)'te verilmiştir. [Tablo 4](#)'te karar vericilerin belirlediği, kriterlerin önem sırası ve önem düzeyleri verilmiştir.

Tablo 3

Kriterler için dilsel değişkenler

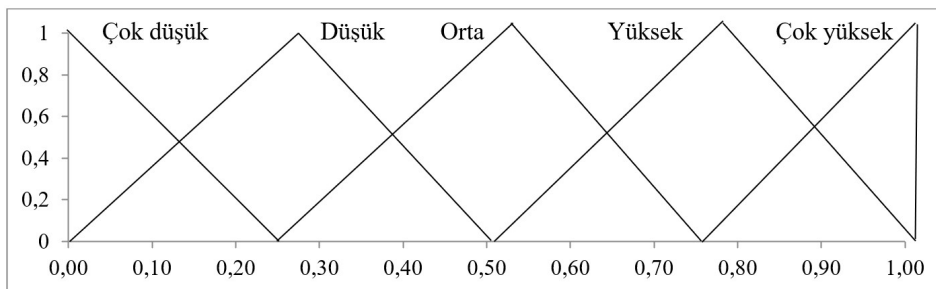
Dilsel Değişkenler	Bulanık sayı (l, m, u)
Çok düşük (ÇD)	(0, 0, 0.25)
Düşük (D)	(0, 0.25, 0.50)
Orta (O)	(0.25, 0.50, 0.75)
Yüksek (Y)	(0.50, 0.75, 1)
Çok yüksek (ÇY)	(0.75, 1, 1)

Tablo 4

Kriterlerin karar vericilere göre sırası

Sıra No.	KV1		KV2		KV3	
1	K8	-	K2	-	K8	-
2	K2	O	K9	Y	K10	O
3	K10	O	K8	O	K7	ÇY
4	K7	ÇY	K10	O	K9	O
5	K3	Y	K3	Y	K2	O
6	K6	Y	K7	Y	K3	O
7	K9	O	K4	O	K4	ÇY
8	K1	O	K1	O	K6	Y
9	K4	ÇY	K6	ÇY	K5	Y
10	K5	Y	K5	Y	K1	O

SWARA yönteminde kullanılan bulanık üçgensel sayılar [Şekil 4](#)'te gösterilmiştir.



Şekil 4. SWARA yöntemi için kullanılan bulanık üçgensel sayılar

Bulanık SWARA adımlarının uygulanması ile kriterlerin üç karar vericiye göre oluşan birleştirilmiş bulanık ağırlık puanları [Tablo 5](#)'te verilmiştir.

Tablo 5

Kriterlerin bulanık ağırlıkları

Kriterler	Bulanık Ağırlıklar W _j		
	L	M	U
K1	0.0011	0.0103	0.0573
K2	0.0268	0.2338	0.4721
K3	0.0153	0.0478	0.1343
K4	0.0019	0.0156	0.0716
K5	0.0009	0.0046	0.0268
K6	0.0019	0.0152	0.0729
K7	0.0117	0.0821	0.2062
K8	0.0819	0.3055	0.4510
K9	0.0066	0.1094	0.3148
K10	0.0468	0.1756	0.3608

Eşitlik (2.4) ile durulaştırma işleminin yapılmasının ardından hesaplanan nihai kriter ağırlıkları [Tablo 6](#)'da verilmiştir. En yüksek önem düzeyine sahip kriterler sırası ile; “K8-Şiddet”, “K2-Üretim açığı durumu” ve “K10-Bir önceki hatanın etkisi” olarak bulunmuştur. Çevre kriteri ise önem düzeyi en düşük kriter olarak bulunmuştur.

Bulanık COPRAS yönteminde, alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılacak bulanık dilsel değişkenler [Tablo 7](#)'de verilmiştir.

Tablo 6

Kriterlerin nihai ağırlıkları

Kriterler	Nihai Ağırlıklar W _j
K1	0.020
K2	0.218
K3	0.059
K4	0.027
K5	0.010
K6	0.027
K7	0.089
K8	0.249
K9	0.128
K10	0.173

Tablo 7

Alternatifler için dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	Bulanık sayı (l, m, u)
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 2.5)
Düşük (D)	(0, 2.5, 5)
Orta (O)	(2.5, 5, 7.5)
Yüksek (Y)	(5, 7.5, 10)
Çok Yüksek (ÇY)	(7.5, 10, 10)

Bulanık COPRAS yönteminin metodolojisine uygun olarak kriterler faydalı ve faydasız şeklinde ayrılmış, sadece 9. kriterin (tespit edilebilirlik) amaca göre faydasız, diğer kriterlerin ise faydalı kriter olduğu belirlenmiştir. Uzmanlar Bulanık COPRAS yöntemine göre [Tablo 7](#)'yi kullanarak; hataları belirlenen kriter yapısına göre değerlendirmişlerdir. Karar Verici-1'in değerlendirmeleri [Tablo 8](#)'de verilmiştir. Benzer değerlendirmeler diğer uzmanlar tarafından da yapılmıştır.

Tablo 8

Karar verici 1'in değerlendirmesi

Hatalar	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
HT1	Y	ÇY	ÇD	O	D	Y	D	Y	D	Y
HT2	Y	Y	ÇD	O	D	Y	ÇY	O	ÇY	ÇD
HT3	ÇD	ÇD	ÇD	O	D	Y	D	Y	D	Y
HT4	ÇD	ÇD	ÇY	O	D	Y	Y	Y	ÇY	ÇD
HT5	Y	ÇY	ÇD	Y	D	D	D	Y	D	Y
HT6	ÇD	ÇD	ÇD	Y	D	D	D	Y	D	Y
HT7	ÇD	D	D	D	Y	Y	ÇD	Y	D	Y
HT8	Y	Y	ÇD	D	Y	Y	ÇY	O	ÇY	ÇD
HT9	D	ÇD	ÇY	D	Y	Y	ÇD	Y	D	Y
HT10	ÇD	ÇD	ÇY	D	Y	Y	Y	Y	ÇY	ÇD
HT11	ÇD	D	D	O	D	Y	ÇD	Y	D	Y
HT12	Y	Y	ÇD	O	D	Y	ÇY	O	ÇY	ÇD
HT13	D	ÇD	ÇY	O	D	Y	ÇD	Y	D	Y
HT14	ÇD	ÇD	ÇY	O	D	Y	D	Y	ÇY	ÇD
HT15	ÇD	D	ÇD	Y	D	Y	D	Y	D	Y
HT16	ÇY	Y	ÇD	Y	D	Y	D	Y	ÇY	ÇD
HT17	D	ÇD	ÇY	O	D	D	ÇD	Y	D	Y
HT18	ÇD	ÇD	ÇY	O	D	D	Y	Y	ÇY	ÇD
HT19	ÇD	D	D	O	D	D	ÇD	Y	D	Y
HT20	Y	Y	ÇD	O	D	D	ÇY	O	ÇY	ÇD
HT21	ÇD	ÇD	ÇY	O	D	D	D	Y	D	Y
HT22	ÇY	ÇD	ÇY	O	D	D	D	Y	ÇY	ÇD
HT23	Y	D	ÇD	O	D	D	D	Y	D	Y
HT24	Y	Y	ÇD	O	D	D	D	Y	ÇY	ÇD
HT25	D	ÇD	ÇY	O	D	D	ÇD	Y	D	Y
HT26	ÇD	ÇD	ÇY	O	D	D	Y	Y	ÇY	ÇD
HT27	ÇD	D	D	O	D	D	ÇD	Y	D	Y
HT28	Y	Y	ÇD	O	D	D	ÇY	O	ÇY	ÇD
HT29	ÇD	D	D	Y	D	D	ÇD	Y	D	Y
HT30	Y	Y	ÇD	Y	D	D	ÇY	O	ÇY	ÇD
HT31	D	ÇD	ÇY	Y	D	D	ÇD	Y	D	Y
HT32	ÇD	ÇD	ÇY	Y	D	D	Y	Y	ÇY	ÇD

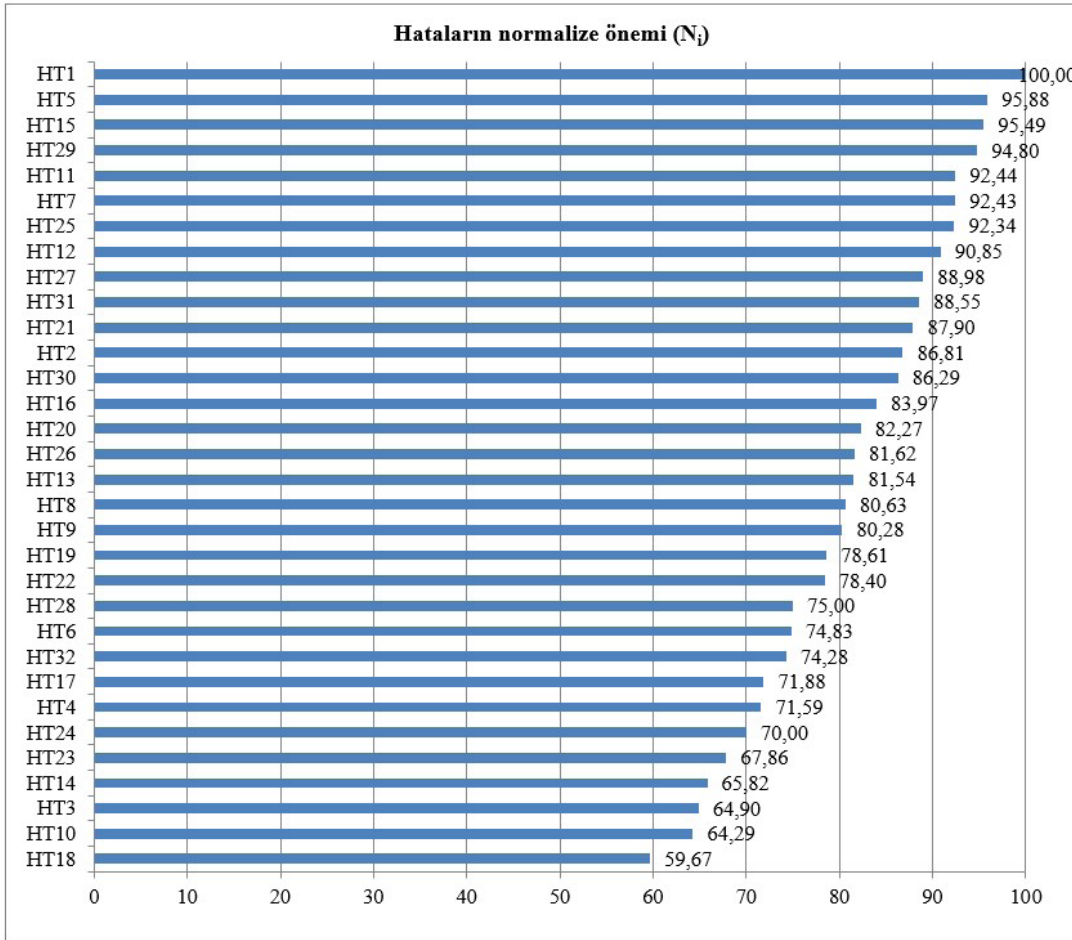
Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS uygulama adımları sonucunda hataların normalize önem değerleri [Şekil 5](#)'teki gibi bulunmuştur. [Şekil 5](#)'te önem değerleri arasında; Klasik HTEA'daki gibi, sapma değerlerinin az olduğu ve tekrar eden RÖS değerlerinin bulunmadığı görülmektedir. Bu hesaplama yöntemi ile her karar vericinin tercihleri göz önüne alınabilmiş ve aynı RÖS değerleri ortaya çıkmadığı için sıralama daha anlaşılır olmuştur.

Bulanık SWARA yöntemi ile bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak, Bulanık COPRAS yöntemi ile elde edilen hataların önem değerleri [Tablo 9](#)'da verilmiştir. [Tablo 9](#)'da, P_i , R_i , Q_i ve N_i değerleri yer almaktadır. Uzmanların bulanık değişkenleri kullanarak yaptıkları değerlendirmeler sonucunda en önemli hata HT1 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 9

Hataların önem değerleri

Hata No.	P_i	R_i	(Q_i)	N_i
HT1	0.0319	0.0018	0.0385	100.00
HT2	0.0316	0.0067	0.0334	86.81
HT3	0.0217	0.0037	0.0250	64.90
HT4	0.0247	0.0043	0.0275	71.59
HT5	0.0303	0.0018	0.0369	95.88
HT6	0.0255	0.0037	0.0288	74.83
HT7	0.0290	0.0018	0.0355	92.43
HT8	0.0292	0.0067	0.0310	80.63
HT9	0.0243	0.0018	0.0309	80.28
HT10	0.0229	0.0067	0.0247	64.29
HT11	0.0290	0.0018	0.0356	92.44
HT12	0.0329	0.0059	0.0349	90.85
HT13	0.0248	0.0018	0.0314	81.54
HT14	0.0233	0.0059	0.0253	65.82
HT15	0.0302	0.0018	0.0367	95.49
HT16	0.0305	0.0067	0.0323	83.97
HT17	0.0244	0.0037	0.0276	71.88
HT18	0.0212	0.0067	0.0229	59.67
HT19	0.0269	0.0037	0.0302	78.61
HT20	0.0298	0.0067	0.0316	82.27
HT21	0.0272	0.0018	0.0338	87.90
HT22	0.0272	0.0041	0.0302	78.40
HT23	0.0228	0.0037	0.0261	67.86
HT24	0.0251	0.0067	0.0269	70.00
HT25	0.0281	0.0016	0.0355	92.34
HT26	0.0284	0.0041	0.0314	81.62
HT27	0.0277	0.0018	0.0342	88.98
HT28	0.0268	0.0059	0.0288	75.00
HT29	0.0299	0.0018	0.0365	94.80
HT30	0.0314	0.0067	0.0332	86.29
HT31	0.0275	0.0018	0.0341	88.55
HT32	0.0258	0.0043	0.0286	74.28



Şekil 5. Süreç Bazlı Bulanık SWARA-COPRAS yöntemi sonucu hata türlerinin sıralanması

3. Bulgular ve Tartışma

Klasik Süreç HTEA yöntemi ile süreç bazlı Bulanık SWARA-COPRAS yönteminin sonuçlarına göre hataların sıralaması farklılaşmıştır. Her iki yöntemin karşılaştırmalı sonuçları [Tablo 10](#)'da verilmiştir.

Tablo 10

Süreç HTEA ve Bulanık SWARA-COPRAS yöntemlerine göre hataların sıraları.

Hata No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Bulanık SWARA	1	5	15	29	11	7	25	12	27	31	21	2	30	16	20	26	13	8	9	19	22	28	6	32	17	4	24	23	14	3	10	18
COPRAS																																
Süreç HTEA	28	26	27	25	19	18	24	22	32	30	16	10	8	6	4	2	20	17	23	21	31	29	9	5	3	1	15	7	14	12	13	11

Süreç HTEA analizi sonucunda en yüksek önem düzeyine sahip ve öncelikle iyileştirilmesi gereken hataların “**HT28**:Eksik veri girişi sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi” ve “**HT26**:Eksik veri girişi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi”; en düşük önem düzeyine sahip göz ardı edilebilecek derecede düşük hataların ise “**HT13**:Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” ve “**HT11**:Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” olduğu görülmüştür. Karar vericiler bazında bu hataların önceliklendirilmesi değişmektedir. Bu değişiklikler eğitim düzeyi, görev alınan pozisyon, tecrübe, subjektif yargılar ve görev tanımı gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır.

Önerilen süreç bazlı Bulanık SWARA-COPRAS yöntemine göre ise hata değeri en yüksek ve öncelikle iyileştirilmesi gereken hatalar; “**HT-1:** Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) toplantısında fark edilmesi” ve “**HT5:** Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” olarak belirlenmiştir.

En düşük öncelik sırasına sahip hatalar ise; “**HT10:** Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi” ve “**HT18:** Talep rakamlarının fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi” dir.

Kriterler belirlenirken en önemli olanları; hatanın şiddeti, eksik üretim durumu ve bir önceki iş adımının o hata için etkisi olarak bulunmuştu. HT1’in şiddeti ve sonraki iş adımlarına etkisi yüksek olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda müşteri beklentisi ve olasılığı da yüksektir. Bu hatanın sürecin en başında fark edilmesi sonraki iş adımlarının etkisini veya olasılığını da düşürecektir. Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması öncelikle insan kaynaklı, sonra ise kullanılan metot/prosedür kaynaklı bir hatadır. Bu iki hata için sisteme doğru talep verilerinin girilebilmesi sağlandığında ve iyileştirici önlemler alındığında süreçteki diğer hataların da azalabileceği tespit edilmiştir.

HT18 fazla stok durumu içerdiğinden tüm uzmanlar tarafından şiddeti ve eksik üretim durumu düşük veya çok düşük olarak belirtilmiştir. Kendinden sonraki iş adımlarını da daha az etkiler ve tespit edilebilmesi kolaydır. Bu hata da metot/prosedür eksikliği, çevre ve insan kriterlerinden etkilenmektedir. HT18 fazla üretim raporunda üretim yapıldıktan sonra fark edildiğinden geri alınamaz.

4. Sonuçlar

HTEA’da belirsizliğin fazla ve değerlendirmenin zor olmasından dolayı uzmanların deneyimleri ve sezgileri genellikle ön plana çıkmaktadır. Çalışmada, HTEA’nın hataların önem değerlerini hesaplamada yetersiz kalan yönlerine çözüm getirebilmek amacıyla uzman görüşlerini daha iyi yansıtan süreç bazlı Bulanık SWARA-COPRAS modeli önerilmiştir. Uygulanan süreç bazlı Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS yönteminde ise üçgensel bulanık sayılar kullanılarak kriterler ve alternatifler dilsel değişkenler ile ifade edilmiştir. Her karar vericinin kriterleri sıralamasına imkan sunularak SWARA yöntemi sonucunda ortak bir kriter ağırlık tablosu elde edilmiştir. Böylece süreç HTEA yönteminin eksikliği olan olasılık, tespit edilebilme ve şiddet kriterlerine eşit ağırlık verilmesinin önüne geçilmiştir. Ayrıca hataların sıralanmasında bu kriterlerin dışında hataların nedenleri, iç müşterinin beklentisi ve en önemlisi bir önceki iş adımının etkisi kriteri de eklenerek uygulanan ÇKKV modeli ile daha başarılı bir değerlendirme yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, bir süreçte bulunan iş adımlarının birbiri ile ilişkilendirildiği çalışma sayısı oldukça azdır. Fakat bilinmelidir ki bir iş akışında her iş adımı kendinden sonra gelen iş adımındaki hataların olasılığını ve etkisini de artırmaktadır. Risk analizi çalışmalarında hataların önceliklendirilmesi için yapılmış çalışmalarda HTEA yöntemi çok kez uygulanmıştır. HTEA yöntemi ile ÇKKV yöntemlerinden Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemlerinin bir arada kullanılarak karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Isıtma iklimlendirme sektöründe yapılmış bir risk analizi çalışmasına da rastlanmamıştır. Çalışmanın sonraki aşamalarında, analiz edilen sürece dair iyileştirici önlemlerin alınması ve önlemlerin etkinliğinin benzer yaklaşımlarla değerlendirilmesi yapılabilir. Ayrıca karar destek sistemi entegre edilerek mevcut senaryolar için aksiyon planları alınabilir. Çalışmada önerilen süreç bazlı bulanık SWARA-COPRAS modelinin tedarik zinciri risk analizi problemleri için yol gösterici olması umulmaktadır.

Yazar Katkıları

Pelin Poyraz: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Biçimsel analiz, Yazma - Orijinal Taslak, Görselleştirme

Fuat Şimşir: Metodoloji, Araştırma, Yazma - İnceleme ve Düzenleme, Denetleme

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Aksoy, E., Ömürbek, N. ve Karaatlı, M. (2015). AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1-28. Erişim adresi: Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi » Submission » AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS Yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin Performans Değerlendirmesi (dergipark.org.tr)
- Alkan, Ö. ve Albayrak, Ö. K. (2020). Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based fuzzy COPRAS and fuzzy MULTIMOORA. *Renewable Energy*, 162, 712–726. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.08.062>
- Baryannis, G., Dani, S. ve Antoniou, G. (2019). Predicting supply chain risks using machine learning: The trade-off between performance and interpretability. *Future Generation Computer Systems*, 101, 993-1004. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.07.059>
- Baykasoğlu, A., Dereli, T., Yılkırkan, N. ve Yılkırkan, A. (2003). Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Gaziantep'te Orta Ölçekli Bir Firmada Uygulanması. *II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 157-163.
- Büyüközkan, G., Karabulut, Y. ve Mukul, E. (2018). A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals. *Energy*, 165, 290–302. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.08.215>
- Belu, N., Militaru, E., Rachieru, N. ve Anghel, D.C. (2012). Application of FMEA in Product Development Stage. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 10(3), 12-19.
- Chowdhury, N. A., Ali, S. M., Mahtab, Z., Rahman, T., Kabir, G. ve Paul, S. K. (2019). A structural model for investigating the driving and dependence power of supply chain risks in the readymade garment industry. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 51, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.05.024>
- Dong, Q. ve Cooper, O. (2016). An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework. *International Journal of Production Economics*, 182, 144-156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.021>
- Fan, Y., Feng, Y. ve Shou, Y. (2020). A risk-averse and buyer-led supply chain under option contract: CVAR minimization and channel coordination. *International Journal of Production Economics*, 219, 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.021>
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. K. ve Haji Moini, S. H. (2012). A new hybrid model for evaluating the working strategies: case study of construction company. *Technological and Economic Development of Economy*, 18(1), 164-188. <https://doi.org/10.3846/20294913.2012.667270>
- Gallab, M., Bouloiz, H., Garbolino, E., Alaoui Y. L. ve Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, 148, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.065>
- Gallab, M., Bouloiz, H., Garbolino, E., Tkiouat, M., Elkilani M. A. ve Bureau, N. (2017). Risk analysis of maintenance activities in a LPG supply chain with a Multi-Agent approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 47, 41-56. <https://doi.org/10.1016/j.jlpi.2017.02.026>
- Giannakis, M. ve Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International Journal of Production Economics*, 171(4), 455-470. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.032>
- Hsu, P. Y., Aurisicchio, M. ve Angeloudis, P. (2019). Risk-averse supply chain for modular construction projects. *Automation in Construction*, 106, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102898>
- İnternet: Taşdemir, O., Dilaver, M. ve Sönmez, Y.M. (2016). Proses Tehlike Analizlerindeki Belirsizliklerin Bulanık Mantık ile Kantitatifleştirilmesi. Erişim adresi: <https://www.proscon.com.tr/proses-tehlike-analizlerindeki-belirsizliklerin-bulanik-mantik-ile-kantitatiflestirilmesi/>.
- Jajja, M. S. S., Chatha, K. A. ve Farooq, S. (2018). Impact of supply chain risk on agility performance: Mediating role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 205, 118-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.032>
- Jiang, B., Li, J. ve Shen, S. (2018). Supply Chain Risk Assessment and Control of Port Enterprises: Qingdao port as case study. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(3), 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.09.003>
- Jovic, S. (2014). *Gıda sektöründe tedarik zinciri risk faktörlerinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A. ve Malinauskas, P. (2006). Selection of Low-E Windows in Retrofit Of Public Buildings by Applying Multiple Criteria Method COPRAS: A Lithuanian Case. *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.enbuil.2005.08.005>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243– 258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Leblanc, D. I., Villeneuve, S., Beni, L. H., Otten, A., Fazil, A., McKellar, R. ve Delaquis, P. (2015). A national produce supply chain database for food safety risk analysis. *Journal of Food Engineering*, 147, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.026>
- Mavi, R.K., Goh, M. ve ZARBakhshnia, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 5-8. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9880-x>
- Mensaha, P., Merkurjeva, Y., Klavinska, E. ve Manakb, S. (2017). Supply Chain Risks Analysis of a Logging Company: Conceptual Model. *Procedia Computer Science*, 104, 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.140>
- Ming, C. T., Cheng, M., Bin, S. ve Qi, S. (2019). Optimal pricing in mass customization supply chains with risk-averse agents and retail competition. *Omega*, 88, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.08.004>
- Nagurney, A., Jose C., June D. ve Ding Z. (2005). Supply Chain Networks, Electronic Commerce and Supply Side and Demand Side Risk. *European Journal of Operational Research*, 164(1), 120-142. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.11.007>
- Nguyen, H. T., Dawal, S. Z. M., Nukman, Y., Aoyama, H. ve Case, K. (2015). An integrated approach of fuzzy linguistic preference based AHP and fuzzy COPRAS for machine tool evaluation. *Plos one*, 10(9), 1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133599>
- Oliveira, F. N., Leiaras, A. ve Ceryno, P. (2019). Environmental risk management in supply chains: A taxonomy, a framework and future research avenues. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1257-1271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.032>
- Peng, H. ve Pang, T. (2019). Optimal strategies for a three-level contract-farming supply chain with subsidy. *International Journal of Production Economics*, 216, 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.06.011>
- Podvezko V. (2011). The Comparative Analysis Of MCDA Methods SAW And COPRAS. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 22(2), 134-146. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Prakash, A., Agarwal, A. ve Kumar, A. (2018). Risk Assessment in Automobile Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3571-3580. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.606>
- Rabbani, A., Zamani, M., Yazdani-Chamzini, A. ve Zavadskas, E.K. (2014). Proposing a new integrated model based on sustainability balanced scorecard (SBSC) and MCDM approaches by using linguistic variables for the performance evaluation of oil producing companies. *Expert Systems with Applications*, 41(16), 7316-7327, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.023>.
- Rajesh, R. ve Ravi, V. (2015). Modeling enablers of supply chain risk mitigation in electronic supply chains: A Grey-DEMATEL approach. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 126-139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.028>
- Raza, S. A. ve Govindaluri, S. M. (2019). Pricing strategies in a dual-channel green supply chain with cannibalization and risk aversion. *Operations Research Perspectives*, 6, 1- 14. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100118>
- Sabouhi, F., Psihvae, M. S. ve Jabalemeli, M. S. (2018). Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 657-672. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.001>
- Schaefer, T., Udenio, M., Quinn, S. ve Fransoo, J. C. (2019). Water risk assessment in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 208, 636-648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.262>
- Serrano, A., Oliva, R. ve Kraiselburd, S. (2018). Risk propagation through payment distortion in supply chains. *Journal of Operations Management*, 58-59, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2018.01.003>
- Shojei, P. ve Haeri, S. A. S. (2019). Development of supply chain risk management approaches for construction projects: A grounded theory approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 837-850. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.045>

- Silva, C., Pavao, A. P. B. ve Carvalho, A. (2019). Green Supply Chain: Integrating Financial Risk Measures while Monetizing Environmental Impacts. *Computer Aided Chemical Engineering*, 46, 1549-1554. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50259-9>
- Şimşir, F., Demir, H.İ. ve Azdemir, S. (2018). Demir Çelik Sektöründe Hibrid DEMATEL ve TOPSIS-ELECTRE Yöntemleri ile Hata Türleri ve Etkileri Analizi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 22-34, Eylül, <https://doi.org/10.21541/apjes.455767>
- Thun, J. H. ve Hoeing, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.010>
- Valinejad, F. ve Rahmani, D. (2018). Sustainability risk management in the supply chain of telecommunication companies: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 203, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.174>
- Venkatesh, V. G., Rathi, S. ve Patwa, S. (2015). Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2015.06.001>
- Vilko, J., Ritala, P. ve Hallikas, J. (2019). Risk management abilities in multimodal maritime supply chains: Visibility and control perspectives. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 469-481. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.11.010>
- Wu, Y., Jia, W., Li, I., Song, Z., Xu, C. ve Liu, F. (2019). Risk assessment of electric vehicle supply chain based on fuzzy synthetic evaluation. *Energy*, 182, 397-411. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.007>
- Yang, B. (2019). Construction of logistics financial security risk ontology model based on risk association and machine learning. *Safety Science*, 123, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.005>
- Yazdani, M., Alidoosti, A. ve Zavadskas, E. K. (2011). Risk analysis of critical infrastructures using fuzzy COPRAS. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24(4), 27-40. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2011.11517478>
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353, ISSN 0019-9958, [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).



Farklı Olgunluklarda Tüketilen Sakız Enginarının (*Cynara Scolymus L.*) Biyoaktif Bileşenlerinin İncelenmesi

Seda Kayahan^{1*}, Didem Saloğlu²

¹Gıda Teknolojisi Bölümü, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Yalova, Türkiye

²Afet ve Acil Durum Yönetimi Anabilim Dalı, Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 22.05.2021

Kabul: 27.08.2021

Yayın: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Enginar (*Cynara Cardunculus L. Var. Scolymus*) Akdeniz ülkelerinde yetiştirilen önemli kültür bitkilerinden biridir. Ülkemizde Sakız, Bayrampaşa ve bazı hibrit tip enginarların yetiştiriciliği yapılmaktadır. Enginarın içeriğindeki önemli biyoaktif bileşenlerin, karaciğeri koruyucu, antibakteriyel, anti-HIV, safra taşı önleyici, antikarsinojenik, antioksidatif, kolesterol biyosentezi önleyici gibi sağlığa faydalı etkileri olduğu görülmüştür. Enginarın baş kısmında bulunan iç brakte ve olgunlaşmamış çiçek tablası bitkinin tüketilen kısmını oluşturmaktadır olup bu kısım enginar baş kısmının yaklaşık %30'luk kısmını oluşturmaktadır. Enginar bitkisinin diğer organları ise yaprak, sap ve dış brakte kısımlarında önemli biyoaktif bileşen içeriğine sahip olup büyük oranda artık olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde Sakız enginarı farklı olgunluklarda hasat edilerek tüketiciye sunulmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde yaygın bir şekilde yetiştiriciliği gerçekleştirilen sakız enginarının farklı olgunluklarına ait toplam fenol madde, DPPH antioksidan aktivite, CUPRAC antioksidan aktivite içerikleri ve önemli biyoaktif bileşen içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca büyük oranda artık olarak ortaya çıkan enginar kısımlarının da katma değeri yüksek ürün dönüşüm potansiyeli araştırılması amacıyla, fenolik içerikleri, antioksidan aktivite ve biyoaktif bileşenleri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, enginarın iç brakte kısmında en yüksek toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktivite olduğu görülmüştür. Farklı olgunlukta bulunan enginarlar incelendiğinde, bebek enginarın kalp kısmının fenolik içeriği daha yüksek bulunmuştur. Olgunluk değeri arttıkça fenolik içerik ve antioksidan aktivitenin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca enginarına artık olarak ortaya çıkan yaprak, sap ve dış brakte kısımlarının önemli fenol kaynağı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Antioksidan, biyoaktif bileşikler, enginar, fenolik bileşikler, Sakız genotip

Investigation of Bioactive Components of Sakız Artichoke (*Cynara Scolymus L.*) Consumed in Different Maturity

¹Food Technology Department, Atatürk Horticultural Central Research Institute, Yalova, Turkey

²Department of Disaster and Emergency Management, Disaster Management Institute, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Article History

Received: 22.05.2021

Accepted: 27.08.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – Artichoke (*Cynara Cardunculus L. Var. Scolymus*) is one of the most important cultivated plants grown in Mediterranean countries. Sakız, Bayrampaşa, and some hybrid types are grown in Turkey. The important bioactive components in the artichoke have been shown beneficial effects on health, such as liver protection, antibacterial, anti-HIV, anti-gallstone, anticarcinogenic, antioxidative, and prevention of cholesterol biosynthesis. The edible parts of the artichoke are inner bracts and heart of artichoke that are found in the head part and constitute approximately 30% of the whole artichoke. Leaves, stems, and outer bracts have important bioactive components and produced to be a large residue. Sakız artichoke is harvested at different maturity levels and presented to consumers in our country. In the present paper, total phenolic compounds, antioxidant activities, and important bioactive components of different maturity of Sakız artichokes were determined. In addition, the parts of Sakız artichoke's residues have been investigated and their phenolic contents, antioxidant activities and bioactive components were determined in order to investigate their potentials to be high value-added products. According to the experimental results, the highest total phenolic content and antioxidant activity have been determined in the internal bracts of the artichoke. The artichokes at different maturities were examined and the highest phenolic content value was determined in the heart part of the baby artichoke. It was determined that when the maturity degree increased, the phenolic contents and antioxidant activities decreased significantly.

Keywords – Antioxidant, artichoke, bioactive compounds, phenolic compound, Sakız genotype

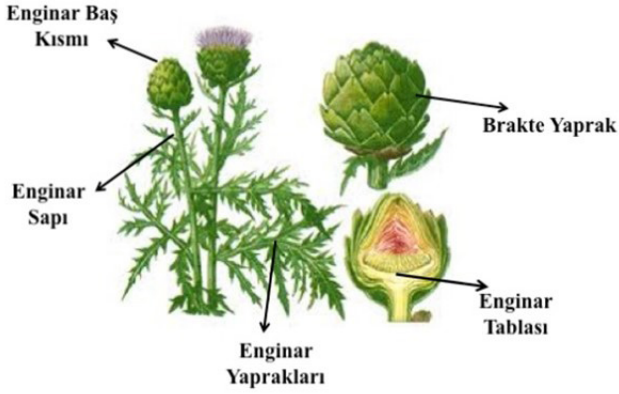
¹ sedagundogdu87@gmail.com

² saloglu@itu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Enginar (*Cynara cardunculus ssp. scolymus L., Hegi; Astreaceae* familyası) Akdeniz havzasının antik çağlardan beri bilinen çok yıllık bir bitkisidir (Petropoulos vd., 2018). Şekil 1’de gösterildiği gibi enginar, baş, brakte yaprak, tabla (kalp), sap ve yaprak kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 1. Enginar bitkisinin organları

Türkiye’de büyük çoğunlukla yerli enginar tipleri Sakız ve Bayrampaşa genotipleri ile bazı hibrit enginar tipleri yetiştirilmektedir. Ege bölgesinde Sakız enginarı erkenci bir tip, Marmara bölgesinde Bayrampaşa tipi ise geç hasat edilerek üretilmektedir (Bektaş ve Saner, 2013). Türkiye’de son on yıldaki enginar üretim miktarı, İzmir’de %32.09, Bursa’da %23.19, Aydın’da %14.04, Antalya’da %5.88 ve Adana’da %5.25 olarak belirlenmiştir (Bektaş ve Saner, 2013). Bu verilere göre Türkiye’de en yüksek enginar üretimi Ege bölgesinde olduğu görülmektedir. Sadece Ege bölgesinde üretimi yapılan Sakız genotipi Türkiye’de büyük oranda üretilmektedir. Enginar organlarından sadece kalp ve iç brakte kısımları yenilebilir, yaprak, dış brakte ve sap kısımları endüstriyel yan ürün olarak kullanılmaktadır (Jimenez vd., 2019).

Enginar, yüksek antioksidan içeriği nedeniyle farmasötik uygulamalarda kullanılabilir (Lattanzio vd., 2009; ve Ceccarelli vd., 2010). Bitkinin hem yenilebilir kısmı hem de enginar yan ürünleri, esas olarak kafeoilkinik asitler, di- kafeoilkinik asitler ve flamanlar dahil olmak üzere, iyi bilinen diyet lifleri ve polifenol kaynağıdır (Lattanzio vd., 2009; Pandino, Lombardo ve Mauromicale, 2013). Enginar en önemli antioksidan bileşikler sinarin, klorojenik asit (5-O-kafeoilkinik asit), 1,5-di-O-kafeoilkinik asit, 3,4-di-O-kafeoilkinik asit, ve 3,5-di-O-kafeoilkinik asittir (Christaki, Bobos ve Florou Paneri, 2012). Enginar dokularında luteolin ve apigenin glikozidleri ile rutinoid türevleri ise en bol bulunan flavonlardır (Colantuono, Ferracaner ve Vitaglione, 2018). Avrupa Fonksiyonel Gıda Bilimi Avrupa Komisyonuna göre geleneksel Akdeniz diyetinden enginar, fonksiyonel gıda olarak kabul edilmektedir. Enginar, içeriğinde hepatoprotektif, hipokolesterolemik ve antioksidan özellikleri olan toplam polifenoller sayesinde özellikli hastalıkların riskini azalmaktadır (Ceccarelli vd., 2010).

Enginar sebze olarak taze ya da konserve olarak tüketilirken, tıbbi nitelikte etkilerinin yüksek olması sebebiyle ilaç sanayiinde de oldukça yaygın kullanılmaktadır. Besleyiciliği yanında fizyolojik faaliyetlere de etkide bulunmaktadır. İnsan vücudunda oluşan toksik maddelerin nötrleştirilmesine, kalp faaliyetlerinin düzenlenmesine kan dolaşımına ve kılcal damar direncine pozitif yönde etkisi bulunmaktadır (Christaki, Bobos ve Florou Paneri, 2012). Yapılan pek çok araştırmada enginarın, kolesterol düşürücü, LDL oksidasyonunu önleyici, anti-HIV, antikanser, diüretik, anti inflamatuvar, antifungal ve antibakteriyel özellikleri olduğu bildirilmiştir. Enginar üretiminde, enginarın yenilebilir kısmı dışında kalan brakte yaprak ve saplar yaklaşık %80’lik kısmını oluşturmaktadır ve bu kısımlar atık olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek oranda açığa çıkan atıklarından elde edilebilecek biyoaktif bileşen içeriğinin yüksek olması veya fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmesi, ekonomik açıdan önemlidir. Enginarın fenolik madde içeriği hakkında birçok çalışma yapılmıştır, ancak bitki organlarının fenolik madde içeriği hakkında net bir bilgi yoktur (Lombardo vd., 2012; Pandino, Lombardo ve Mauromicale, 2013). Bunun sebebi olarak bitki türü, üretim şartları, olgunluk seviyesi ve depolama şartları sayılabilir.

Sunulan bu çalışmada, ülkemizde yoğun şekilde Ege Bölgesinde üretilen Sakız enginarına ait farklı olgunluk seviyesindeki kalp kısımlarının fenolik içerikleri incelenmiş, Sakız enginar genotipine ait sap, yaprak, iç brakte ve dış brakte gibi tüm organların toplam fenolik içerikleri ve iki farklı antioksidan aktivite yöntemi kullanılarak antioksidan aktivite değerleri belirlenmiştir. Enginarın içeriğindeki en önemli biyoaktif bileşenler; sinarin, klorojenik asit, luteolin 7 glikozit, luteolin, rhoifolin, sirinjin değerleri belirlenmiş, istatistiksel olarak tüm organlar incelenmiştir. Yapılan çalışma ile Sakız enginar genotipinin içeriğindeki fonksiyonel bileşenler incelenerek bitkiden büyük oranda ortaya çıkan yaprak, sap, brakte organlarının fonksiyonel ürün olma potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile Ege bölgesinde enginar yetiştiriciliğinin en yoğun yapıldığı Aydın ilinde yetişen Sakız enginar genotipinin tüm olgunluklarda ve organların biyoaktif içeriği belirlenmiştir. Sunulan çalışma Türkiye’de belirtilen kapsamda yapılmış ilk ve tek çalışmadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

2.1.1. Enginar

Sakız enginar (*Cynara scolymus L. cv.*) Aydın, Türkiye’de (enlem 37.7500; boylam 27.8456, rakım 59 m) yetiştirilmiş olup; farklı olgunluklardaki en az 20 farklı bitkinin baş ve yaprak kısımları kullanılmıştır. Örnek toplama işleminde her bitkinin üstten 1/3 kısmı alınmıştır. Her enginardan toplanan kısımlar paçal haline getirilerek deneysel çalışmalar için işleme alınmıştır.

2.1.2. Kimyasallar

Gallik asit (Sigma Life Science / Çin), troloks (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit) (Sigma Aldrich / Danimarka), DPPH (2,2-difenil-1-pikril- hidrazin) (Sigma Aldrich / Almanya), Folin-Ciocalteu fenol reaktifi (Sigma Aldrich / İsviçre), neokuprain (Sigma Aldrich / Çin), sodyum karbonat (Na_2CO_3) (Sigma Aldrich / Fransa), metanol (HPLC gradyan derecesine sahip, JT Baker / Polonya), amonyum asetat, bakır (II) klorür dihidrat ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Merck / Almanya) olarak temin edilmiştir. Fenolik standartlar olarak kullanılan klorojenik asit (Sigma / Hindistan), sinarin (Sigma-Aldrich / Almanya), luteolin 7-glukozit (Sigma Aldrich / Fransa), luteolin (Sigma Aldrich / Fransa), sirinjin (Sigma Aldrich / Çin), apigenin-7-O-neohedperidoside (Sigma Aldrich / Fransa)’dır.

2.1.3. Toplam Fenol ve Antioksidan Analizleri İçin Ekstraksiyon

3 g kurutulmuş öğütülmüş örnekler alınmış saf metanolden 25 mL eklenecek, 2 dakika homojenize edilmiş ve +4 °C’de bir gece bekletilmiştir. 20 dakika boyunca 10.000 rpm’de santrifüj edilmiştir. Süpernatant kısmı ayrılmış ve analiz edilinceye kadar -20 °C’de muhafaza edilmiştir. Hazırlanan bu ekstratlar, fenolik madde miktarı tayininde ve antioksidan aktivite analizinde kullanılmıştır ([Thaipong vd., 2006](#)).

2.1.4. Toplam Fenolik Madde Analizi

Toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. -20 °C’de muhafaza edilen ekstratlardan 150 µL alınmış, üzerine 2400 µL saf su, 150 µL 0.25 N Folin Ciocalteu çözeltisi ilave edilerek vorteksle 3-4 dakika karıştırılmıştır. Elde edilen homojen karışımın üzerine 300 µL 1 N Na_2CO_3 ilave edilerek oda sıcaklığında 2 saat bekletilmiş, ardından örneklerin spektrofotometrede 725 nm dalga boyunda absorbans değeri ölçülmüştür. Farklı konsantrasyonlarında hazırlanan gallik asit standart çözeltisi (mg/mL) ile kalibrasyon eğrisi çizilerek, örneklerin mg/g gallik asit eşdeğeri olarak hesaplanmıştır ([Thaipong vd., 2006](#)).

2.1.5. Antioksidan Aktivite Analizi

DPPH stok çözeltisi çalışma çözeltisi ile karıştırılarak antioksidan aktivite değerleri mg/g trolox eş değeri olarak belirlenmiştir ([Thaipong vd., 2006](#)). DPPH stok çözeltisi metanol içerisinde hazırlanmış ve kullanım öncesinde -20 °C’de depolanmıştır. Çalışma çözeltisi, stok çözelti seyreltilerek hazırlanmış ve bu amaçla stok çözelti metanol ile son absorbans 1.2 ± 0.02 olacak şekilde seyreltilmiştir. Kalibrasyon eğrisi

troloks ile elde edilmiştir. Troloks kalibrasyon eğrisi için spektrofotometre kuvetindeki son konsantrasyon 20 mg/mL'den düşük olacak şekilde troloks çözeltisi hazırlanmıştır. Deneylede 150 µL örnek veya standart 2850 µL DPPH çalışma çözeltisi ile karıştırılarak test tüplerinde karıştırılmış ve reaksiyona karanlık bir ortamda 24 saat devam edilmiştir. Bu süre sonunda renkli ürünün absorbansı 515 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuştur. Örneklere ait absorbans değerlerinin kalibrasyon eğrisinin içine düşmesi için örnekler gerektiğince kat seyreltilmiştir (Kayahan & Saloglu, 2020).

CUPRAC (Copper Reducing Antioxidant Capacity) analizi için Apak vd. (2004) önerdiği yöntem kullanılmıştır. Örneklerin antioksidan aktivite değerleri mg/g Trolox eş değeri olarak belirlenmiştir.

2.1.6. Biyoaktif Bileşen Ekstraksiyonu

Enginar numuneleri toz haline getirildikten sonra 1 g tartılmış ve 70 °C'de 2 saat boyunca çalkalamalı su banyosunda 50 mL saf metanol ile ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuştur. Ekstrat faz -20 °C'de saklanmış, HPLC ile analiz gerçekleştirilmiştir (Stumpf vd., 2020).

2.1.7. Enginardaki Biyoaktif Bileşen Analizi

Fenol analizleri, Agilent 1100 HPLC (Hewlett-Packard, Waldbronn, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mobil faz, su (çözücü A) ve asetonitril (çözücü B) içinde %0.2 (v/v) fosforik asit kullanılmıştır. Analiz işlemine %6 B ile başlanmış, sonrasında 20 dakikada %30 B'ye çıkılmış, daha sonra ise 5 dakika boyunca %30 B'de tutularak analiz tamamlanmıştır. Toplam çalışma süresi 50 dakika olarak belirlenmiştir. Akış hızı 0.6 mL/dk, enjeksiyon hacmi 10 µL olup 280 nm'de siringin, 330 nm de, sinarin, klorojenik asit, luteolin 7 glikozit ve apigenin türevleri tespit edilmiştir (Wang vd., 2003).

2.1.8. İstatistiksel Analiz

Analizler JMP istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır. Deneme planı 'Tesadüf Parselleri Deneme Deseni'ne göre oluşturulmuştur. Analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Verilere varyans analizi yapılarak örneklerin belirlenen özellikleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığına bakılmıştır. Örnek özellikleri arasında anlamlı bir fark Fischer'in LSD testi ile bulunanlar çoklu karşılaştırma prosedürlerinden test edilerek değerlendirilmiştir. Anlamlılık değeri 0.05 olarak alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toplam Fenolik Bileşen ve Antioksidan Aktivite

Farklı olgunluklardaki sakız enginarının ve ortaya çıkan tarım artıklarının (sap, brakte, yaprak) toplam fenol içeriği, DPPH ve CUPRAC antioksidan aktivite değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Enginar kısımlarının toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktiviteleri

Enginarın kısımları	Toplam fenolik bileşen (mg/g)		DPPH Antioksidan aktivite (mg/g)		CUPRAC Antioksidan aktivite (mg/g)	
Olgun kalp	12.61±0.85	e	57.37±4.17	d	51.16±5.99	de
Yarı olgun kalp	17.38±1.41	c	73.63±2.67	b	73.06±5.59	c
Bebek kalp	20.46±0.80	b	111.32±5.0	a	118.57±1.9	b
Dış brakte	2.87±0.510	g	21.52±0.82	g	40.92±5.81	e
İç brakte	29.64±2.40	a	69.12±0.13	c	212.13±20.9	a
Yaprak	14.82±2.09	d	46.91±2.93	e	57.21±3.12	de
Sap	9.84±0.830	f	39.05±1.21	f	17.41±11.17	f
CV	9.3		4.95		2.91	

Her sütündeki farklı harf istatistiksel olarak farklı grubu ifade eder ($p \leq 0.05$)

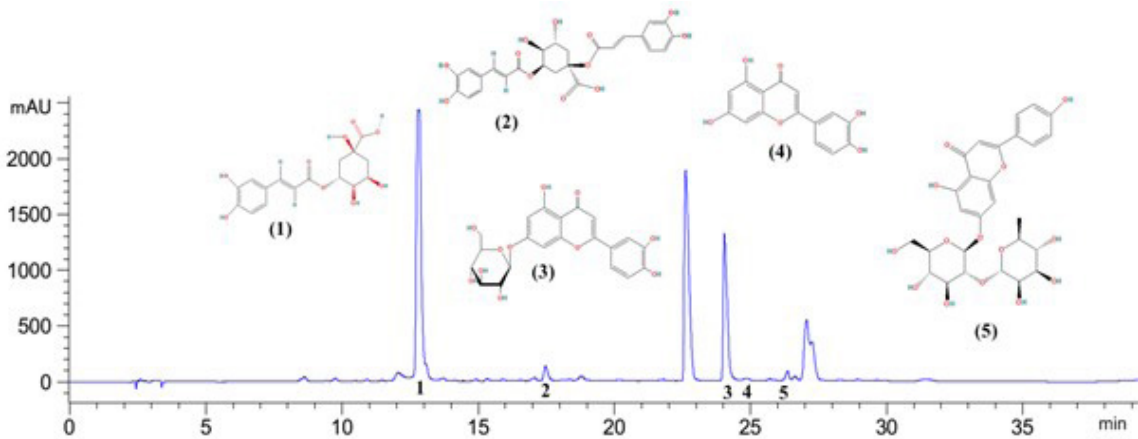
Çalışmada, farklı olgunluklardaki yerel tip Sakız enginarının, olgunluk seviyelerine göre fenolik içerik ve antioksidan aktiviteleri incelenmiş, enginarın büyük oranda ortaya çıkan artıklarının da yeni bir fonksiyonel ürün ve ekstrat üretim potansiyelini araştırmak amacıyla, toplam fenolik içerikleri ve antioksidan aktiviteleri saptanmış ve istatistiksel farklılıklar değerlendirilmiş, sonuçlar [Tablo 1](#)'de verilmiştir. Enginar organlarının fenolik içerikleri incelendiğinde en yüksek fenolik içerik iç braktede 29.64 mg GAE/g olarak belirlenirken, en düşük fenolik içerik dış braktede 2.87 mg GAE/g olarak saptanmıştır. Enginarın yenilebilir kısımlarında en yüksek fenolik içerik sırasıyla; bebek kalpte 20.46 mg GAE/g, yarı olgun kalpte 17.38 mg GAE/g, olgun kalpte 12.61 mg GAE/g bulunmuştur. Enginar bitkisinin yaklaşık %70'lik kısmını oluşturan ve tarlada hayvan yemi olarak terk edilen yaprak kısmının fenolik içeriği 14.82 mg GAE/g, sap kısmının 9.84 mg GAE/g olarak belirlenmiştir. Enginar yaprağının toplam fenol miktarının, enginar olgun kalbindeki toplam fenol miktarına göre istatistiksel olarak önemli derecede yüksek olduğu bulunmuştur.

Enginar organlarının antioksidan aktiviteleri iki farklı antioksidan aktivite yöntemi olan DPPH ve CUPRAC yöntemleriyle belirlenmiştir. DPPH antioksidan aktivite değerlerine göre en yüksek antioksidan aktivite bebek kalp kısmında 111.32 mg TE/g olarak belirlenirken, en düşük antioksidan aktivite dış brakte kısmında 21.52 mg TE/g olarak görülmüştür. DPPH antioksidan aktivite değerleri ise sırasıyla; yarı olgun kalpte 73.63 mg TE/g, iç braktede 69.12 mg TE/g, olgun kalpte 57.37 mg TE/g, yaprakta 46.91 mg TE/g ve sapta 39.05 mg TE/g olarak bulunmuştur. CUPRAC antioksidan aktivite değerleri en yüksek iç braktede 212.13 mg TE/g olarak bulunurken; en düşük sap kısmında 17.41 mg TE/g olarak bulunmuştur.

CUPRAC antioksidan aktivite değerleri sırasıyla; bebek kalpte 118.57 mg TE/g, yarı olgun kalpte 73.06 mg TE/g, yaprakta 57.21 mg TE/g ve olgun kalpte 51.16 mg TE/g, dış braktede 40.92 mg TE/g olarak belirlenmiştir. Literatürde benzer bir çalışma [Falleh vd. \(2008\)](#) tarafından gerçekleştirilmiştir. Buna göre Tunus'ta yetiştirilen enginarların farklı organlarının fenolik içeriklerinin 7-14.8 mg GAE/g arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek fenolik içerik yaprak kısmında görülürken, en düşük toplam fenol miktarı çiçek kısmında (dış brakte) belirlenmiştir. Enginar bitkisinin yaprak ve dış brakte kısımlarının fenolik içerikleri karşılaştırıldığında sunulan çalışma ile benzer veriler görülmüştür. [Fratianni vd \(2008\)](#) yaptığı çalışmada, beş farklı globe enginar çeşidinin farklı organlarının polifenol analizlerini gerçekleştirilmişlerdir. Söz konusu çalışmada özellikle iç braktenin diğer organlara göre fenolik içeriğinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. New Jersey eyaletinde yapılan bir başka çalışmada farklı enginar çeşitlerinin farklı iki olgunlukta enginar kalbine ait fenolik içerikleri incelenmiştir. Çalışmada tüm çeşitlerin genç enginar kalplerinin fenolik içeriğinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ([Wang vd., 2003](#)).

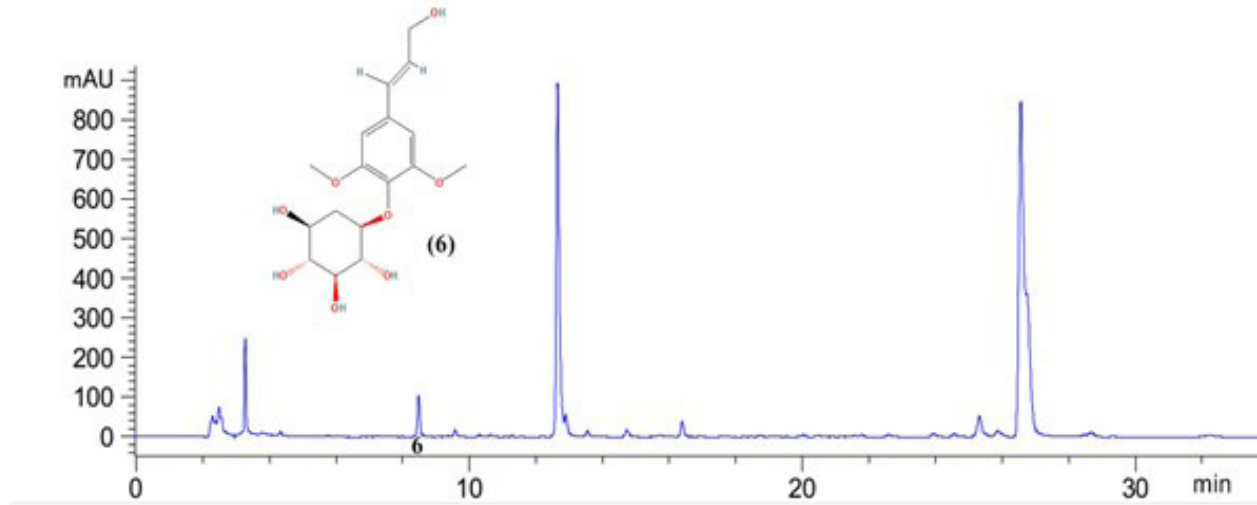
3.2. Enginardaki Biyoaktif Bileşen İçeriği

[Şekil 2](#)'de 320 nm'de, [Şekil 3](#)'te ise 280 nm'deki enginar ekstraktının UV kromatogramı gösterilmiştir. Klorojenik asit (5-O-kafeoilkinik asit) 200-5000 ppm, sinarin (1,3-di-O-kafeoilkinik asit) 0-100 ppm aralığında, luteolin 7 glikozit 0-360 ppm, luteolin 0-100 ppm ve rhoifolin (apigenin-7-O-neohedperidoside) 100 ppm hazırlanan standart maddeler kullanılarak 320 nm'de UV absorbans değerlerine göre hesaplanmıştır.



Şekil 2. Enginar ekstraktının kromatogram sonuçları; 320 nm; (1) klorojenik asit; (2) sinarin; (3) luteolin 7 glikozit; (4) luteolin; (5) rhoifolin

Sirinjin 0-340 ppm aralığında hazırlanan standart madde kullanılarak 280 nm’de UV absorbans değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Enginar ekstratının kromatogram sonuçları; 280 nm; sirinjin

[Tablo 2](#)’de her enginar kısmı için biyoaktif özelliği yüksek fenolik (klorojenik asit, sinarin, sirinjin) ve flavonoid bileşikler (luteolin 7 glikozit, luteolin, rhoifolin), gösterilerek enginarın tüm kısımları arasında istatistiksel olarak farklılıklar ortaya konulmuştur.

Tablo 2. Enginarın farklı kısımlarının biyoaktif bileşenleri

Enginar kısımları	Klorojenik asit (mg/kg)	Sinarin (mg/kg)	Luteolin 7 glikozit (mg/kg)	Luteolin (mg/kg)	Rhoifolin (mg/kg)	Sirinjin (mg/kg)
Olgun kalp	19478±177	d 176.37±17.8	b 90.14±13.1	e 63.60±6.8	c 203.03±10.7	c 141.97±12.5
Yarı olgun kalp	27336±139	c 175.45±19.8	b 110.84±5.3	de 63.55±9.7	c 212.54±8.4	c 279.68±22.5
Bebek kalp	44070±348	b 176.01±7.4	b 620.97±62	b 125.43±7.4	b 329.59±24.6	a 418.02±33.3
Dış brakte	1967±114	f 179.32±9.4	b 177.59±5.2	d 29.83±1.1	d 232.13±9.5	b 318.93±20.9
İç brakte	69213±94	a 253.87±7.5	a 433.42±24.6	c 158.41±4.2	a 316.34±4.7	a 854.63±42.9
Sap	4838±60	e --	113.45±3.2	de --	--	175.45±21.4
Yaprak	6084±88	e 174.87±11.4	b 2792.34±96.6	a 33.74±0.5	d 196.89±1.5	c 1017.18±38.7
CV	5.76	4.66	6.90	7.60	4.30	6.4

Her sütündeki farklı harf istatistiksel olarak farklı grubu ifade eder ($p \leq 0.05$)

Enginar fitokimyasal bileşikler, proteinler, mineraller, düşük miktarda lipit, diyet lifi ve yüksek oranda fenolik bileşikler içermesi nedeniyle sağlık için faydalı bir gıda olarak değerlendirilmektedir. Enginar içeriğindeki sağlıklı faydalı fenolik bileşikler, kafeoilkinik asit türevleri; 5-O-kafeoilkinik asit, 1,5-di-O-kafeoilkinik asit, 3,5-di-o-kafeoilkinik asit, mono ve di kafeoilkinik asitlerdir, önemli flavonoidler; luteolin 7-glikozit, apigenin, luteolin ve bunların konjugasyonlarından oluşmaktadır ([Rouphael vd., 2017](#)).

Sunulan çalışmada, HPLC DAD cihazı kullanılarak enginara ait önemli biyoaktif bileşikler tespit edilmiştir. Enginarın içeriğindeki en önemli majör bileşiklerden, klorojenik asit, sinarin, luteolin 7 glikozit, luteolin, rhoifolin ve sirinjinin kantitatif analizleri gerçekleştirilmiş ve enginar bitkisinin farklı kısımlarının içeriğindeki önemli biyoaktif bileşikler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Sakız yerli enginarına ait farklı olgunluktaki kalp ve organların önemli biyoaktif bileşenleri

Şekil 4’te enginarın organlarındaki klorojenik asit miktarı 69213-1967 mg/kg değerleri arasında farklılık göstermiştir. Buna göre en yüksek klorojenik asit sırayla iç brakte, bebek kalp, yarı olgun kalp ve olgun kalp kısmında görülmüştür. Enginarın sap ve yaprak kısmındaki klorojenik asit miktarında istatistiksel olarak fark görülmemiştir, en düşük dış brakte organında klorojenik asit en düşük değerde olduğu görülmüştür. Fratianni vd., (2007) tarafından yapılan çalışmada İtalya’da yetiştirilen beş farklı enginar çeşidinin fenolik kompozisyonu incelenmiştir. Çalışmada klorojenik asit miktarının çeşitler ve bu çeşitlerin organları arasında önemli farklılıklar gösterdiği görülmüştür. En yüksek klorojenik asit, çeşitler arasından Tondo di paestum, Bainco di pertosa ve violet de provence çeşitlerinin iç brakte kısmında görülürken, en düşük klorojenik asit ise dış brakte de bulunmuştur. Yüksek düzeyde tespit edilen klorojenik asit, enginarında yüksek oranda temsil edilen birkaç fenolik asit üreten biyokimyasal reaksiyonlar için bir substrat olarak merkezi rolü ile açıklanabilir (Wittemer vd., 2005).

Farklı olgunluklar ve organlardaki sinarin içeriği Şekil 4’te görülmektedir. Enginar organlarında en yüksek sinarin iç brakte de görülürken diğer organlar ve farklı olgunluklardaki enginar kalplerinde istatistiksel olarak farklılık görülmemiştir. Schütz vd. (2004) tarafından Almanya’da yetiştirilen enginar başı, enginar ezmesi ve enginar suyunun HPLC-DAD-ESI/MS kullanılarak fenolik içeriklerin tanımlanması ve kantitatif olarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Enginar başında 95.0 mg/kg, enginar ezmesinde 461.6 mg/kg, enginar suyunda 529.5 mg/kg sinarin içeriği tespit edilmiştir. Avrupa farmakopisinde de enginarın en önemli etken maddesinin klorojenik asit ve luteolin olduğu belirtilmiştir.

Şekil 4’te enginardaki en yüksek luteolin miktarının enginar yaprağında olduğu görülmüştür. Luteolin içeriği en yüksek iç brakte kısmında 158.41 mg/kg olarak belirlenmiştir. Diğer kısımlar incelendiğinde; bebek kalp için 125.43 mg/kg, yarı olgun kalp için 63.55 mg/kg olarak tespit edilmiştir. En düşük luteolin ise yaprak kısmında 33.74 mg/kg, dış brakte kısmında 29.83 mg/kg olarak hesaplanırken, sap kısmında tespit edilememiştir. Luteolin, kanser kök hücrelerini hedefleyerek, kanser hücre istilasının önlenmesi ve karaciğer kanserinin de tedavisinde etkinliği görülmüştür (Goodarzi vd., 2020). Enginar yaprak özütlerinin, hayvan modellerinde ve insanlarda hepatoprotektif ve koleretik aktiviteleri sayesinde kolesterol düşürücü etkileri olduğu bildirilmiştir. Bu terapötik özelliklerin esas olarak kafeoilkinik asitler (klorojenik, 1,3- ve 1,5-dikaffeoilkinik asitler) ve flavonoid (luteolin ve luteolin 7 glikozit) bileşiklerinden kaynakladığı belirtilmiştir (Pagano vd., 2016). Flavonoidler, luteolin ve apigenin çeşitli farmakolojik aktivitelere sahiptir ve farklı bitkilerin biyoaktif bileşenleri oldukları öne sürülmüştür (Fratianni vd., (2007). Rhoifolin enginar içeriğinde apigenin türevi flavonoiddir. En yüksek rhoifolin iç brakte kısmında 316.34 mg/kg ve kalp bebek

olarak nitelendirilen olgunlaşmamış kısmında ise 329.59 mg/kg olarak belirlenirken bu değerler arasında istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Öte yandan en düşük değerler, olgun kalpte 203.03 mg/kg, yarı olgun kalpte 212.54 mg/kg, yaprakta 196.89 mg/kg olarak ölçülürken yine bu değerler arasında istatistiksel olarak fark tespit edilmemiştir. Sirinjin içeriği en yüksek yaprak kısmında 1017.18 mg/kg olarak belirlenirken, diğer kısımlarda sırasıyla; iç braktekte 854.63 mg/kg, bebek kalpte 41.02 mg/kg, dış braktekte 318.93 mg/kg, yarı olgun kalpte 279.68 mg/kg bulunmuştur. En düşük sirinjin içeriği sap kısmında 175.45 mg/kg ve olgun kalp kısmında 141.97 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Ege bölgesinde erkenci olarak belirlenen yerli tip sakız enginarının tüm organların toplam fenolik bileşenleri, DPPH ve CUPRAC antioksidan aktivite değerleri incelenmiştir. Enginar organlarından yemeklerde kullanılan iç brakte kısmında en yüksek toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktivite görülmüştür. Farklı olgunluklarda incelenen enginar kalp kısmının, bebek enginarda yüksek fenolik içeriğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Olgunluk değeri artıkça fenolik içeriğin ve antioksidan aktivitesinin azaldığı bulunmuştur. Enginarın içeriğindeki önemli biyoaktif bileşenlerden klorojenik asit, sinarin, luteolin 7-glikozit, luteolin, rhoifolin ve sirinjin incelenmiştir. Klorojenik asit, sinarin, luteolin bileşikleri en yüksek iç braktekte ve en genç olgunlukta olan bebek kalpte belirlenmiştir. Luteolin 7-glikozit çok büyük oranda yaprak kısmında iken, sirinjin yaprak ve iç brakte kısımlarında daha fazladır.

Teşekkür

Sunulan çalışmanın gerçekleştirilmesi için belirtilen iki projeyi destekleyen kurumlara teşekkürü borç biliriz: 'Enginar Genotiplerinin Biyoaktif Bileşenlerinin Belirlenerek Artıklarından Biyoaktif Madde Ekstraksiyonu, Enkapsülasyonu ve in-vitro Biyoerişilebilirliğinin İncelenmesi' Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) Projesi, (Proje No: TAGEM/HSGYAD/A/20/A3/P4/1927) ve 'Enginar Genotiplerinin Biyoaktif Bileşenlerinin Belirlenerek Artıklarından Biyoaktif Madde Ekstraksiyonu' Yalova Üniversitesi BAP- Doktora Projesi.

Yazar Katkıları

Seda Kayahan: Deneysel çalışmalar, makale yazımı konularında görev almıştır.

Didem Saloğlu: Deneysel çalışmaların yorumlanması, tasarlanması ve yazılması konusunda katkı sağlamıştır.

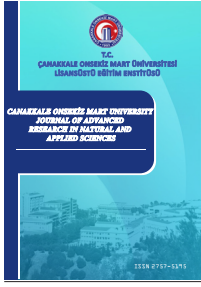
Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. ve Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins c and e, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: Cuprac method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970–7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Bektaş, Z. K. ve Saner, G. (2013). Türkiye’de enginar üretimi ve pazarlaması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 115-128. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ziraatuludag/issue/16761/174275>
- Ceccarelli, N., Curadi, M., Picciarelli, P., Martelloni, L., Sbrana, C. ve Giovannetti, M. (2010). Globe artichoke as functional food. *The Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(3), 197-201. <https://doi.org/10.1007/s12349-010-0021-z>
- Christaki, E., Bonos, E. ve Florou-Paneri, P. (2012). Nutritional and functional properties of *cynara crops* (globe artichoke and cardoon) and their potential applications: A Review. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(2), 64-70. Erişim adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1078.6015&rep=rep1&type=pdf>
- Colantuono, A., Ferracaner, R. ve Vitaglione P. (2018). Potential bioaccessibility and functionality of polyphenols and cynaropicrin from breads enriched with artichoke stem. *Food Chemistry*, 245, 838-844. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.099>

- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M. ve Abdely, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5), 372-379. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.02.008>
- Fратиани, F., Tucci, M., De Palma, M., Pepe, R. ve Nazzaro, F. (2007). Polyphenolic composition in different parts of some cultivars of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori). *Food Chemistry*, 104(3), 1282-1286. doi:10.1016/j.foodchem.2007.01.044
- Gebhardt, R. (1998). Inhibition of cholesterol biosynthesis in primary cultured rat hepatocytes by artichoke (*cynara scolymus* L.) extracts. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 286(3), 1122-1128. Erişim adresi: <https://jpet.aspetjournals.org/content/286/3/1122>
- Goodarzi, S., Tabatabaei, M. J., Mohammad Jafari, R., Shemirani, F., Tavakoli, S., Mofasseri, M. ve Tofghi, Z. (2020). Cuminum cyminum fruits as source of luteolin-7-O-glucoside, potent cytotoxic flavonoid against breast cancer cell lines. *Natural Product Research*, 34(11), 1602-1606. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1519824>
- Jiménez-Moreno, N., Volpe, F., Moler, J. A., Esparza, I. ve Ancín-Azpilicueta, C. (2019). Impact of extraction conditions on the phenolic composition and antioxidant capacity of grape stem extracts. *Antioxidants*, 8(12), 597. <https://doi.org/10.3390/antiox8120597>
- Kayahan, S. ve Saloglu, D. (2020). Optimization and kinetic modelling of microwaveassisted extraction of phenolic contents and antioxidants from Turkish artichoke. *CyTA - Journal of Food*, 18(1), 635-643. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1800103>
- Lattanzio, V., Kroon, P. A., Linsalata, V. ve Cardinali, A. (2009). Globe artichoke: a functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods*, 1(2), 131-144. DOI: 10.1016/j.jff.2009.01.002
- Lombardo S., Gaetano P., Anita I. ve Giovanni, M. (2012). Variation of polyphenols in a germplasm collection of globe artichoke. *Food Research International*, 46(2), 544-551. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.047>
- Pagano, I., Piccinelli, A. L., Celano, R., Campone, L., Gazzero, P., De Falco, E. ve Rastrelli, L. (2016). Chemical profile and cellular antioxidant activity of artichoke by-products. *Food and Function*, 7(12), 4841-4850. <https://doi.org/10.1039/C6FO01443G>
- Pandino, G., Lombardo, S. ve Mauromicale, G. (2013). Globe artichoke leaves and floral stems as a source of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 44, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.10.022>
- Petropoulos, S. A., Pereira, C., Ntatsi, G., Danalatos, N., Barros, L. ve Ferreira, I. C. (2018). Nutritional value and chemical composition of Greek artichoke genotypes. *Food Chemistry*, 267, 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.159>
- Rouphael, Y., Colla, G., Graziani, G., Ritieni, A., Cardarelli, M. ve De Pascale, S. (2017). Phenolic composition, antioxidant activity and mineral profile in two seed-propagated artichoke cultivars as affected by microbial inoculants and planting time. *Food Chemistry*, 234, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.175>
- Schütz, K., Kammerer, D., Carle, R. ve Schieber, A. (2004). Identification and quantification of caffeoylquinic acids and flavonoids from artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads, juice, and pomace by HPLC-DAD-ESI/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(13), 4090-4096. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.112879>
- Stumpf, B., Künne, M., Ma, L., Xu, M., Yan, F., Piepho, H. P. and Honermeier, B. (2020). Optimization of the extraction procedure for the determination of phenolic acids and flavonoids in the leaves of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.). *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 177, 112879. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.112879>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L. ve Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Wang, M., Simon, J. E., Aviles, I. F., He, K., Zheng, Q. Y. ve Tadmor, Y. (2003). Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 601-608. <https://doi.org/10.1021/jf020792b>
- Wittemer, S. M., Ploch, M., Windeck, T., Müller, S. C., Drewelow, B., Derendorf, H. ve Veit, M. (2005). Bioavailability and pharmacokinetics of caffeoylquinic acids and flavonoids after oral administration of artichoke leaf extracts in humans. *Phytomedicine*, 12(1-2), 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.phy-med.2003.11.002>



Türetim ile $\mathbb{Z}_2^s + u\mathbb{Z}_2^s$ Halkası Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar

Basri Çalışkan^{1*}

¹Matematik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 24.05.2021

Kabul: 08.09.2021

Yayın: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Kodlama teorisinde, lineer kodların özel bir sınıfı olan devirli kodlar ile ilgili araştırmalar büyük ilgi görmektedir. Bu ilginin en önemli nedenlerinden bazıları devirli kodların zengin cebirsel özelliklere sahip olmaları, birçok uygulama alanlarının bulunması, kodlama ve kod çözmede kolaylık sağlamaları olarak sayılabilir. Devirli kodların sabit-devirli, parçalı devirli ve yarı burmalı devirli kodlar gibi genellemeleri bulunmaktadır. Bu genellemelerin çoğunda değişmeli yapılar üzerinde çalışılmıştır. Son zamanlarda devirli kodların değişmeli olmayan halkalardaki üreteç polinomları kullanılarak bir başka genelleme (aykırı devirli kodlar) tanımlanmıştır. Aykırı polinom halkalarının cebirsel özellikleri nedeniyle aykırı devirli kodlar optimal kod bulma açısından devirli kodlara göre daha avantajlıdır. Bu çalışmada $u^2=1$ olmak üzere $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4$ halkası üzerinde tanımlı aykırı devirli kodlar için elde edilmiş bazı sonuçların $s \geq 2$ için $S = \mathbb{Z}_2^s + u\mathbb{Z}_2^s$ halkası için genellemesi yapılmıştır. θ , S üzerinde bir otomorfizm ve δ_θ , S üzerinde bir türetim olmak üzere $S[x, \theta, \delta_\theta]$ aykırı polinom halkaları kullanılarak, δ_θ -devirli kodlar tanımlanmıştır. $S[x, \theta, \delta_\theta]$ daki herhangi bir elemanın merkez eleman olabilmesi için gerek ve yeter koşul verilmiştir. δ_θ dönüşümü ile S halkasının tüm elemanlarının görüntüleri elde edilmiş ve tanımlanan Gray dönüşümü ile S halkasının elemanları için Gray ağırlığı ile S nin θ tarafından sabit bırakılan alt halkası S^θ tanımlanmıştır. Ayrıca bu kodların üreteç ve kontrol matrislerinin formu belirlenmiş ve özellikle $s=4$ için bazı örnekler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Aykırı devirli kod, aykırı polinom halkası, devirli kod, Gray dönüşümü, türetim

Skew Cyclic Codes over the Ring $\mathbb{Z}_2^s + u\mathbb{Z}_2^s$ with Derivation

¹Department of Mathematics, Faculty of Arts and Science, Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, Turkey

Article History

Received: 24.05.2021

Accepted: 08.09.2021

Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – In coding theory, researches on cyclic codes, which are special class of linear codes, have attracted great attention. Some of the most important reasons for this interest are that cyclic codes have rich algebraic properties, have many application areas, and provide convenience in coding and decoding. There are many generalizations of cyclic codes such as constacyclic codes, quasi-cyclic codes and quasi-twisted codes. In most of these generalizations, cyclic codes have been studied in commutative settings. Recently, another generalization of cyclic codes, skew cyclic codes, has been defined by using generator polynomials in non commutative polynomial rings. Since skew polynomial rings have algebraic properties, skew cyclic codes have more advantages than the cyclic codes for finding optimal codes. In this study, some results which are obtained for the skew cyclic codes defined over the ring $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4$ with $u^2=1$ are generalized for the ring $S = \mathbb{Z}_2^s + u\mathbb{Z}_2^s$, where $u^2=1$, $s \geq 2$. Using the skew polynomial rings $S[x, \theta, \delta_\theta]$ where θ is an automorphism on S and δ_θ is a derivation on S , δ_θ -cyclic codes are defined. Necessary and sufficient conditions are given for any element in $S[x, \theta, \delta_\theta]$ to be the central element. The image of all elements of the ring S are obtained with the mapping δ_θ and the Gray weight is defined for the elements of the ring S with the defined Gray map. The subring S^θ of S fixed by θ is defined. Also, generator and parity-check matrices of these codes are determined and given some examples especially for the case $s=4$.

Keywords – Cyclic code, derivation, Gray map, skew cyclic code, skew polynomial ring

¹ bcaliskan@osmaniye.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Sonlu cisimler üzerindeki devirli kodlar üzerine birçok araştırma yapılmasına rağmen, [Hammons, Kumar, Calderbank, Sloane ve Solé, \(1994\)](#) de \mathbb{Z}_4 halkası üzerinde tanımlı lineer kod ailelerinin özel bir dönüşüm altındaki görüntülerinden Kerdock, Preparata gibi iyi hata düzeltme kabiliyetine sahip, lineer olmayan ikili (binary) kodlar elde etmişlerdir. Bu çalışma ile birlikte çeşitli halkalar üzerinde kod ailelerinin tanımlanması önem kazanmıştır ([Cengellenmis, 2010](#); [Çalışkan, 2020a](#); [Çalışkan, 2020b](#); [Dertli ve Cengellenmis, 2019](#)).

[Boucher, Geiselmann ve Ulmer \(2007\)](#) de değişmeli olmayan halkalar kullanarak devirli kodların genellemesini yapmışlar, bu yeni kod ailesini aykırı devirli (skew cyclic) kodlar olarak adlandırmışlardır. Böylece devirli kodlar alanına yeni bir boyut kazandırmışlardır. Bu çalışmada \mathbb{F}_q , q elemanlı bir cisim ve θ , \mathbb{F}_q cisimi üzerinde bir otomorfizm olmak üzere $\mathbb{F}_q[x, \theta]$ aykırı (skew) polinom halkaları kullanılmıştır. halkasının en önemli özelliği çarpanlara ayrılışın tek türlü olmamasıdır. Bu özellik sayesinde devirli kodlara kıyasla daha fazla sayıda üreteç polinomu ve böylece aynı uzunluğa ve boyuta sahip daha fazla sayıda kod elde etmek mümkündür. Dolayısıyla aykırı devirli kodlar optimal kod elde etmesi açısından avantajlıdır. [Boucher ve Ulmer \(2009\)](#) da aykırı devirli kodların dualeri üzerinde durmuşlar ve bir aykırı devirli kodun dualinin de aykırı devirli kod olduğunu göstermişlerdir.

Aykırı devirli kodlar farklı halkalar üzerinde de tanımlanmıştır. Özellikle [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#) de, olmak üzere halkası üzerinde türetim ile aykırı devirli kodların bir sınıfını incelemişler ve çift tamsayı uzunluklu bir serbest aykırı devirli kodun üreteç ve kontrol matrislerini tanımlamışlardır. Ayrıca bu kod sınıfını çift (double) kodlara genellemişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan motive olunarak, bu makalede özellikle [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#) de, elde edilen bazı sonuçların için olmak üzere halkası üzerindeki aykırı devirli kodlara bir genellemesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. $S[x, \theta, \Delta_\theta]$ Aykırı Polinom Halkası

$s \geq 2$ ve $u^2 = 1$ olmak üzere $S = \mathbb{Z}_{2^s} + u\mathbb{Z}_{2^s}$ değişmeli ve karakteristiği 2^s olan bir halkadır. S halkası $\frac{\mathbb{Z}_{2^s}[u]}{(u^2-1)}$ bölüm halkasına izomorftur. S halkasının elemanları, [2.1](#)'de

$$S = \{a + ub \mid a, b \in \mathbb{Z}_{2^s}\} \quad (2.1)$$

$d = a + ub \in S$ şeklinde tek türlü yazılır.

$\theta: S \rightarrow S$, $a, b \in \mathbb{Z}_{2^s}$ olmak üzere, dönüşümü [2.2](#)'de

$$\theta(a + ub) = a + (u + 2^{s-1})b \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlansın. Açıkça görülebilir ki θ , S halkasının aşikar olmayan bir otomorfizmidir. Ayrıca, her $d = a + ub \in S$ için, [2.3](#)'ten $\theta^2(d)$ dir.

$$\begin{aligned} \theta^2(a + ub) &= \theta(\theta(a + ub)) \\ &= \theta(a + (u + 2^{s-1})b) \\ &= \theta(a + 2^{s-1}b + ub) \\ &= a + 2^{s-1}b + (u + 2^{s-1})b \\ &= a + 2^{s-1}b + 2^{s-1}b + ub \\ &= a + 2^s b + ub \\ &= a + ub \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dolayısıyla θ 'nın mertebesi 2 dir.

Tanım 2.1.1 S sonlu bir halka ve θ, S nin bir otomorfizmi olsun. Bu durumda, $\Delta_\theta: S \rightarrow S$ ye tanımlanan ve [2.4](#) ve [2.5](#)'te verilen özellikleri sağlayan dönüşümüne üzerinde bir türetim denir.

$$\Delta_\theta(x + y) = \Delta_\theta(x) + \Delta_\theta(y) \quad (2.4)$$

ve

$$\Delta_\theta(xy) = \Delta_\theta(x)y + \theta(x)\Delta_\theta(y). \quad (2.5)$$

Teorem 2.1.2 $\delta_\theta: S \rightarrow S$, dönüşümü $\delta_\theta(a + ub) = (1 + u)[\theta(a + ub) - (a + ub)]$ olarak tanımlansın. Yani, [2.6](#)'daki gibi

$$\begin{aligned} \delta_\theta(a + ub) &= (1 + u)[\theta(a + ub) - (a + ub)] \\ &= (1 + u)[a + 2^{s-1}b + ub - a - ub] \\ &= (1 + u)2^{s-1}b \\ &= 2^{s-1}b + 2^{s-1}ub \end{aligned} \quad (2.6)$$

olsun. Bu durumda, δ_θ dönüşümü S üzerinde bir türetimdir.

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#), Theorem 2.2 nin ispatının benzeridir.

[2.7](#)'de δ_θ dönüşümü altındaki S halkasının elemanlarının görüntüleri verilmiştir.

$$\delta_\theta(a + ub) = \begin{cases} 0, & b \text{ birim değilse} \\ 2^{s-1} + 2^{s-1}u, & b \text{ birim ise.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Sonuç 2.1.3 $n \leq 2 \in \mathbb{Z}^+$ olmak üzere, her $d \in S$ için $\delta_\theta^n(d) = 0$ dir.

KANIT: $n \geq 2$ bir tamsayı ve $d = a + ub \in S$ için [2.8](#)'de

$$\begin{aligned} \delta_\theta^2(a + ub) &= \delta_\theta(\delta_\theta(a + ub)) \\ &= \delta_\theta(2^{s-1}b + 2^{s-1}ub) \\ &= 2^{s-1}(2^{s-1}b) + 2^{s-1}(2^{s-1}b)u \\ &= 2^s(2^{s-2}b) + 2^s(2^{s-2}b)u \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

olduğundan ispat tamamlanır.

2.2. Gray Dönüşümü

\mathbb{Z}_4 halkası üzerinde tanımlı Gray dönüşümü,

$\phi: \mathbb{Z}_4 \rightarrow \mathbb{Z}_2^2$ olmak üzere, $\phi(0) = (00)$, $\phi(1) = (01)$, $\phi(2) = (11)$ ve $\phi(3) = (10)$ biçiminde tanımlıdır ([Hammons vd., 1994](#)).

Carlet, bu Gray dönüşümünü \mathbb{Z}_{2^s} üzerinde [2.9](#)'daki gibi genelleştirmiştir ([Carlet, 1998](#)). $\phi: \mathbb{Z}_{2^s} \rightarrow \mathbb{Z}_2^{2^{s-1}}$

$$\phi(i) = \begin{cases} 0_{2^{s-1-i}}1_i, & 0 \leq i \leq 2^{s-1} \\ 1_{2^{s-1}} + \phi(i - 2^{s-1}), & i > 2^{s-1} \end{cases} \quad (2.9)$$

Burada 0_i , bütün bileşenleri 0 olan i uzunluklu vektörü ve 1_i de bütün bileşenleri 1 olan i uzunluklu vektörü göstermektedir. Bu Gray dönüşüm bir izometridir ve \mathbb{Z}_{2^s} üzerindeki Lee uzaklığını $n = 2^{s-1}$ olmak üzere \mathbb{Z}_2^n üzerindeki Hamming uzaklıklarına dönüştürür. Örneğin $s = 4$ için \mathbb{Z}_{16} nin elemanlarının görüntüleri [2.10](#)'daki gibidir.

$$\begin{aligned} \phi: \mathbb{Z}_{2^4} &\rightarrow \mathbb{Z}_2^8 \\ \phi(0) &= (00000000), & \phi(1) &= (00000001), & \phi(2) &= (00000011), \\ & & \phi(3) &= (00000111), & & \\ \phi(4) &= (00001111), & \phi(5) &= (00011111), & \phi(6) &= (00111111), \\ & & \phi(6) &= (01111111), & & \\ \phi(8) &= (11111111), & \phi(9) &= (11111110), & \phi(10) &= (11111100), \\ & & \phi(11) &= (11111000), & & \\ \phi(12) &= (11110000), & \phi(13) &= (11100000), & \phi(14) &= (11000000), & \phi(15) &= (10000000). \end{aligned} \quad (2.10)$$

\mathbb{Z}_{2^s} üzerindeki Lee ağırlığı, $w_L: \mathbb{Z}_{2^s} \rightarrow \mathbb{Z}_{2^s}$, $w_L(x) = \min(x, 2^s - x)$ biçiminde tanımlanır ([Dougherty ve Fernández-Córdoba, 2011](#)).

Tanım 2.2.4 Bir $d \in \mathbb{Z}_{2^s}^2$ vektörü için Lee ağırlığı $w_L(d)$, d nin koordinatlarının Lee ağırlıklarının toplamı olarak tanımlanır. $\varphi: S \rightarrow \mathbb{Z}_{2^s}^2$ dönüşümü $\varphi(a + ub) = (b, a + b)$ olmak üzere, herhangi bir $v \in S$ için v nin Gray ağırlığı, $w_G(v) = w_L(\varphi(v))$ olarak tanımlanır.

3. Bulgular ve Tartışma

Tanım 3.5 S , θ otomorfizmi ve Δ_θ türetimi ile bir halka olsun. S üzerindeki tüm polinomların kümesi polinomların bilinen toplaması ve herhangi $d \in S$ [3.1](#)'de

$$xd = \theta(d)x + \Delta_\theta(d) \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanan çarpma işlemi ile aykırı polinom halkası olarak adlandırılır. Tanımlanan bu çarpma işlemi $S[x, \theta, \Delta_\theta]$ nin tüm elemanları için genişletilebilir.

Örnek 3.6 $p_1 = x + d_0$ ve $p_2 = e_0$, $S[x, \theta, \delta_\theta]$ halkasında herhangi iki polinom olsun. Bu durumda [3.2](#)'de

$$p_1 + p_2 = x + d_0 + e_0 = p_1 + p_2 \quad (3.2)$$

ve

$$\begin{aligned} p_1 p_2 &= (x + d_0)e_0 \\ &= xe_0 + d_0e_0 \\ &= \theta(e_0)x + \delta_\theta(e_0) + d_0e_0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} p_2 p_1 &= e_0(x + d_0) \\ &= e_0x + e_0d_0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

[3.3](#) ve [3.4](#)'teki çarpımlardan, x li terimlerin katsayıları sırasıyla $\theta(e_0)$ ve e_0 olup, S de her zaman $\theta(e_0) = e_0$ olmak zorunda olmadığı için x li terimlerin katsayıları birbirinden farklıdır. Benzer durum sabit terimler içinde geçerlidir. Dolayısıyla $S[x, \theta, \delta_\theta]$ değişmeli olmayan bir halkadır.

Tanım 3.7 $S^\theta = \{a' + ub' | a' \in \{0,1, \dots, 2^s - 1\}, b' \equiv 2k \pmod{2^s}, k = 0,1, \dots, 2^{s-1} - 1\}$ olmak üzere, her $e \in S^\theta$ için $\theta(e) = e$ olacak şekildeki elemanların kümesi S^θ ya S nin θ nin tarafından sabit bırakılan bir alt halkası denir. Ayrıca, her $e \in S^\theta$ için $\delta_\theta(e) = 0$ olup, $xe = ex$ dir.

Tanım 3.8 $p(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$ olsun. Her $d(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$ için $p(x)d(x) = d(x)p(x)$ oluyorsa, $p(x)$ polinomuna $S[x, \theta, \delta_\theta]$ nin bir merkez elemanı denir.

Lemma 3.9 $d \in S$ olmak üzere, herhangi bir $e \in S$ için d ve e nin her ikisi de θ tarafından sabit bırakılmadıkça $\theta(d) - d \neq \delta_\theta(e)$ dir.

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#) Lemma 2.5.'in ispatının benzeridir. $d = a + ub \in S$ ve e nin sabit bırakılan bir değerleri için $\theta(d) - d = \delta_\theta(e)$ olsun. $\delta_\theta(e)$ nin mümkün olan değerleri sadece 0 ve $2^{s-1} + 2^{s-1}u$ olduğu bilinmektedir. $\delta_\theta(e) = 0$ ise d ve e nin her ikisi de θ tarafından sabit bırakıldığı görülür ve istenen elde edilmiş olur. $\delta_\theta(e) = 2^{s-1} + 2^{s-1}u$ olduğunu kabul edelim. Bu durumda, ifadesinde $\theta(d) - d = a + (u + 2^{s-1})b - a - ub = 2^{s-1}b$ ifadesinde u bulunmaz, o zaman bir çelişki elde ederiz. Dolayısıyla ispat tamamlanmış olur.

Teorem 3.10 Bir $f(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$ polinomunun bir merkez elemanı olabilmesi için gerek ve yeter koşul $f(x) \in S^\theta[x]$ olması ve x tüm tek dereceli terimlerinin katsayılarının [3.5](#)'teki

$$\{\alpha + u\beta | \alpha, \beta \equiv 2k \pmod{2^s}, k = 0,1,2, \dots, 2^{s-1} - 1\} \tag{3.5}$$

kümesine ait olmasıdır.

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#), Theorem 2.6 da $s=2$ için yapılan ispatın benzeridir.

Lemma 3.11 Herhangi bir $d \in S$ için $\delta_\theta(\theta(d)) + \theta(\delta_\theta(d)) = 0$ dir. Ayrıca her $d \in S$ için $x^2d = dx^2$ dir.

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#) Lemma 2.7.'nin ispatının benzeridir. $d = a + ub \in S$ olsun. O zaman $\theta(a + ub) = a + (u + 2^{s-1})b$ ve $\delta_\theta(a + ub) = 2^{s-1}b + 2^{s-1}bu$ olduğundan, [3.6](#) ve [3.7](#)'den

$$\begin{aligned} \delta_\theta(\theta(d)) &= \delta_\theta(\theta(a + ub)) \\ &= \delta_\theta(a + (u + 2^{s-1})b) \\ &= \delta_\theta(a + 2^{s-1}b + ub) \\ &= 2^{s-1}b + 2^{s-1}bu \end{aligned} \tag{3.6}$$

ve

$$\begin{aligned} \theta(\delta_\theta(d)) &= \theta(\delta_\theta(a + ub)) \\ &= \theta(2^{s-1}b + 2^{s-1}bu) \\ &= 2^{s-1}b + (u + 2^{s-1})2^{s-1}b \\ &= 2^{s-1}b + 2^{s-1}2^{s-1}b + 2^{s-1}bu \\ &= 2^{s-1}b + 2^s(2^{s-2}b) + 2^{s-1}bu \\ &= 2^{s-1}b + 2^{s-1}bu \\ &= -(2^{s-1}b + 2^{s-1}bu) \\ &= -\delta_\theta(\theta(d)) \end{aligned} \tag{3.7}$$

olduğundan, $\delta_\theta(\theta(d)) + \theta(\delta_\theta(d)) = 0$ eşitliği gösterilmiş olur. Şimdi, $xd = \theta(d)x + \delta_\theta(d)$ eşitliğini soldan x ile çarpalım, [3.8](#)'den

$$\begin{aligned}
x^2d &= x\theta(d)x + x\delta_\theta(d) \\
&= [\theta^2(d)x + \delta_\theta(\theta(d))]x + \theta(\delta_\theta(d))x + \delta_\theta^2(d) \\
&= dx^2 + [\delta_\theta(\theta(d)) + \theta(\delta_\theta(d))]x + \delta_\theta^2(d) \\
&= dx^2
\end{aligned} \tag{3.8}$$

elde edilir. Bu lemmanın birinci kısmı ile her $d \in S$ için $\delta_\theta^2(d) = 0$ olduğu kullanılırsa ispat tamamlanmış olur.

Sonuç 3.12 Herhangi bir d için, [3.9](#)'dan

$$x^n d = \begin{cases} (\theta(d)x + \delta_\theta(d))x^{n-1}, & n \text{ tek ise} \\ dx^n, & n \text{ çift ise} \end{cases} \tag{3.9}$$

dır.

$S[x, \theta, \delta_\theta]$ bir Euclidean halka olmadığından, hem sağ hem de sol bölme algoritması bu halkada sağlanmaz. Aşağıdaki teorem hem sağ hem de sol bölme algoritmasının $S[x, \theta, \delta_\theta]$ bazı elemanları için uygulanabileceğini göstermektedir.

Teorem 3.13 (Sağ Bölme Algoritması) $f(x)$ ve $g(x)$ polinomları $g(x)$ in baş katsayısı birim olacak şekilde $S[x, \theta, \delta_\theta]$ halkasında herhangi iki polinom olsun. Bu durumda, [3.10](#)'dan

$$f(x) = q(x)g(x) + r(x) \tag{3.10}$$

$der(r(x)) < der(g(x))$ veya $r(x) = 0$ olacak şekilde $q(x), r(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$ vardır ([Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#)).

Yukarıdaki teoremden $f(x)$ polinomu $g(x)$ polinomu ile sağdan bölünmüştür. Aynı teorem soldan bölme için de geçerlidir. Dolayısıyla $S[x, \theta, \delta_\theta]$ halkası için bölme algoritması sağdan ve soldan sağlanır. Ayrıca, $f(x) = f_0 + f_1x + f_2x^2 + \dots + f_r x^r$ ve $g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_s x^s$, g_s birim olsun. [3.11](#)'de

$$A(x) = \begin{cases} f_r \theta(g_s^{-1}) x^{r-s}, & r - s \text{ tek ise} \\ f_r g_s^{-1} x^{r-s}, & r - s \text{ çift ise} \end{cases} \tag{3.11}$$

şeklinde tanımlanan $A(x)$ polinomu yardımıyla, $f(x)$ polinomunun sağ böleni bulunabilir. Daha detaylı bilgi için [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#) Theorem 2.8 e bakılabilir.

Örnek 3.14 $s = 4$, için $S = \mathbb{Z}_{16} + u\mathbb{Z}_{16}$ olsun. $S[x, \theta, \delta_\theta]$ de $f(x) = ux^2 + 7x + 12u$ ve $g(x) = (15 + 8u)x + 13 + 9u$ polinomlarını alalım. [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#), Theorem 2.8 de verilen sağ bölme algoritmasını kullanarak $g(x)$ nin $f(x)$ için bir sağ bölen olduğunu gösterelim. Bunun için önce $A(x) = f_2 \theta(g_1^{-1}) x^{2-1} = u\theta(15 + 8u)x = (8 + 15u)x$ bulunur. Sonra ise, [3.12](#)'de

$$\begin{aligned}
A(x)g(x) &= (8 + 15u)x[(15 + 8u)x + 13 + 9u] \\
&= (8 + 15u)[\theta(15 + 8u)x + \delta_\theta(15 + 8u)]x + (8 + 15u)[\theta(13 + 9u)x + \delta_\theta(13 + 9u)] \\
&= (8 + 15u)[(15 + 8u)x + 0]x + (8 + 15u)[(13 + 9u)x + 8 + 8u] \\
&= ux^2 + (15 + 3u)x + 8 + 8u
\end{aligned} \tag{3.12}$$

hesaplanır. Şimdi ise, [3.13](#)'ten

$$\begin{aligned} h(x) &= f(x) - A(x)g(x) \\ &= (8 + 13u)x + 8 + 4u \end{aligned} \quad (3.13)$$

elde edilir. $h(x)$ derecesi 1 olduğundan, aynı algoritma için uygulanırsa, $h(x)$ in $g(x)$ cinsinden değeri $h(x) = 3ug(x) + 13 + 13u$ bulunur. O zaman son olarak, [3.14](#)'ten

$$\begin{aligned} f(x) &= h(x) + A(x)g(x) \\ &= 3ug(x) + 13 + 13u + (8 + 15u)xg(x) \\ &= [(8 + 15u)x + 3u]g(x) + 13 + 13u \end{aligned} \quad (3.14)$$

elde edilir. Dolayısıyla, $q(x) = (8 + 15u)x + 3u$ ve $r(x) = 13 + 13u$ olmak üzere, $f(x) = q(x)g(x) + r(x)$ şeklinde yazılabildiği görülür.

3.1. S Halkası Üzerinde δ_θ -Devirli Kodlar

Bu bölümde üzerinde δ_θ -devirli kodlar olarak isimlendirilen kodlar tanımlanarak, üreteç ve kontrol matrislerinin formları belirlenmiştir.

Bilindiği üzere S^n nin boş olmayan bir alt kümesine S üzerinde bir kod denir. C , S üzerinde bir kod olmak üzere eğer C , S^n nin bir S -alt modülü oluyorsa C ye S üzerinde bir lineer kod denir.

$p(x)$, S üzerinde derecesi n herhangi bir polinom olmak üzere $S_n = \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle p(x) \rangle}$ olsun.

Bir $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in C$ kodu polinom gösterimi olarak $c = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$ şeklindedir.

Ayrıca, $S_n = \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle p(x) \rangle}$, $r(x)(q(x) + \langle p(x) \rangle) = r(x)q(x) + \langle p(x) \rangle$ çarpma işlemi ile bir sol $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -modüldür.

Tanım 3.1.1 $p(x)$, S üzerinde derecesi n herhangi bir polinom olmak üzere $S_n = \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle p(x) \rangle}$ nin bir sol

$S[x, \theta, \delta_\theta]$ -modülü C ye S üzerinde n uzunluklu bir δ_θ -lineer kod denir. Eğer $p(x)$ merkez polinomu ise C ye bir merkez δ_θ -lineer kod denir. Ayrıca, T_{δ_θ} , δ_θ -öteleme operatörü (cyclic shift) olmak üzere, her $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in C$ için $T_{\delta_\theta}(c) = (\theta(c_{n-1}) + \delta_\theta(c_0), \theta(c_0) + \delta_\theta(c_1), \dots, \theta(c_{n-2}) + \delta_\theta(c_{n-1})) \in C$ için oluyorsa, C ye S üzerinde δ_θ -devirli kod denir.

Teorem 3.1.2 S üzerinde n uzunluklu bir C kodunun δ_θ -devirli kod olabilmesi için gerek ve yeter koşul

C nin $S_{n, \delta_\theta} = \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^n - 1 \rangle}$ nin bir $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -modülü olmasıdır.

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#), Theorem 3.4 ün ispatının benzeridir.

Sonuç 3.1.3 Eğer C , n çift tamsayı uzunluklu bir δ_θ -devirli kod ise, C , S_{n, δ_θ} nin bir idealidir.

Teorem 3.1.4 C , S üzerinde n uzunluklu bir δ_θ -devirli kod ve C de baş katsayısı birim olan minimum dereceli bir $g(x)$ polinomu bulunsun. Bu durumda $C = \langle g(x) \rangle$ dir. Ayrıca $g(x)|(x^n - 1)$ ve $\{g(x), xg(x), \dots, x^{n-\text{der}(g(x))-1}g(x)\}$ kümesi C nin bir bazıdır.

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#), Theorem 3.6 nın ispatının benzeridir.

$C = \langle g(x) \rangle$, $x^n - 1$ in bir sağ bölüneni $g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_kx^k$ tarafından üretilen ve uzunluğu n olan S üzerinde bir δ_θ -devirli kod ise, C nin $(n - k) \times n$ tipindeki üreteç matrisi [3.15](#)'teki gibi

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ x^2g(x) \\ \vdots \\ x^{n-k-1}g(x) \end{bmatrix}_{(n-k) \times n} \quad (3.15)$$

formundadır. Daha açık bir şekilde eğer $n - k$ çift ise [3.16](#)'da verilen

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k & 0 & \dots & 0 \\ \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \theta(g_1) + \delta_\theta(g_2) & \dots & \theta(g_{k-1}) + \delta_\theta(g_k) & \theta(g_k) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \dots & g_{k-3} & g_{k-2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \dots & \theta(g_{k-1}) + \delta_\theta(g_k) & \theta(g_k) \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

ve $n - k$ tek ise [3.17](#)'de verilen

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k & 0 & \dots & 0 \\ \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \theta(g_1) + \delta_\theta(g_2) & \dots & \theta(g_{k-1}) + \delta_\theta(g_k) & \theta(g_k) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \dots & g_{k-3} & g_{k-2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & g_0 \dots & g_{k-1} & g_{k-2} & \theta(g_k) \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

şeklindedir.

Örnek 3.1.5 $s = 4$ için $S = \mathbb{Z}_{16} + u\mathbb{Z}_{16}$ olsun. $C, x^4 - 1$ ün sağ böleni $g(x) = (1 + 8u)x^2 + 9u$ polinomu tarafından üretilen 4 uzunluklu bir δ_θ -devirli kod olsun. Bu durumda $\{g(x), xg(x)\} = \{(1 + 8u)x^2 + 9u, (1 + 8u)x^3 + (8 + 9u)x + 8 + 8u\}$ kümesi C kodu için bir bazdır. C nin kardinalitesi $|C| = 256^2$ olup, C nin üreteç matrisi [3.18](#)'deki gibidir,

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & 0 \\ \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \theta(g_1) + \delta_\theta(g_2) & \theta(g_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9u & 0 & 1 + 8u & 0 \\ 8 + 8u & 8 + 9u & 0 & 1 + 8u \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Tanım 3.1.6 C, S üzerinde n uzunluklu bir δ_θ -devirli kod olsun. $w = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1}), v = (v_0, v, \dots, v_{n-1}) \in S^n$ ve $w \cdot v$ bilinen iç çarpım olmak üzere C nin duali, [3.19](#)'daki gibi

$$C^\perp = \{w \mid \text{her } v \in C \text{ için } w \cdot v = 0\} \quad (3.19)$$

olarak tanımlanır.

Teorem 3.1.7 k bir tek tamsayı ve en az bir $h(x) = h_0 + h_1x + h_2x^2 + \dots + h_kx^k \in S[x, \theta, \delta_\theta]$ için $x^n - 1 = h(x)g(x)$ olsun. Eğer $C = \langle g(x) \rangle$ uzunluğu çift tamsayı n olan S üzerinde bir δ_θ -devirli kod ise C nin kontrol matrisi [3.20](#)'de verilen

$$H = \begin{bmatrix} h_k & \theta(h_{k-1}) + \delta_\theta(h_k) & h_{k-2} & \dots & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \theta(h_k) & h_{k-1} & \dots & h_0 & \delta_\theta(h_0) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & h_k & h_{k-2} & \theta(h_{k-3}) + \delta_\theta(h_{k-2}) & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & h_k & \theta(h_{k-1}) + \delta_\theta(h_k) & \dots & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

formundadır. k bir çift tamsayı olduğunda H matrisi [3.21](#)'deki gibi verilir

$$\begin{bmatrix} h_k & \theta(h_{k-1}) + \delta_\theta(h_k) & h_{k-2} & \cdots & h_0 & \delta_\theta(h_0) & \cdots & 0 \\ 0 & \theta(h_k) & h_{k-1} & \cdots & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & h_k & \cdots & h_2 & \theta(h_1) + \delta_\theta(h_2) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \theta(h_k) & h_{k-1} & \cdots & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) \end{bmatrix}. \quad (3.21)$$

KANIT: [Sharma ve Bhaintwal \(2018\)](#), Theorem 4.5 in ispatının benzeridir.

Örnek 3.1.8 $x^6 - 1 = (ux^3 + 8ux^2 + u)((8 + u)x^3 + 8x^2 + 15u)$ olmak üzere, C , $g(x) = (8 + u)x^3 + 8x^2 + 15u$ polinomu tarafından üretilen 6 uzunluklu bir δ_θ -devirli kod olsun. $h(x) = ux^3 + 8ux^2 + u$ olmak üzere Teorem 3.1.7 den C nin kontrol matrisi [3.22](#)'deki gibi

$$\begin{aligned} H &= \begin{bmatrix} h_3 & \theta(h_2) + \delta_\theta(h_3) & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) & 0 & 0 \\ 0 & \theta(h_3) & h_2 & \theta(h_1) & h_0 & \delta_\theta(h_0) \\ 0 & 0 & h_3 & \theta(h_2) + \delta_\theta(h_3) & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} u & 8 & 0 & 8 + u & 0 & 0 \\ 0 & 8 + u & 8u & 0 & u & 8 + 8u \\ 0 & 0 & u & 8 & 0 & 8 + u \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.22)$$

olarak elde edilir. Ayrıca $GH^T = 0$ ve H nin satırları lineer bağımsız olduğundan, H , C nin kontrol matrisidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, $u^2 = 1$ olmak üzere $s \geq 2$ için $S = \mathbb{Z}_{2^s} + u\mathbb{Z}_{2^s}$ halkası üzerindeki aykırı devirli kodlar tanıtılmıştır. θ, S üzerinde bir otomorfizm ve δ_θ bir türetim olmak üzere $S[x, \theta, \delta_\theta]$ aykırı polinomlar halkası kullanılarak δ_θ -devirli kodların bazı cebirsel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla, kodlama teorisinde önemli bir araştırma problemi olan optimal kod bulmak ile ilgili yeni araştırmalar yapılabilir.

Yazar Katkıları

Basri Çalışkan: Araştırma yaparak problemi belirlemiş, temel sonuçları kanıtlamış ve makaleyi yazmıştır.

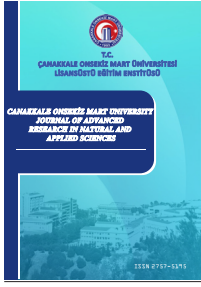
Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Boucher, D., Geiselmann, W. ve Ulmer, F. (2007). Skew Cyclic Codes. *Applicable Algebra in Engineering Communication Computing*, 18(4), 379–389. <https://doi.org/10.1007/s00200-007-0043-z>
- Boucher, D. ve Ulmer, F. (2009). Coding with Skew Polynomial Rings. *Journal of Symbolic Computation*, 44, 1644–1656. <https://doi.org/10.1016/j.jsc.2007.11.008>
- Carlet, C. (1998). \mathbb{Z}_{2^k} linear codes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 44, 1543–1547. <https://doi.org/10.1109/18.681328>
- Cengellenmis, Y. (2010). On the Cyclic Codes over $\mathbb{F}_3 + v\mathbb{F}_3$. *International Journal of Algebra*, 4(6), 253–259. Erişim adresi: <http://www.m-hikari.com/ija/ija-2010/ija-5-8-2010/cengellenmisIJA5-8-2010-1.pdf>
- Çalışkan, B. (2020a). Cyclic Codes over the Ring $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$. *ICMASE 2020, Proceedings Book, Ankara Hacı Bayram Veli University*, (pp. 7–12). Ankara, Turkey. <https://doi.org/10.14201/0AQ0302>
- Çalışkan, B. (2020b). Linear Codes over the Ring $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$. *ICOMAA-2020, CPOST*, 3(1), 19–23. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/cpost/issue/57935/763109>

- Dertli, A. ve Cengellenmis, Y. (2019). On the Codes Over the Ring $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4 + v\mathbb{Z}_4$ Cyclic, Constacyclic, Quasi-Cyclic Codes, Their Skew Codes, Cyclic DNA and Skew Cyclic DNA Codes. *Prespacetime Journal*, 10(2), 196-213. Erişim adresi: <https://prespacetime.com/index.php/pst/article/view/1543/1468>
- Dougherty, S.T. ve Fernández-Córdoba, C. (2011). Codes over \mathbb{Z}_{2^k} , gray map and self-dual codes. *Advances in Mathematics of Communications*, 5, 571–588. <https://doi.org/10.3934/amc.2011.5.571>
- Hammons, A.R., Kumar, P.V., Calderbank, A.R., Sloane, N.J.A. ve Solé, P. (1994). The \mathbb{Z}_4 -linearity of Kerdock, Preparata, Goethals, and Related Codes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 40, 301–319. <https://doi.org/10.1109/18.312154>
- Sharma, A. ve Bhaintwal, M. (2018). A class of skew-cyclic codes over $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4$ with derivation. *Advances in Mathematics of Communications*, 12(4), 723–739. <https://doi.org/10.3934/amc.2018043>



Uzaktan Eğitim ile Örgün Eğitimin Karbon Ayak İzine Etkilerinin Karşılaştırılması

Gül Nihal Güğül¹*, Nihal Kılınç²

¹ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye
² Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 29.05.2021
Kabul: 03.09.2021
Yayın: 10.03.2022

Araştırma Makalesi

Öz – Günümüzde dünyanın karşı karşıya kaldığı en büyük tehdit sera gazı emisyonunun artması ile tetiklenen küresel ısınmadır. Sera gazının artması özellikle fosil yakıtlarının kullanılması ve artan enerji talebi ile oluşmuştur. Son yıllarda enerji talebi en hızlı şekilde artan sektörlerden biri de bilişim sektörüdür. 2019 yılında başlayan pandemi döneminde bilişim sektörünün enerji talebi eğitimlerin, toplantıların ve çalışmaların uzaktan yapılması ile daha da artmıştır. Bu çalışmada, üniversitelerde uygulanan uzaktan eğitim ile örgün eğitimin, karbon ayak izi açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Konya Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi'nde verilmekte olan Yeşil Bilişim isimli yüksek lisans dersinin öğrencilerinden elde edilen veriler doğrultusunda örgün ve uzaktan eğitim için karbon ayak izi değerlendirmesi yapılmıştır. Emisyon hesaplamalarında, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen ve en temel yöntem olan Tier-1 yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda yüksek lisans öğrencilerinin karbon ayak izi örgün eğitim ile 132,48 kg-CO₂/dönem, uzaktan eğitim ile ise 50,72 kg-CO₂/dönem olarak bulunmuştur. Uzaktan eğitim ile nihai CO₂ emisyonunun %62 azaldığı görülmüştür. Örgün eğitimde ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonu 116,76 kg-CO₂/dönem ile en yüksek emisyon değerine sahip olan etken olmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde uzaktan eğitim için emisyon değerinin, örgün eğitim için emisyon değerine oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, uzaktan eğitimin eğitim kaynaklı karbon ayak izi değerinin düşmesine önemli katkı sağladığı ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler – Covid-19, karbon ayak izi, sera gazı, uzaktan eğitim

Comparison of Distance Education and Formal Education's Effects on Carbon Footprint

¹Department of Computer Engineering, Faculty of Technology, Selçuk University, Konya, Turkey

Article History

Received: 29.05.2021
Accepted: 03.09.2021
Published: 10.03.2022

Research Article

Abstract – The leading threat facing the world today is global warming triggered by the increase in greenhouse gas emissions. The increase in greenhouse gas was caused by use of fossil fuels and increasing energy demand. One of the sectors with the fastest increase in energy demand in recent years is the IT sector. During the pandemic period started in 2019, the energy demand of the information sector has increased even more with the remote educations, meetings and studies. In this study, it is aimed to compare remote education and formal education in universities in terms of carbon footprint. In this context, carbon footprint evaluation was made for formal and remote education in line with the data obtained from the students of the graduate course named Green Informatics, which is given at Konya Selcuk University, Faculty of Technology. In emission calculations, the method recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was used. Carbon footprint of graduate students are calculated as, 132.48 kg-CO₂/semester with formal education and 50,72 kg-CO₂/semester with remote education. Final CO₂ emissions has observed to decrease by 62% with remote education. In formal education, CO₂ emission originating from transportation has been the factor with the highest emission value with 116.76 kg-CO₂/term. The evaluation of results showed that the emission value of remote education is lower than the emission value of formal education. In addition, remote education has been found to contribute significantly to the decrease in the carbon footprint value originating from education.

Keywords – Covid-19, emission, carbon footprint, greenhouse gas, remote education

¹ gul.gugul@selcuk.edu.tr

² nihal.kilinc@lisansustu.selcuk.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

2019 yılı sonunda başlayarak hızlı bir şekilde tüm dünyayı etkileyen Covid-19 pandemisi Mart 2020'den itibaren de Ülkemizi etkisi altına almaya başlamıştır. Covid-19 pandemisi birçok alanda olduğu gibi eğitim alanında da önemli etkiler göstermiştir. Türkiye'de bulunan lisans öncesi eğitim kurumları ve üniversitelerin birçoğu süreç dâhilinde eğitim faaliyetlerini uzaktan yürütmeye başlamış ve bu kapsamda teknolojik anlamda kendilerini geliştirmişlerdir.

Uzaktan öğretim; örgün öğretim imkânlarıyla yapılamayan, öğrenci ve eğitimcilerin farklı mekânlarda, çeşitli teknolojik araçlar vasıtasıyla bilgiye ulaştığı, düşük maliyetli, öğrenmede sürekliliği sağlayan pratik bir eğitim şeklidir. Uzaktan eğitim, sistemin ihtiyacı olan teknik altyapı yetersizliği, sistem hakkında eğitime yönelik rehberliğin sağlanmaması veya yetersiz olması, kullanıcıların sistemi öğrenme adına eğitime yeterince önem vermemesi gibi nedenlerle olumsuz etkiler yaratabilmektedir ([Şen ve Kızılcıahoğlu, 2020](#)).

Covid-19 pandemisi nedeniyle okul öncesi, ilk-orta öğretim, lise ve yükseköğretim kurumlarında örgün öğretimin yerine yaygın şekilde uzaktan öğretimin alması, uzaktan eğitimin avantaj ve dezavantajları konusuna ilgiyi arttırmıştır. Aynı zamanda uzaktan eğitimin doğa üzerinde oluşturduğu etkiyi ve küresel ısınmadaki payı ifade eden karbon ayak izi konusu da araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Uzaktan eğitim araç kullanımını yüksek oranda azaltarak, sera gazı emisyonunu da azaltmıştır. Yapılan çalışmalarda fosil yakıt kullanımının artması sonucu sera gazı emisyonlarında ivmeli bir artış olduğu, özellikle karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyon miktarının sürekli artış gösterdiği görülmüştür ([Pekin, 2006](#)). Türkiye'de ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonunun sektördeki payı % 22, ulusal emisyondaki payı ise %15'tir. Karayolu ulaşımı Türkiye'de ulaşım sektörünün merkezi konumundadır. Küresel ısınmanın önemli sebeplerinden birisi ise şehir içi ulaşımdır ([Algedik, Bayar, ve Biçer, 2016](#)). Bu sebeple karayolu kullanımının azaltılmasını sağlayacak bütün etkenlerin sera gazı emisyonunun azaltılması konusunda önemli etkiye sahip olacağı düşünülmektedir.

Uzaktan eğitim ile örgün eğitimin kıyaslandığı birçok çalışma bulunmaktadır. Türkiye'de uzaktan eğitimi ilk başlatan üniversitelerden olan Anadolu Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, örgün ve uzaktan eğitimin karşılaştırılması için Anadolu Üniversitesi Uzaktan Eğitim Sisteminin maliyet etkinlik analizi yapılmış ve uzaktan eğitim sisteminin toplam sabit maliyetlerinin örgün sisteme göre yüksek olduğu, toplam değişken maliyetleri ise daha düşük olduğu belirtilmiştir. Yapılan maliyet etkinlik analizinin sonucunda ise, *uzaktan eğitimin örgün eğitime göre göreceli olarak düşük maliyetli olduğu* ispatlanmıştır ([Tezcan, 2000](#)). Ülkemizde pandemi öncesinde uzaktan eğitim vermekte olan bir diğer üniversite olan Kırıkkale Üniversitesi ve Hitit Üniversitesi Önlisans programları uzaktan eğitim ve örgün eğitim öğrencileri arasında çok yönlü karşılaştırma yapılmıştır. Belirli kategorilere ayrılmış anket soruları ve sonrasında öntest-sontest soruları öğrencilere web tabanlı olarak uygulanmıştır. Katılımcı gruplar arası akademik başarı puanları incelendiğinde *uzaktan eğitim öğrencilerinin örgün eğitim öğrencilerine nispeten daha yüksek akademik başarı puanlarına sahip oldukları* görülmektedir. Uzaktan eğitim öğrencilerinin zamanında çeşitli nedenlerden dolayı eğitim fırsatı bulamamış, istekli ve yaşça büyük, belirli olgunluğa erişmiş bireylerden oluşmasının başarıyı etkileyen faktörler olduğu düşünülmektedir ([Kör, 2013](#)).

Covid-19 Pandemi döneminde Türkiye'deki üniversitelerde uygulanmakta olan uzaktan öğretim süreci hakkında görüşlerin incelendiği bir çalışmada ise öğrencilerin, uzaktan eğitim ile yapılan dersleri sıkıcı olarak nitelendirmeleri, sosyalleşmeyi engellemesi, akademisyenlerle iletişimin sıkıntılı olması gibi sebeplerden dolayı hoşnut olmadıkları sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca eğitim adına pandemi döneminin öğrenciler, veliler ve eğitimciler için endişeli bir süreç olduğu belirtilmiştir ([Şen ve Kızılcıahoğlu, 2020](#)). Uzaktan eğitim ile örgün eğitimin *internet programcılığı* dersi için eğitim kalitesi açısından karşılaştırıldığı bir çalışmada öğrencilere çeşitli testler uygulanmıştır. Çalışma sonunda uzaktan eğitimin başarıyı artırmada ve kalıcılığı sağlamada örgün eğitime göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir ([Balaman, 2018](#)). Uzaktan eğitim ile örgün eğitimin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise bu *iki eğitim sisteminin içeriğini tanımlamak, amacını belirlemek, eğitimlerden faydalanacak insanları tespit etmek, eğitimlerin verileceği ortamı ve eğitimlerin yapılma yöntemini belirlemek* gibi konulara açıklık getirmek için bir araştırma yapılmıştır ([Topa Çiftçi, 2021](#)). Yüksek lisans öğrencilerinin uzaktan eğitim kapsamında topluluk hissini incelendiği bir çalışmada ise, Ahmet Yesevi Üniversitesi Uzaktan Eğitim Programı ile eğitim almakta olan 453 öğrenciden veriler toplanmıştır. Verilerin analizinde ise betimsel istatistikler, t-testi ve ANOVA kullanılmıştır. Araştırma için toplanmış olan verilerle öğrencilerin topluluk hissi düzeyinin cinsiyet ve yaşa göre farklılık

göstermediği ancak bunun yanı sıra medeni durum, meslek düzeyleri ve eğitim görülen programa göre ise farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Enfiyeci ve Büyükalın Filiz, 2019).

Karbon ayak izi, insanoğlunun her türlü tüketim faaliyetlerinin doğrudan veya dolaylı olarak biriktirdiği karbondioksit emisyonunun toplamını ifade eden bir kavramdır (Yaka, Koçer, ve Güngör, 2015). Sanayi döneminin başlaması iklim koşullarında değişimler yaşanmasına neden olmuş ve insan aktivitelerinin de bu değişimde etkisinin olduğu bir devre başlamıştır. Küresel ısınmaya doğrudan etki eden CO₂ gazının önemini vurgulamak adına araştırmacılar, çeşitli alanlarda karbon ayak izi hesaplama çalışmalarına yönelmişlerdir (Kumaş, Akyüz, ve Zaman, 2019).

Uzaktan ve örgün eğitimin birçok alanda karşılaştırılmasına karşılık, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından karşılaştırıldığı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. CO₂'in Konya/Selçuklu ilçesi için değerlendirilmesinin yapıldığı bir çalışmada Selçuklu ilçesi için karbondioksit emisyonu açısından öne çıkan hususların başında karayolu ulaşımının olduğu ortaya koyulmuş olsa da (Argun, Ergüç, ve Sarı, 2019), günümüzde dünyada enerji tüketimi artışında en büyük ivmeye sahip bilişim teknolojileri sektörü açısından tüketilen enerjiyi de dikkate alarak uzaktan ve örgün eğitimi kıyaslayan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu amaçla bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nde pandemi döneminde uzaktan olarak verilmekte olan "Yeşil Bilişim" dersine ait yüksek lisans sınıfında yer alan öğrencilerin uzaktan ve örgün eğitim sırasındaki enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları karşılaştırılmıştır.

1.1. Uzaktan ve Örgün Eğitim Kavramları

Günümüzde bilişim teknolojileri (BT) sektöründeki büyüme ile bilgisayar ve internet en temel yeri tutmaktadır. Bilişim teknolojisinin ilerlemesi ile BT altyapısı eğitim aracı olarak kullanılarak örgün eğitim fırsatı bulamayan insanlar için uzaktan eğitim yöntemi imkânı doğmuştur (Kör, Çataloğlu, ve Erbay, 2013).

Örgün eğitim, bir eğitimcinin sınıf ortamında yüz yüze, soru-cevap, anlatım, tartışma gibi öğretim yöntemlerinin kullanıldığı, ders akışı, ölçme-değerlendirme yöntemlerine eğitimcinin karar verdiği sistemdir. Öğretmenlerin öğrencilerle yüz yüze eğitim imkânı sunması, öğrencilerin sınıf içi eğitim almalarının neticesinde daha iyi motive olmalarını ve sosyalleşmelerini sağlaması, öğrencilerin anlamadıkları konularda öğretmen ile direkt iletişime geçip, yüz yüze telafi imkânı sağlaması, uygulamalı derslerin öğretmen ile birlikte derse uygun laboratuvar ortamında yapılması neticesinde anlaşılabilirliğin artması örgün eğitimin avantajlarından. Fakat örgün eğitimin belirli sayıda öğrenciye eğitim verilebilmesi, ulaşım sıkıntısı yaşanabilmesi, derse katılım zorunluluğunun olması, derslerin telafisinin olmaması, maliyetinin yüksek olması (ulaşım, barınma vs.), çalışan insanlara hitap etmemesi, ders materyallerinin öğrenciye ulaşabilmesi için kâğıt tüketiminin artması gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır.

Uzaktan eğitim, öğrenci ve eğitimcinin bir arada bulunmasının zorunlu olmadığı ve bilgisayar ortamında gerçekleşen, iki yönlü iletişimin sağlandığı eğitim şeklidir. Birçok öğrencinin tercihi olan uzaktan eğitimde her kademedeki eğitim alınabilmektedir (Tezcan, 2000). Uzaktan eğitimin, örgün olarak eğitim imkânı olmayan bireylerin eğitim imkânı bulması, öğretmen ve öğrencinin farklı ortamlarda bulunarak eğitim alması, öğrencilere farklı ülkelerden eğitim alma imkânı sunması, zaman ve mekân sınırlaması olmaması, eğitim verilen platformun kapsamına göre çok sayıda öğrenciye aynı anda eğitim verilebilmesi, özel olarak hazırlanmış ünitelerden ve materyallerden oluşması, derslerin kaydedilmesi sebebi ile tekrar dinlenebilme imkânı olması, hızlı bir iletişim sunması, eğitim masraflarının önemli ölçüde azaltılması, eğitim alırken çalışma imkânı sunması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Dezavantajları arasında ise, sosyalleşmenin en alt düzeyde kalması, bir kısım insanların maddi sebeplerden dolayı uzaktan eğitim araçlarına sahip olamaması, uzaktan eğitim için gerekli teknolojik araçların belirli bir seviyede kullanım bilgisi gerektirmesi, internet bağlantı kalitesinin önemli olması gibi sebepler yer almaktadır (Kör vd., 2013).

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, örgün ve uzaktan eğitimin karbon ayak izine olan etkilerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bununla ilgili Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Yüksek Lisans öğrencilerinden bir sınıfa ait veriler toplanmış, örgün eğitim ve uzaktan eğitimin karbon ayak izine olan etkilerinin değerlendirilmesi için elektrik ve yakıt tüketimi açısından emisyon değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

2.1. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Karbon ayak izi birim karbondioksit cinsinden ölçülen, insan faaliyetlerinin üretilen sera gazı emisyon değeri ile doğaya vermiş olduğu zararın ölçüsüdür. Karbon ayak izini hesaplama işlemi dört adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda karbon ayak izinin hesaplanması sonucu ulaşılmak istenen hedefler tespit edilir. İkinci adımda bu hedefler açısından sınırlar belirlenir. Üçüncü adımda veriler toplanıp, emisyon faktörleri ile gerekli hesaplamalar yapılır ve en son hesaplama sonuçları değerlendirilip, rapor haline getirilmektedir ([Bıyık ve Civelekoğlu, 2020](#)). Bu çalışma kapsamında örgün ve uzaktan eğitimin karbon ayak izi açısından değerlendirilmesi için elektrik ve ulaşımdan kaynaklı yakıt tüketimi açısından emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada emisyon hesaplamaları için Denklem [2.1](#) kullanılmıştır.

$$\sum E_a = ET_a \times EF_a \quad (2.1)$$

Bu denklemde, “E_a” Emisyon miktarını (kg), “ET” tüketilen enerji veya yakıt miktarını (kWh, m³, kg), “EF” emisyon faktörünü, “a” yakıt tipini (elektrik, benzin, dizel, lpg) ifade etmektedir. Hesaplama yöntemi aşamaları ise aşağıdaki gibidir:

Adım 1 : Tüketilen yakıt miktarı yakıtın tipine göre enerji cinsinden hesaplanır.

Adım 2 : 1. Adımdaki sonuç ile yakıt tipine ait emisyon faktörü çarpılarak emisyon miktarı hesaplanır.

Adım 3 : Yakıt türleri için hesaplanan emisyon değerleri toplanıp, toplam emisyon değeri bulunur.

Adım 4 : Sonuçlar değerlendirilerek, rapor haline getirilir.

Emisyon faktörleri [Tablo 1](#)'de, yakıt emisyonlarının net kalori değerleri ise [Tablo 2](#)'de gösterilmiştir.

Tablo 1

Karbon emisyon faktörleri (CEF)

Yakıt cinsi	Emisyon faktörü	Kullanım yeri	Kaynak
Türkiye için Elektrik emisyon faktörü	0,47993 kg-CO ₂ /kWh	Elektrikli cihazlardan kaynaklanan emisyonu hesaplamak	(Yaka vd., 2015)
ABD için Elektrik emisyon faktörü	0,50817 kg-CO ₂ /kWh	Dersin çekildiği ve tutulduğu Google a ait sunucunun emisyonunu hesaplamak	
Dizel	20.2 (t C/TJ)	Öğrenciler tarafından örgün eğitim için ulaşım amaçlı kullanılan araçların yakıt emisyonunu hesaplamak	(Pekin, 2006)
Benzin	18.9 (t C/TJ)		
LPG	17.2 (t C/TJ)		

Tablo 2

Net kalori değerleri (TJ/kt)

Yakıt	Kalori Değerleri (TJ/kt)	Emisyon faktörü (t C/TJ)	CO ₂ /kg (yakıt)
Dizel Yakıt (Motorin)	43,33	20,2	0,875266
LPG	47,31	17,2	0,813732

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği'nde yer alan bir yüksek lisans sınıfı örneği üzerinden uzaktan ve örgün eğitimin enerji tüketimleri kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamada sınıf üyelerinden toplanan veriler [Tablo 3](#)'te, örgün eğitimde sınıftaki enerji tüketimi ile ilgili veriler ise [Tablo 4](#)'te gösterilmiştir.

Tablo 3

Örgün ve uzaktan eğitimde öğrenciler tarafından tüketilen enerjinin kıyaslanması

Örgün eğitimde tüketilen enerji						Uzaktan eğitimde tüketilen enerji			
Öğrenci Sıra No.	Öğrencinin okula gi-diş-dönüş mesafesi (km)	Öğrencinin ulaşım aracı (Otomobil, tramvay, otobüs, vb.)	Öğrencinin ulaşım aracının yakıt türü (Benzin, Dizel, LPG)	Ulaşım aracının yakıt tüketimi (100 km/lt)	Emisyon miktarı (kg-CO ₂) Bilgisayarın güç tüketimi (W)	Online toplantı sırasında öğrenci tarafından kullanılan cihazlar		Emisyon miktarı (kg-CO ₂)	
						Aydınlatmanın güç tüketimi (W)	Modemin güç tüketimi (W)		
1	14	Otomobil	LPG	5	0,57	60	80	30	0,08
2	32	Tramvay				65	45	12	0,06
3	46	Otomobil	Dizel	6	2,41	161	60	8	0,11
4	200	Otobüs				110	50	10	0,08
5	14	Tramvay				90	60	20	0,08
6	36	Otomobil	Dizel	5	1,57	200	60	12	0,13
7	50	Otomobil	Dizel	4,5	1,96	144	60	8	0,10
8	42	Otomobil	Dizel	5	1,83	90	50	12	0,07
9	32	Tramvay				65	45	12	0,06
10	38	Tramvay + Otobüs				65	60	15	0,07
Toplam					8,34	0,84			
Haftalık toplam (3 saat)					25,02	2,52			
Dönemlik toplam (14 hafta)					116,76	35,28			

Not : Otobüs ve tramvay ile ulaşım sağlayan öğrencilerin, okula gitmedikleri takdirde de söz konusu ulaşım araçlarının seferlerini yapmaları gerektiğinden karbon ayak izi emisyon değeri hesaplamasında değerlendirilmeye dahil edilmemiştir.

Tablo 4

Örgün eğitimde sınıfta tüketilen haftalık enerji

Sınıfta kullanılan elektronik cihazlar	Kullanım Süresi (saat)	Güç tüketimi (kW)	Haftalık elektrik tüketimi, (kWh/hafta)	Haftalık emisyon kg-CO ₂ /hafta
Bilgisayar	3	0,10	0,30	0,14
Aydınlatma	3	0,22	0,66	0,32
Tepegöz	3	0,43	1,29	0,62
Modem	3	0,03	0,09	0,04
Toplam			2,34	1,12
14 hafta için toplam değerler			32,76	15,72

Online dersler Google meeting ile çekilip Google drive'a kaydedilmektedir. Kaydedilen derslerin ortalama büyüklüğü 100 MB'dır. Kaydedilen ders için veri depolama cihazı tarafından tüketilen elektriği tahmin etmek için farklı veri depolama cihazlarının 100 MB için tükettiği elektrik araştırılmıştır ve sonuçlar [Tablo 5](#)'te verilmiştir ([Dell Technologies, 2020](#)).

Tablo 5

Farklı veri depolama cihazlarının güç talebi

Veri depolama cihazı	ECS EX300	ECS EX500	ECS EX3000	ECS EXP900
Raf başına çoklu depolama yapılandırılmaları (16*2U düğüm), TB	3072	6144	11520	2949
2U düğüm başına güç, kW	0,29	0,72	1,35	1,086
(16*2U) düğüm başına güç, W	4640	11520	21600	17376
100 MB/W başına güç	0,000151042	0,0001875	0,0001875	0,00058922

[Tablo 5](#)'te 100 MB için talep edilen elektrik miktarı verilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alındığında 100 MB için elektrik talebi 0,000278815 W olarak bulunmuş ve bir ders için haftalık veri depolama amaçlı enerji talebi 0,0468 W olarak hesaplanmış ve bu değer sabit olduğu varsayılmıştır. Ayrıca ilk haftadan itibaren her bir hafta için veri depolama cihazına kaydedilen ders kaydedildiği haftadan itibaren dönem sonu yani 14. haftanın sonuna kadar kayıtlı olarak kalacaktır. Örneğin ilk hafta için ($14 \times 0,0468 = 0,66$ kWh/dönem), ikinci hafta için ($13 \times 0,0468 = 0,61$ kWh/dönem) olarak hesaplanmış ve tüm haftalar aynı mantıkla hesaplandığında toplam dönemlik yani 14 haftalık elektrik tüketim talebi ($0,66 + 0,61 + 0,56 + 0,51 + 0,47 + 0,42 + 0,37 + 0,33 + 0,28 + 0,23 + 0,19 + 0,14 + 0,09 + 0,05 = 4,91$ kWh/dönem) olarak hesaplanmış ve [Tablo 6](#)'da yer alan uzaktan eğitimde sınıfta tüketilen enerji talebi toplam hesabına dahil edilmiştir.

Tablo 6

Uzaktan eğitimde sınıfta tüketilen enerji

	Kullanım Süresi (saat)	Güç tüketimi (kW)	Elektik tüketimi, (kWh/hafta)	Emisyon, (kg-CO ₂ /hafta)
Dersin kaydedildiği sunucu	3	0,504	1,5120	0,7684
Dersin kaydedildiği depo ünitesi	24	0,000278815	0,0468	0,0238
Dersin çekildiği bilgisayar	3	0,101	0,3030	0,1454
Dersin çekildiği modem	3	0,029	0,0870	0,0418
Odanın aydınlatması	3	0,086	0,2580	0,1238
Toplam			2,2	1,1
14 hafta için toplam değerler			30,9	15,4

[Tablo 7](#)'de ise öğrenciler tarafından ve sınıf içi faaliyetler sonucu örgün eğitim ve uzaktan eğitim açısından oluşan dönemlik toplam emisyon değerleri gösterilmiştir.

Tablo 7

Örgün eğitim ve uzaktan eğitim açısından dönemlik toplam emisyon değerleri, (kg-CO₂/dönem)

	Örgün eğitim	Uzaktan eğitim
Öğrenciler tarafından tüketilen enerji	116,76	35,28
Sınıfta tüketilen enerji	15,72	15,44
Toplam emisyon değerleri	132,48	50,72

4. Sonuçlar

Küresel ısınmaya doğrudan etki eden CO₂ gazının önemini vurgulamak adına çeşitli alanlarda karbon ayak izi hesaplama çalışmaları yapılmıştır ([Kumaş vd., 2019](#)) İnsan faaliyetlerinin her türlü tüketimi sonucu doğaya vermiş olduğu zarar, karbon ayak izinin büyüklüğüyle orantılıdır ([Yaka vd., 2015](#)). Literatürde uzaktan ve örgün eğitimi, maliyet etkinlik analizi ([Tezcan, 2000](#)), akademik başarı puanı ([Kör, 2013](#)), uzaktan öğretim hakkında görüşler ([Şen ve Kızılcıoğlu, 2020](#)), eğitim kalitesi ([Balaman, 2018](#)), iki eğitim sisteminin içeriği ([Topa Çiftçi, 2021](#)) ve uzaktan eğitimde topluluk hissi ([Enfiyeci ve Büyükalın Filiz, 2019](#)) açısından kıyaslayan çalışmalar bulunmasına karşılık, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu açısından karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada uzaktan ve örgün eğitim arasındaki enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarının karşılaştırılması bir yüksek lisans sınıfında yer alan bireylere ait veriler ile hesaplanmıştır. Emisyon değeri sınıf için örgün eğitimde 132,48 (kg-CO₂/dönem), uzaktan eğitimde 50,72 (kg-CO₂/dönem) olarak hesaplanmıştır. Sınıfa ait toplam emisyon değerinin uzaktan eğitim ile % 62 azaldığı görülmüştür. Bu da uzaktan eğitimin sera gazı emisyonunu azaltmada etkili olabileceği ortaya koymuştur. Ayrıca ulaşımdan kaynaklı emisyon değerinin 116,76 kg-CO₂/dönem ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuç da karayolu ulaşımının Türkiye'de ulaşım sektörünün merkezi konumda olması ve küresel ısınmanın önemli sebeplerinden birisinin şehir içi ulaşımı ([Algedik, Bayar ve Biçer, 2016](#)) olması ile örtüşmektedir. Doğanın ve ekolojik dengenin korunması insanların en önemli görevlerindedir. Bu bağlamda bireysel karbon ayak izi hesaplamasının yaygın hale getirilmesi ve genç

nesillere çevre bilincine sahip bireyler olmaları için yaşam felsefesi olarak aşılması gereken en önemli unsurlardan birisidir.

Yazar Katkıları

Gül Nihal Güğül: Analizi planlamış ve tasarlamıştır.

Nihal Kılınç: Veri toplamış ve analizini yapmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Algedik, Ö., Bayar, H. İ., Biçer, B. E., Çelik, E., Keleş, M., Kocaman, H., Talu, N. (2016). *TBMM'nin İklim Değişikliği Politikasındaki Rolü, Küresel Denge Derneği*, Ankara. Erişim adresi: https://kureseldenge.org/wp-content/uploads/2016/08/TBMM_ve_iklim_degisikligi_raporu.pdf
- Argun, M. E., Ergüç, R., ve Sarı, Y. (2019). Konya/Selçuklu ilçesi karbon ayak izinin belirlenmesi. *S.Ü. Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 287-297. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2019.199>
- Balaman, F. (2018). Web tabanlı uzaktan eğitim ile geleneksel eğitimin internet programcılığı 2 dersi kapsamında karşılaştırılması. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 1173-1200. <https://doi.org/10.15869/itobiad.407953>
- Bıyık, Y., ve Civelekoğlu, G. (2020). Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 78-87. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bilgesci/issue/56891/608623>
- Dell Technologies. (2020). *Dell EMC ECS EX-Series*. Erişim adresi: <https://www.delltechnologies.com/tr-tr/storage/ecs/index.htm#scroll=off&pdf-overlay=//www.delltechnologies.com/tr-tr/collaterals/unauth/data-sheets/products/storage/h13117-emc-ecs-appliance-ss.pdf>
- Enfiyeci, T., ve Büyükalın Filiz, S. (2019). Uzaktan eğitim yüksek lisans öğrencilerinin topluluk hissini çeşitli değişkenler açısından incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 12(1), 20-32. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/44484/505491>
- Kör, H. (2013). *Uzaktan eğitim ve örgün eğitimin çok yönlü - çapraz karşılaştırılması: Kırıkkale Üniversitesi ve Hitit Üniversitesi örneği* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kör, H., Çataloğlu, E., ve Erbay, H. (2013). Uzaktan ve örgün eğitimin öğrenci başarısı üzerine etkisinin araştırılması. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 12(2), 267-279. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/223274>
- Kumaş, K., Akyüz, A., Zaman, M., ve Güngör, A. (2019). Sürdürülebilir bir çevre için karbon ayak izi tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu örneği. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 108-117. <https://doi.org/10.31202/ecjse.459478>
- Pekin, M. A. (2006). *Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şen, Ö., ve Kızılcıoğlu, G. (2020). Covid-19 pandemi sürecinde üniversite öğrencilerinin ve akademisyenlerin uzaktan öğretime yönelik görüşlerinin belirlenmesi. *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 4(3), 238-252. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.830913>
- Tezcan, M. (2000). *Uzaktan eğitimde ekonomik yapı çözümlemesi: Türk yükseköğretiminde örgün ve uzaktan eğitimin maliyet-etkinlik karşılaştırması* (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Topa Çiftçi, G. (2021). Dijital iletişim teknolojileri bağlamında açık ve uzaktan öğrenmenin kapsamı. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 1-23. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/auad/issue/60075/792966>
- Yaka, İ. F., Koçer, A., ve Güngör, A. (2015). Akdeniz üniversitesi sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu karbon ayak izinin tespiti. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(3), 37-45. Erişim adresi: <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TVRreUIUQTNodz09/akdeniz-universitesi-saglik-hizmetleri-meslek-yuksekokulu-karbon-ayak-izinin-tespiti>